

R.Z.Kazımrzadə, C.S.Əsgərov, M.H.Həmidov

DAĞ-MƏDƏN SƏNAYESİNİN ELEKTRİK AVADANLIĞI VƏ ELEKTRİK TƏCHİZATI

ali texniki məktəblər üçün dərslik

BAKİ – 2014

R.Z.Kazımsadə, C.S.Əsgərov, M.H.Həmidov

DAĞ-MƏDƏN SƏNAYESİNİN ELEKTRİK AVADANLIĞI VƏ ELEKTRİK TƏCHİZATI

ali texniki məktəblər üçün dərslik

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi tərəfindən

təsdiq edilmişdir

BAKİ– 2014

Rəyçilər :

1. AMEA-nın müxbir üzvü, əməkdar elm xadimi, Sumqayıt Dövlət Universitetinin “Elektromexanika” kafedrasının müdiri t.e.d., professor **Firudin Məmmədov**

2. Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasının “Geofiziki kəşfiyyat üsulları” kafedrasının professoru, g.m.e.d., **Tofiq Əhmədov**

Elmi redaktor : **akademik Arif Həşimov**

RƏNA KAZIMZADƏ, CAVİD ƏSGƏROV, MUSTAFA HƏMİDOV.
DAĞ-MƏDƏN SƏNAYESİNİN ELEKTRİK AVADANLIĞI VƏ
ELEKTRİK TƏCHİZATI. Dərslik , Bakı, ADNA, 2014-cü il.

398 səh.

Dərslikdə dağ-mədən mühəndisliyi ixtisaslaşması üzrə təhsil alan ali məktəb tələbələrinə dağ-mədən sənayesinin elektrik avadanlığı və elektrik təchizatına dair müfəssəl nəzəri və praktiki məlumatlar verilir. Dərslikdə bir-biri ilə əlaqədar fənlər müvafiq ardıcılıqla şərh edilmişdir. Dağ-mədən sənayesinin elektrik avadanlığı və elektrik təchizatı fənninin tədris proqramına uyğun: yeraltı dağ işləri zamanı elektrik avadanlıqlarının istismarı və elektrik təchizatından, şaxta kabel şəbəkələrində qısaqapanma cərəyanının hesablanması, işəburaxma aparatlarının seçilmə qaydaları, qoyuluş cərəyanlarının hesabı və qısaqapanma cərəyanlarına görə yoxlanmasından, bundan əlavə elektro-texnikanın əsas müddəalarından bəhs edilmişdir. Dərslikdən qeyri-elektrotexnika ixtisasları üzrə təhsil alan ali məktəb tələbələri, elmi işçilər, eləcə də istehsalatda çalışan mühəndis-texniki işçilər istifadə edə bilərlər.

@ Rəna Kazımzadə

DAĞ-MƏDƏN SƏNAYESİNİN ELEKTRİK AVADANLIĞI VƏ ELEKTRİK TƏCHİZATI

ÖN SÖZ

Elektrik enerjisi əsas enerji növlərindən biri olub, dağ-mədən sənayesində də geniş istifadə olunur. Ona görə də dağ-mədən sənayesinin inkişafı, elektroenergetikanın inkişafı ilə sıx əlaqədardır.

Dağ-mədən elektrik avadanlıqlarının istismar xüsusiyyətləri və konstruktiv icrası

Elektrik avadanlıqları dedikdə, elektrotexniki qurğular, elektrik mühərrikləri, işəburaxıcılar, idarəetmə stansiyası, transformator yarımstansiyaları və s. nəzərdə tutulur. Öz növbəsində elektrik qurğuları tətbiq sahəsindən asılı olaraq elektrik enerjisini istehsal edir, çevirir, ötürür və qəbul edir.

Elektrik avadanlıqları olaraq qaldırıcı mexanizmlərin, ekskavatorların, konveyerlərin, yükləyici maşınların və s. nəzərdə tutulur.

Elektrik avadanlıqları, tətbiq sahəsinə görə spesifik xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq ümumi şəkildə, partlayış təhlükəsi olan sahələrdə, şaxta və filiz mədənləri üçün hazırlanmış xüsusi konstruksiyalı olurlar.

Elektrik avadanlıqları istismarına görə stasionar və qeyri-stasionar olurlar. Gərginliklərinə görə 1000 V-a qədər və 1000 V-dan yüksək gərginliklərə işləyirlər.

Kömür sənayesində 1140 V və 1200 V gərginlikli elektrik avadanlıqlarından istifadə olunur.

Açıq dağ mədənlərinin işlənməsində elektrik avadanlıqlarının istismarı müasir zamanda açıq dağ-mədən işlərində yüksək məhsuldarlı kompleks mexanizmlə elektrik intiqallarından istifadə olunur. Bunlara: ekskavatorlar, elektrikdaşıyıcılar, konveyerlər, qazma qurğuları, nasoslar və s. aiddirlər.

Bu kursu dərindən mənimsəmək məqsədl ilə kitabda “Elektrotexnikanın” əsas bölmələri, müvafiq ardıcılıqla şərh edilmişdir.

Fəsil I

1. YERALTI DAĞ İŞLƏRİ ZAMANI ELEKTRİK AVADANLIQLARININ İSTİSMAR XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Yeraltı dağ-mədən işlərində elektrik avadanlıqlarının istismarında xüsusi qaydalara mütləq nəzarət edilməlidir. Belə ki, yeraltı işlər sahələrdə məhdud və qeyri-məhdud olduğundan avadanlıqların daşınması da asan, xüsusi təzyiqə davamlı olmalı, quyularda turşulu sular, müxtəlif qazlar toz və s. olduğu nəzərə alınmalıdır. Bundan əlavə işçi heyətin təhlükəsizliyinə, baş verəcək qəzalardan mühafizə olunmasına da xüsusi fikir verilməlidir.

Bütün qeyd olunanları nəzərə alaraq yeraltı işlərin görülməsi üçün seçilən elektrik avadanlıqları, optimal ölçü və çəkiyə, yüksək mexaniki möhkəmliyə quraşdırılması, çəkilməsi, tez və asan başa gələn, korroziyaya qarşı davamlı olmalıdır.

Konstruktiv nöqteyi-nəzərdən yeraltı elektrik avadanlıqları elə hazırlanmalıdırlar ki, yanğın, partlayış, müxtəlif qurunt suları, duzlar və turşulardan qoruna bilən qapalı olsunlar. Belə avadanlıqların izolyasiyaları nəmliyə, mühafizə hissəsi işə möhkəmliyə qarşı davamlı olmalıdır. Bu avadanlıqlar qılgıcma qarşı da mühafizə olunmalıdır.

Filizlərdə istifadə olunan elektrik avadanlıqları partlayış təhlükəli zonada olduğuna görə markalanmalıdırlar. Partlayış təhlükəsinə görə elektrik avadanlıqları üçün aşağıdakı şərti işarələr qəbul olunmuşdur:

PH – normal filizləri; И – qılgıcım təhlükəli elektrik dövrəli; K – üzlüyü kvarsla örtülmüş; П – etibarlılığı yüksəldilmiş; M – üzlüyü yağla hopdurulmuş; C – xüsusi partlayış təhlükəli; B – partlayış nüfuzlu üzlüklü.

Filiz yataqları elektrik avadanlıqları üçün B hərfi əvəzinə aşağıdakı işarələr qoyulur:

- a) 1 B – deməli $U \leq 65 \text{ V}$, $I_{q.q} \leq 100 \text{ A}$;
- b) 2 B – deməli $U \leq 220 \text{ V}$, $I_{q.q} \leq 600 \text{ A}$;
- c) 3 B – deməli $U \leq 380 \text{ V}$, $I_{q.q} \leq 15000 \text{ A}$;
- d) 4 B – deməli $U \leq 600 \text{ V}$, $I_{q.q} \leq 10000 \text{ A}$.

PH – tipdə hazırlanmış elektrik avadanlıqları, toz və qaz təhlükəsi olan şaxtalarda tətbiq edilə bilər.

Dağ-mədən maşın mexanizmlərinin elektrik mühərrikləri

Dağ mədənlərində tətbiq olunan elektrik mühərriklərini, cərəyanın sabit və yaxud dəyişən olmasına, gərginliyə, gücə, fırlanma tezliyinə, iş rejiminə, soyuma sisteminə, mühafizə dərəcəsinə və icra foramsına görə siniflərə ayırmaq olar:

1. Cərəyana görə paralel, ardıcıl və qarışıq təsirlənən sabit cərəyan elektrik mühərrikləri, eləcə də dəyişən cərəyan asinxron və sinxron mühərrikləri buraxılır. Asinxron mühərrikləri qısaqapalı və faza rotorlu olurlar.
2. Sabit cərəyan elektrik mühərrikləri 40, 50, 80, 110, 220, 250, 440, 550, 1500 və 3000 V-luq, dəyişən gərginlikli isə standart 127, 220, 380,

- 660, 1140, 6000 və 10000 V-luq istehsal olunurlar;
3. Güclərinə görə böyük ($100 \div 1000$ kVt), orta ($10 \div 100$ kVt) və kiçik ($1 \div 10$ kVt), güclü elektrik mühərrikləri istifadə olunur;
 4. Fırlanma tezliyinə görə mühərriklər asta (250 dövr/dəq), orta ($250 \div 1000$ dövr/dəq) və yüksək ($1000 \div 6000$ dövr/dəq) tezlikli fırlanma siniflərinə ayrılır;
 5. Yük qrafikinə əsaslanaraq işləmə müddətinə, iş rejiminə və təkrar-qoşulmaya görə xarakterizə olunurlar. Belə rejimin qoşulma müddətinin %-lə ifadəsi:

$$TQ = \frac{t_{i,x}}{t_{i,v} + t_{d,v}} 100 = \frac{t_{i,x}}{t_{d,d.e.v}} 100$$

burada $t_{i,v}$ – işləmə vaxtı; $t_{döv}$ – dayanma vaxtı; $t_{d.d.e.v}$ – dövrün davamətmə vaxtıdır.

6. Soyutma sisteminə görə mühərriklər təbii, öz-özünə soyudulmağa və asılı olmayan soyudulma növlərinə ayrılırlar;
7. Ətraf mühitdən mühafizə olunmasına görə mühərriklər nəmliyə, partlayışa, qızmaya və kimyəvi maddələrə qarşı davamlı hazırlanırlar.

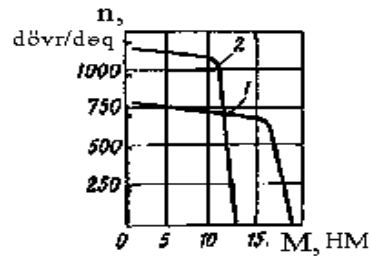
Açıq dağ-mədən maşın mexanizmlərinin elektrik mühərriklərinin əsas tipləri

Açıq dağ mədənlərində müxtəlif texnoloji proseslərin yerinə yetirilməsində əsasən sabit və

dəyişən cərəyan elektrik mühərriklərindən istifadə olunur.

Müasir dövrdə 26 qabaritli Π seriyalı və gücü üç qrupa bölünən: 1) $0,3 \div 200$ kVt; 2) $200 \div 1400$ kVt və 3) 1400 kVt-dan artıq sabit cərəyan maşınları istehsal edilir.

Ekskavatorlar üçün hazırlanmış qeyri-standart gərginlikli mühərriklər xüsusi möhkəmliyi ilə fərqlənirlər. Belə mühərriklərə qoyulan tələblərdən biri də yükün artması zamanı onların fırlanma tezliyinin sıfıra endirilməsidir. Ekskavator baş mexanizminin elektrik mühərrikinin mexaniki xarakteristikası aşağıdakı kimidir (şək. 1.1).



Şəkil 1.1. Ekskavatorun mexaniki xarakteristikası:
1 – tam selli rejim; 2 – yumşaldılmış rejim

Ekskavatorlar səlist tənzimlənmə, işəsalma və tormozlanma xüsusiyyətlərinə malik olduğuna görə onlarda faza rotorlu asinxron mühərriklərdən istifadə olunması daha məqsədəuyğundur. Əsasən A2, AO2, AK, MT və MTK seriyalı mühərriklərdən daha çox istifadə edilir.

Kombaynlarda tətbiq olunan elektrik mühərrikləri. Komür çıxaran kombaynlar elektrik intiqalında əsasən qısaqapalı rotorlu ЭДК, ЭДКО, ЭДКОР, ЭКВ seriyalı üç fazalı asinxron mühərriklərdən istifadə olunur.

Mühərrikin tiplərini ifadə edən hərflər aşağıdakı kimi izah olunur: Э – elektriki; Д – mühərrik; К – kombayn; О – üfirlənən, hava ilə soyudulan; В – ikiqat soyudulan; Р – yeni işlənmiş.

Mühərriklər sinxron, 1500 dövr/dəq fırlanma tezliyinə hazırlanır. Əsasən hündürlüyə görə, 5 ölçüyə: 310, 350, 400, 450, 500 mm olurlar. ЭКВ tipli mühərrik su ilə soyudulandır və bu zaman su sərfi 0,8-1,2 m³/saat.

Konveyer mühərrikləri – şaxta elektrik intiqalları üçün istehsal olunur, tipi ЭДКОФ –dur. Burada Э – elektriki; Д – mühərrik; К – konveyer; О – soyudulan; Ф – flanslı. Hərflərdən sonra olan birinci rəqəm mühərrikin qabaritini, ikinci rəqəm stator paketinin uzunluğunu, üçüncü rəqəm isə cüt qütblərin sayını göstərir. Əsasən БАОТ seriyalı mühərrikdən istifadə olunur. В – part layışdan mühafizə olunmuş, А – asinxron, О – üfürülən, Т – transparter olunan. Mühərriklər 50 Hs tezlikli 380-660, yaxud da 6000 V arasında dəyişən gərginlikli mənbədən qidalandırılır. Mühərrikin nominal gücü 0,27-1000 kVt və 4-9 qabaritli olur.

Son zamanlar БАО tipli mühərrikin əvəzinə ВР seriyası qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklərdən istifadə olunur ki, bunlar da uzun müddət partlayış təhlükəsi olan yerlərdə işləyə bilər.

Partlayış təhlükəli olan yerlərdə işləyən mühərriklər gövdəsinin möhkəmliyi, qidalandırıcı kabellərinin xüsusi rezin izolyasiyaya malik olması, bolt və qaykaların möhkəm bağlanması ilə fərqlənir.

Yeraltı elektrik mühərriklərinin maşın mexanizmləri 380, 660 V gərginlikli dəyişən cərəyan mənbəyindən qidalandırılır. Xüsusi halda hərəkət etdirilən yarımstansiyalarda 1140 V gərginlikli mənbəyindən də istifadə olunur. Yeraltı su nasoslarını hərəkətə gətirən elektrik mühərrikləri 6000 V gərginliklidir. Şaxta elektrikdaşıyıcıları 550 V-a qədər sabit gərginliklə qidalanır. Açıq dağmədən işlərində ekskavatorun elektrik intiqalında 1000 V-a qədər sabit gərginlik, köməkçi mühərrik üçün isə 380 və yaxud da 660 V-a qədər dəyişən gərginlikdən istifadə olunur. Karxanaların lent konveyerlərində, gücündən asılı olaraq 380-660 V, yaxud 6000 V-da dəyişən gərginlikdən istifadə olunur.

Qazma qurğularında 380-660 V dəyişən, bəzi hallarda isə baş mühərrikləri qidalandırmaq üçün sabit gərginlikdən istifadə olunur. Karxanaların işləməsində elektrikdaşıyıcı mühərrikləri 1500 və 3000 V gərginliklidir. Yerüstü stasionar qurğuların (ventilyatorlar, kompressorlar, qaldırıcılar) elektrik mühərrikləri 380, 660 və 6 kV dəyişən gərginlikdə işləyir.

1.1. Elektrik mühərriklərinin gücünün seçilməsi

Elektrik mühərriklərinin gücünün düzgün seçilməsi istismar zamanı məhsuldarlığın sabit saxlanılmasına, elektrik enerji itgilərinin azaldılma-

sına və nəhayət avadanlıqların etibarlığının yüksəldilməsinə təminat verir.

Elektrik mühərrikinin gücünün kifayət qədər olmaması onun vaxtından əvvəl işdən çıxmasına, mexanizmlərin məhsuldarlığının azalmasına və təmir xərclərinin artmasına səbəb olur. Əks halda böyük güclü mühərriklərin quraşdırılması itgilərin artmasına, energetik göstəricilərinin azalmasına, qiymətinin baha olmasına, çatdırılmasına, istismarına və quraşdırılmasına görə sərfəli deyil.

Ümumiyyətlə, mühərriklərin seçilməsi texniki-iqtisadi hesablamalara əsaslanmalıdır.

Uzunmüddətli iş rejimində işləyəcək mühərrik energetik göstəricilərə əsaslanmalıdır. Daimi yük altında uzunmüddətli iş rejimində olan mühərrikin gücü sabit cərəyan mühərriki üçün:

$$P = U I \eta \cdot 10^{-3} \quad (1.1)$$

üçfazlı dəyişən cərəyan mühərriki üçün:

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi \eta \cdot 10^{-3} \quad (1.2)$$

burada U – gərginlik, V; I – cərəyan, A; η – f.i.ə.; $\cos \varphi$ – güc əmsali.

Dəyişən yükə işləyən uzunmüddətli iş rejiminə malik mühərrikin gücü (1.1) və (1.2) ifadələrində I cərəyanının əvəzinə ekvivalent I_e – n yazmaqla təyin olunur:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

burada $I_1, I_2, \dots, I_n$ – $t_1, t_2, \dots, t_n$ aralıq müddətində mühərrikin yük cərəyanlarıdır və qiymətləri $I = f(t)$

eksperimental asılılığından təyin edilir. Mühərriklər seçilən zaman $P_{nom} \geq P_e$ və $I_{nom} \geq I_e$ şərti və mühərrikin buraxıla bilən cərəyanı maksimum qiyməti aşmamalıdır.

Təkrar-qısamüddətli iş rejiminə malik elektrik mühərrikləri mexanizmlərinin gücünün ekvivalent momentə görə seçilməsi tövsiyyə edilir. Bu zaman seçiləcək mühərriklərin nominal gücü:

$$P_{nom} = P_e \sqrt{\frac{TQ_f}{TQ_{nom}}}$$

burada TQ_f – faktiki təkrar-qoşma; TQ_{nom} – nominal təkrar-qoşma.

Elektrik mühərriklərinin istismarı zamanı aşağıdakı təhlükəsizlik qaydalarına nəzarət edilməlidir:

- şaxtada və yaxud yer üstündə quraşdırılacaq elektrik mühərriki diqqətlə yoxlanılmalıdır;
- normal işinin təmin olunması üçün mühərrikin sıxaclarında gərginlik nominalın 95%-dən az olmamalıdır;
- mühərrikin bütün hissələrinin izolyasiyası sistemik olaraq yoxlanılmalıdır; elektrik mühərriklərinin quraşdırılacağı yer tozdan və nəmişlikdən təmizlənməli, torpaqlayıcının vəziyyəti yoxlanılmalıdır;
- diyircəkli yastıqları vaxtaşırı yağlanmalıdır;
- mühərriklərin açıq vəziyyətdə olan soyutma sistemi (fırlanan hissəsi) səpərlənmiş olmalıdır;

- elektrik mühərriklərinin profilaktik təmirini iki nəfərdən az olmayaraq ixtisaslı briqada yerinə yetirməlidir;
- şaxtada təmir apararkən mütləq baş verəcək qəzaya qarşı nəzarət cihazı olmalıdır.

Yuxarıda göstərilən tələblərin yerinə yetirilməsi avadanlıqların işləmə müddətini uzadır, məhsuldarlığını isə artırır.

1.2. 1000 V-a qədər gərginlikli idarəetmə və mühafizə elektrik aparatları

İdarəetmə və mühafizə aparatları elektrik avadanlıqlarının normal və qəza rejimlərində bir sıra funksiyaları yerinə yetirmək məqsədilə tətbiq edilir. Aparatlar elektrik mühərriklərinin işəsalınmasına, sürətinin tənzimlənməsinə, dayandırılmasına, revers olunmasına, avtomatik mühafizəsinə və onların işinə nəzarət etməyə xidmət edir.

Aşağıdakı funksiyalarına görə elektrik aparatları siniflərə ayrılırlar:

- 1) tətbiq sahəsinə görə – idarəetmə, mühafizə, nəzarət, ölçmə və siqnalizasiya;
- 2) idarəetmə üsuluna görə – əl ilə, məsafədən, məsafədən avtomatik və avtomatik;
- 3) cərəyan növünə görə – dəyişən, sabit və düzləndirilmiş;
- 4) gərginliyin qiymətinə görə – 1000 V-a qədər və 1000 V-dan yüksək;
- 5) təsir prinsipinə görə – elektromaqnit, maqnitoelektrik, induksion, istilik və s.;

- 6) ətraf mühitin mühafizə növünə görə – açıq, qapalı, çirklənmədən mühafizəli, nəhayət elektrik qövsünün söndürülməsinə, tez işlənməsinə, ölçülərinə və s.

Hər bir elektrik aparatı yüksək termiki və dinamiki dayanıqlığa qarşı davamlı olmalıdır. Eyni zamanda gərginliyin rəqsinə dözümlü olaraq normal işi təmin etməlidir.

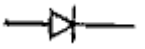
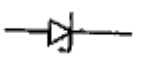
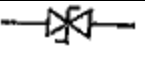
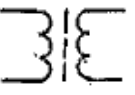
Elektrik sxemlərində istifadə olunan elementlərin şərti işarələri cədvəl 1.1-də göstərilmişdir.

Əl ilə idarə olunan aparatlar. Əl ilə idarə olunan aparatlara rubilnik-kontrollerlər, reostatlar, işəburaxıcı müqavimətlər, universal və paket açarları, müxtəlif tip işəburaxıcılar, hava və fider açarları, idarə düymələri aiddir.

Rubilniklər. 1000 V-a qədər dəyişən və sabit cərəyanlı elektrik dövrələrinin kommutasiya sxemlərində istifadə edilir. Rubilniklər aşağıdakı göstəricilərinə görə fərqlənilirlər:

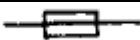
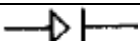
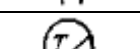
- 1) nominal cərəyanına—100, 250, 400, 630, 1000A görə;
- 2) naqillərin birləşdirilməsi üçün sıxaclarının vəziyyətinə görə;
- 3) qütblərinin sayına – bir, iki və üç qütblü olmalarına, müxtəlif kontaktlı olmalarına, yəni dəyişən cərəyan üçün kəsilməyən, sabit cərəyan üçün isə kəsilən, qövs söndürücü kameralı olmasına görə.

Cədvəl 1.1

Adları	Şerti işarələri	Adları	Şerti işarələri
Maqnit işəsalıcı- sının kontaktorla- rının relesinin dolağı		Tənzimlənən qeyri-xətti rezistorla	
Minimal gərgin- liyin relesinin dolağı		Pilləli tənzim- lənən rezistor	
Maksimal cərəyanı relesinin dolağı		Sabit tutumlu kondensator	
Qütbləşdirilmiş rele dolağı		Dəyişən tutumlu kondensator	
Vaxtsaxlama ilə buraxma relesinin dolağı		Elektrolit qütblü kondensator	
Elektrik istilik relesinin dolağı		Varikoid	
Cərəyan dolağı		Diod. Düzləndirici diod	
Gərginlik dolağı		Stabilitron: birtərəfli	
Kontaktör dolağı		ikitərəfli	
Nüvəli transformator		Qapayıcı kontakt	
Sabit rezistor		Açıq kontakt	

Dəyişən rezistor		Kontakt birləşmə:	
------------------	---	-------------------	---

Cədvəl 1.1-in davamı

Vaxtsaxlama ilə qapanan kontakt		Əriyən qoruyucu	
Vaxtsaxlama ilə açılan kontakt		Deşilən qoruyucu	
Ayırıcı kontakt		Közərmə lampası	
Artıq yükləmədə açan avtomat		Signal lampası	
Termokontakt qapayıcı		Dolağ birləşməsi ulduz	
açıcı		üçbucaq	
Qövssöndürücü qapayıcı		Qapayıcı kon-taktlı mühərrik reləsi	
bağlayıcı		Cərəyanın sax-lama müddə-tindən asılı olan mühafizə reləsi	
Düyməli açar «İşəburaxma»		Tranzistor	
«Saxlama»		Kiloommetr	
Ayırıcının kontakt birləşməsi			

Kontrollerlər. Kontrollerlə elektrik mühərriklərinin işə qoşulmasına, dayandırılmasına, revers olunmasına, mühərriklərin sürətlərinin tənzimlənməsində və s. istifadə olunur. Kontrollerlər elektrikdaşıyıcılarının, qazma maşınlarının, mədən kombaynlarının, elektrikle dəşmə qurğularının idarə bloklarında tətbiq edilir.

Reostatlar. Reostatlar dəyişən və sabit cərəyan dövrlərində elektrik aparatlarının çevrilmələrində (qoşulub-asılmasında) tətbiq olunur. Reostatlar işəburaxıcı, işəburaxıcı-tənzimləyici, yük və təsirləndirici olmaqla müxtəlif olurlar.

Müqavimətlər hazırlandığı materiallara görə metal, maye, kömür və qrafitlərdən ibarət olur. Soyutma sisteminə görə isə hava, yağ və su ilə soyudulur.

İşəburaxıcı reostatlar. İşəburaxıcı reostatlar elektrik dövrlərində gərginliyin və cərəyanın tənzimlənməsində tətbiq olunur. Elektrotexniki çuqundan (böyük cərəyan buraxmağa malik) və konstantdan (müqaviməti sabit olan) hazırlanır.

Komanda aparatlar. Komanda aparatlar dəyişən və sabit cərəyan elektrik dövrlərində çevirmə əməliyyatı aparmaq üçündür. Komanda aparatların köməyi ilə işəburaxmaya, tormozlanmaya, yaxud işin parametrlərinin dəyişdirilməsinə məsafədən düymələr vasitəsilə təsir etmək mümkündür.

Universal çeviricilər. Universal çeviricilər kiçik ölçülü olub təsadüfi hallarda vəziyyət dəyişmələrinə

qulluq edir. Elektrik dövrələrini qapamağa və açmaya işləyirlər.

Komandokontrollerlər. Komandokontrollerlər təkrar-qısamüddətli iş rejimində işləyən elektrik mühərriklərinin idarə olunmasında tətbiq edilir.

Dağ-mədən sənayesində əsasən KA-5000 seriyalı komandokontrollerlərdən istifadə edilir.

Əl ilə işəburaxıcılar. Əl ilə işəburaxıcılar əsasən işıqlanma şəbəkələrində yerli idarəetmədə köməkçi mexanizmləri, o cümlədən kiçik güclü mühərrikləri idarə etmək, qoşmaq və açmaq üçün tətbiq olunur.

Şaxtalarda belə buraxıcıların ПРБ-3 və ПРШ-1 tiplilərindən daha geniş istifadə olunur. Buraxıcılar 380 V gərginlikdə 10 A və 660 V-da 6 A-ə hesablanırlar.

Avtomatik açarlar. Avtomatik açarlar sabit və dəyişən cərəyan magistral şəbəkələrinin yük altında açılıb-qoşulmasında və eyni zamanda artıq yüklənmədən və qısaqapanmadan mühafizəsində istifadə olunur.

Aşağıdakı göstəricilərinə görə siniflərə ayrılır: nominal cərəyana görə 25-2500 A; qütblər sayına görə – 1 və 3 qütblü; elektromaqnit və yaxud kombinə olunmuş.

Avtomatik fider açarları şaxtaların yeraltı istismarı zamanı istifadə olunur. Əsasən cərəyana görə üç ölçüdə – 200, 350 və 500 A istehsal olunur.

АФБ-1А, АФБ-2А, АФБ-3, АВ-200ДО, АВ-320ДО seriyalı olur. Hazırda açmaya, məsafədən

idarəetmə fider açarları AB-200 ДОУ5 və AB-320 ДОУ5 tipli 200 və 320 A cərəyana işləyir.

Distansion və yerli kontaktorlu idarəetmə aparatları

Distansion (məsafədən) idarəetmədə qurğunu uzaqdan işə salmaq, dayandırmaq və s. üçün aparatların yanında işçi heyətin olması lazım gəlmir. Məsələn, şaxtadan bir neçə yüz metr uzaqda olan aparatlar vasitəsilə şaxtadakı mexanizmlər idarə olunur. Belə aparatların əsasını elektromaqnit kontaktorlar və maqnit işəburaxıcıları təşkil edir.

Kontaktorlar – elektromaqnit sistemin koməyilə elektrik dövrələrini tez-tez açıb-qoşmaq üçündür. Əsas elementləri, elektromaqnit sistemi, kontakt sistemi və blok-kontaktordır.

Dağ-mədən sənayesi aparatlarında KTY, KTB, KT seriyalı kontaktorlardan istifadə olunur. 63 A cərəyana KTY-2A, 125 A cərəyana KTY-3A və KTY-3B, 250 A-ə KTY-4A və KTY-4B kontaktorları tətbiq edilir. A hərfi kontaktor dolağının dəyişən cərəyana görə, B hərfi isə dolağın sabit cərəyana işləməsinə göstərir.

Maqnit işəburaxıcısı – kompleks aparat olub, əsasən qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklərin qısaqapanmadan mühafizəsi və onların distansion (məsafədən) idarə edilməsində istifadə olunur. Yer səthində əsasən ПМЕ, ПАЕ, ПА, ПМ seriyalı maqnit işəburaxıcıları tətbiq edilir.

Şaxta maqnit işəburaxıcıları qeyri-reversiv (ПБН) və reversiv (ПБИР) seriyalı olmaqla partlayışa qarşı davamlıdırlar. ПБН və ПБИР seriyalı işəburaxıcıların elektrik sxemləri, siqnalizasiya, mühafizə, sıfır-mühafizə, qısaqapanmadan, müqavimət artırmasından və s. mühafizəyə xidmət edir.

Mühafizə aparatları və mühafizənin növləri

Mühafizə aparatları normal iş rejimi pozulduqda qəza baş verən hissənin avtomatik açılması və bununla da elektrik avadanlıqlarının şəbəkədə qalması təqdirində işçi heyətin təhlükəsizliyinin təmin olunmasına xətmət edir. Mühafizə aparatlarının mühafizə növlərinə artıq yüklənmədən maksimal cərəyan mühafizəsi, minimal və sıfır, istilik, sızma cərəyanları, idarəolmanın pozulmaları, kontaktorların tez-tez qoşulmaları və mühafizələr aiddir.

Maksimal cərəyan mühafizəsi – artıq yüklənməyə və qısaqapanmaya işləyir. Bu məqsədlə əriyən qoruyucular və maksimal cərəyan relelərindən istifadə olunur. Şaxtalarda PR tipli qapalı patron qoruyucular tətbiq edilir.

Qoruyucuların üstün cəhətləri, onların ucuz, sadə, qısaqapanmada etibarlı olmalarıdır.

Çatışmayan cəhətləri isə hər üç fazanı açma bilməməsi, mühərrikin iş rejimi dəyişdikdə tənzim oluna bilməməsidir.

Maksimal cərəyan releləri – ani müddətdə açmaya işləyir.

Üstün cəhəti, eyni zamanda hər üç fazanı açma bilməsi, cərəyana görə tənzim oluna bilməsidir.

Çatışmayan cəhəti dolağın bilavasitə güc dövrəsinə qoşulması və dəqiqliyinin az olmasıdır.

Sıfır və maksimal mühafizə – gərginlik yox olduqda və yenidən bərpa olduqda, elektrik avadanlıqlarının özünə qoşulmaması üçündür. Belə mühafizə gərginliyin nominaldan 30-40% aşağı düşməsində elektrik avadanlıqlarının açılmasına xidmət edir.

İstilik mühafizəsi – uzun müddət artıq cərəyandan izolyasiyanın qızması ilə mühərrikin işdən çıxmasının qarşısının alınmasına xidmət edir. İstilik relelərinin köməyiylə yerinə yetirilir. Odur ki, maqnit işəburaxıcıları (TIME), TPH seriyalı istilik releləri ilə təchiz edilir. PIA tipli maqnit buraxıcılarında isə TPH və TPII seriyalı istilik releləri quraşdırılır. Şaxta asinxron mühərriklərinin mühafizəsi üçün artıq yüklənmədən, faza kəsilməsindən, soyutma sisteminin pisləşməsindən və s., ДТP-3M tipli differensial temperatur tipli relelərdən istifadə olunur ki, bu mühafizə hər hansı güclü mühərrikə və izolyasiya sinfinə malik olmaqla tətbiq edilir.

1000 V-a qədər gərginlikli aparatların istismarında təhlükəsizlik qaydalarına qoyulan tələblər

Şaxtaların yeraltı istismarında tətbiq olunan elektrik aparatları filiz yataqlarının tələblərinə cavab verməlidir.

1000 V-a qədər gərginlikli işəburaxıcı və mühafizə qurğularında (reostat və kontrollerlərdən başqa), yağ və ya digər yanacaq mayelərindən istifadə etmək olmaz. Qulluq edən heyyyətə aparatların üzərində konstruktiv dəyişmələr aparmağa icazə verilmir. Qazın olması təhlükəsi olan şaxtalarda partlayış təhlükəli elektrik avadanlıqlarının üzlüyünün çıxarılması qadağandır. Bunu yalnız quyuda metan qazının səviyyəsini ölçdükdən sonra (qazın miqdarı 0,5%-dən az olmalıdır) icazə verilir.

Yerüstü və yeraltı dağ-mədən sahələrində yerləşdirilən elektrik aparatlarının torpaqlayıcı mühafizəsi və onlara nəzarət etibarlı olmalıdır.

Fəsil II

2. NƏQLİYYAT, FAYDALI QAZINTI ÇIXARMA VƏ KÖMƏKÇİ QURĞULARIN ELEKTRİK AVADANLIQLARI

Açıq dağ-mədən işlərində, faydalı qazıntıların çıxarılması və nəql olunması üçün müxtəlif ekskavatorlar, qazma maşınları, konveyerlər və s. qurğularından istifadə edilir.

Açıq dağ-mədən işlərində sabit və dəyişən cərəyan elektrik intiqallı qurğulardan istifadə edilir ki, burada dəyişən cərəyan elektrik intiqalı üstünlük təşkil edir. Qurğunun tipindən və tətbiqindən asılı olaraq, onların elektrik avadanlıqları əl ilə, avtomatik, yaxud da distansion (məsafədən) idarə oluna bilər.

Adətən tutumu $0,25-2 \text{ m}^3$ olan çömçəli ekskavatorlar qısaqapalı rotorlu asinxron mühərrikli elektrik intiqallı olurlar. 2 m^3 həcmli çömçəli ekskavator müxtəlif elektrik avadanlıqları ilə təchiz edilir ki, bura sabit və dəyişən cərəyan elektrik mühərrikləri, sabit cərəyan generatorları, güc və işıqlanma xüsusi sərfiyyat transformatorları, 1000 V-a qədər və ondaq yüksək gərginlikli mühafizə və işə buraxma avadanlıqları, stansiya və idarəetmə pultu, siqnal və rabitə aqreqləri daxildir.

Böyük güclü müasir ekskavatorlarda sabit cərəyan mühərriklərindən istifadə edilir. Mühərriklərin qidalandırılması üçün üç generatordan istifadə edilir ki, onlardan biri qaldırma mühərrikini, ikincisi

təzyiq mexanizmini, üçüncüsü isə gediş və dönmə mexanizminin mühərrikini bəsləyir.

Köməkçi mexanizmlərinin elektrik intiqalı üçün (kompessorlar, nasoslar, ventilyatorlar, lebyodkalar və s.) xüsusi sərfiyyat transformatorlarından bəslənən asinxron mühərriklərdən istifadə olunur.

Dəyişən və sabit cərəyan elektrik mühərriklərini idarə və mühafizə etmək üçün ekskavatorlarda idarə stansiyaları quraşdırılır ki, bu da iki paneldən ibarət olur. Hər bir paneldə sabit və dəyişən cərəyan aparatları quraşdırılır. Sabit cərəyan kontaktorlarının gərginlikləri 110, 220 V, dəyişən cərəyan kontaktorlarının gərginlikləri isə 220, 380 və 660 V-dur. Stansiyada sabit cərəyan generatorlarının təsirlənmə dolaqlarını qidalandırmaq üçün maqnit gücləndiricilər bloku yerləşdirilir.

Yeraltında xüsusi ekskavatorlar Э6514, G7515, ЭП-1 və ЭПГ-1 ümumi gücü 48-dən 85 kVt-a qədər olan dəyişən cərəyan elektrik intiqalı ilə təchiz edilir. Mühafizə, idarə və signal aparatları, maşinistin kabinəsində yerləşdirilir.

Açıq üsulla faydalı qazıntıların çıxarılmasında çoxçömçəli sepli ekskavatorlardan istifadə edilir.

Nəqliyyat konveyerlərinin elektrik avadanlıqları qısaqapalı rotorlu asinxron mühərrikli elektrik intiqalı ilə hərəkətə gətirilir. Şəraitə görə onların işə buraxılması çətinlik törədərkən faza rotorlu asinxron mühərrikdən istifadə olunur.

KЛ, КРП, КРУ tipli lentli konveyerlərdə gücü 100-400 kVt olan birdən üçə qədər mühərriklər

quraşdırılır. Yüksək məhsuldarlı konveyerlərdə 6 kV-luq mühərriklər, digərlərində isə 380, 660 V-luq mühərriklərdən istifadə olunur.

Konveyerlərin avtomatik idarə edilməsi üçün adi avtomatik aparatlardan istifadə edilir.

Kömürçixarma komplekslərində əsasən qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklər tətbiq edilir. Kompleks elektrik avadanlıqlarına kombayn elektrik mühərrikləri, lay konveyeri, nasoslar, manevr lebyodkası və s. daxildir. Son zamanlar bu kompleksə məsafədən idarəetmə aparatları da daxildir.

Keçid kombaynlarının elektrik avadanlıqlarına intiqal elektrik mühərrikləri, işəburaxma və mühafizə aparatlı idarəetmə stansiyası, işıqlandırma cihazları, telefon rabitəsi və signal cihazları daxildir. Kombaynda icra orqanlarının elektrik intiqalının hərəkət hissəsində, yük və nəqliyyat quruluşları, ventilyatorlar, nasoslar və s. üçün PB icrasında hazırlanmış qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklər quraşdırılır.

Qazma maşınlarının elektrik avadanlıqları yeraltı dağ-mədən qazma işlərində kalonkalı sverlo ilə quyuların qazılması üçün qurğu və onları hərəkətə gətirmək məqsədilə gücü 1 kVt-dan 50 kVt-a qədər qısaqapalı rotorlu asinxron mühərrikindən istifadə olunur. Maşında bilavasitə idarəetmə pultu quraşdırılmışdır ki, bura açarlar, çevirici açarlar və düymələr daxildir.

Açıq dağ-mədən sahəsinin qazılmasında müxtəlif tip qazma qurğularından istifadə olunur ki, bu da çoxmühərrikli dəyişən və sabit cərəyan elektrik

intiqaalı vasitəsilə yerinə yetirilir. 2CBIII-200 şaroşkalı qazma qurğusu elektrik avadanlığı komplektinə, baş və köməkçi intiqallar, mühərriklərin idarə və mühafizə aparatları, eləcə də işıqlandırma cihazları daxildir. Baş intiqal, gücü 50 kVt olan sabit cərəyan elektrik mühərrikli Γ -Д (Э-М) sistemi vasitəsilə işçi orqanı hərəkətə gətirməyə qulluq edir. Qazma alətini qaldırmağa, hərəkət mexanizmini işə salmağa və digər köməkçi işlər üçün asinxron elektrik mühərriklərindən istifadə edilir. 2CBIII-200 qurğusu elektrik maşınlarının gücü 400 kVt təşkil edir.

2.1. Yükləyici maşınların elektrik avadanlıqları

Əksər yükləyici maşınlar qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklərdən və idarəetmə cihazlarından ibarət olmaqla maşında yerləşdirilmiş çoxmühərrikli elektrik intiqalına malikdir. İşəburaxma və mühafizə aparatlarına gərginlik, distansion olaraq paylayıcı məntəqədə yerləşdirilmiş maqnit işəburaxıcısının köməyi ilə verilir. Çömçənin və maşının hərəkət etdirilməsi üçün 14 və 30 kVt-luq mühərriklər quraşdırılır. Bu maşınların konveyerlərinin elektrik intiqalının mühərrikinin gücü 7,5 kVt olur.

1ПНБ-2 tipli yükləyici maşın, hər birinin gücü 17 kVt olan iki mühərrikdən ibarət olur. Maşındakı idarəetmə stansiyasında, idarəetmə sistemini və işıqlandırma fazalarını qidalandırmaq üçün alçaldıcı transformator yerləşdirilir.

Elektrik avadanlıqlarının istismarı zamanı təhlükəsizlik qaydaları. Yeraltı dağ-mədən işlərinin görülməsinə başlamazdan əvvəl elektrik avadanlıqlarının bütün elektrik keçiricilikli hissələri, o cümlədən qidalandırıcı kabellərin izolyasiyalarının möhkəmliyi, eləcə də maşın mexanizmlərə gərginlik verən idarə düymələrinin vəziyyətləri yoxlanılmalıdır.

Yeraltı işə başlamazdan əvvəl təhlükəsizliyə riayət etmək üçün maşın səs signalı, yerüstü maşın isə səs, yaxud işıq signalı verməlidir ki, işçi heyətin məlumatı olsun. İş qurtardıqdan sonra, yaxud təmir vaxtı qurğulara gərginlik verilməsi dayandırılmalı və xüsusi xəbərdaredici lövhələr asılmalıdır.

Gərginliyin qəfildən kəsilməsi zamanı, işçi heyət tez bir vaxtda, elektrik mühərriklərinin işəburaxıcı quruluşlarını və idarəetmə rıçaqlarını «Stop» vəziyyətinə keçirməlidir.

Ekskavator maşinistinin kabinəsində mütləq qəza signalizasiyası şiti quraşdırılmalıdır ki, bu şit vasitəsilə yükə, gərginliyə, hərəkət sürətinə, dönmə bucağına nəzarət etmək mümkün olsun.

Dağ-mədən nəqliyyat maşınlarını işlədənlər və onların köməkçiləri təhlükəsizlik texnikası sahəsində ixtisaslaşmış qrupa malik olmalıdırlar. 1000 V-a qədər gərginlikdə işləyən maşinistlər ən azı III qrupa, onların köməkçiləri isə II qrupa malik olmalıdırlar. TTQ-na görə 1000 V-dan yuxarı qurğuların maşinistləri azı IV qrupa, köməkçiləri isə III qrupa malik olmalıdırlar. Bütün maşın və mexanizmlərinin

elektrik avadanlıqları hər ay mütəmadi olaraq texniki baxışdan keçirilməlidir.

Stasionar qurğuların elektrik avadanlıqları. Yeraltı faydalı qazıntıların çıxarılmasında stasionar qurğular əsas bəndi təşkil edir. Stasionar qurğular kompleksini baş və köməkçi qaldırıcı qurğular, küləkləmə ventilyatorları, baş su buraxıcı və kompressor qurğuları daxildir.

Qaldırıcı şaxta qurğuları, quyudan faydalı qazıntıları və gili çıxarmağa, eləcə də işçiləri və lazımi materialları quyuda şaquli və yaxud maili salmağa qulluq edir.

Ventilyator dağ işlərinin görülməsi üçün normal atmosfer şəraiti yaradır.

Kompressor qurğuları, pnevmatik intiqal qurğularının avadanlıqlarını qidalandırmaq üçün sıxılmış hava yaradır, belə ki, şaxtada elektrikle işləyən avadanlıqlara təhlükəsizlik nöqtəyi-nəzərdən icazə verilmədiyi hallarda, pnevmatik avadanlıqlardan istifadə olunur.

Stasionar qurğularının elektrik avadanlıqlarına əsas və köməkçi elektrik intiqal mühərrikləri, idarəetmə aparatları, mühafizə və siqnalizasiya, müxtəlif ölçmə və nəzarət aparatları daxildir.

2.2. Yeraltı qurğuların elektrik avadanlıqları

Şaxtalarda işlənən elektrik intiqalında əsasən dəyişən və sabit cərəyan elektrik mühərriklərindən istifadə olunur.

Şaxta elektrik intiqalı mürəkkəb şəraitdə işlədiyindən, yüksək etibarlığa, revers olunma qabiliyyətinə, tənzimlənmə xüsusiyyətinə, təhlükəsizlik baxımından davamlılığa, iqtisadi cəhətdən əlverişli və sadə idarəolunma qabiliyyətinə malik olmalıdır.

Asinxron elektrik intiqalının əsas üstünlükləri: sadə idarə sxemi və nəzarət olunmaq imkanına malik olmaqla etibarlı işləyə bilməsi, çevirici qurğusu olmadan, birbaşa dəyişən cərəyanla işləməsi (bu işə maya dəyərini xeyli azaltmış olur), konstruksiya etibarilə sadə olması ilə nisbətən ucuz başa gəlməsi, ölçü və çəkisinin az olması.

Çatışmayan cəhətləri: fırlanma tezliyinin tənzim olunmasının mürəkkəbliyi (iqtisadi cəhətdən əlverişsiz olması), işəburaxma aparatlarının olmaması səbəbindən 2000 kVt-dan artıq güclü mühərriklərdən istifadə oluna bilməməsi.

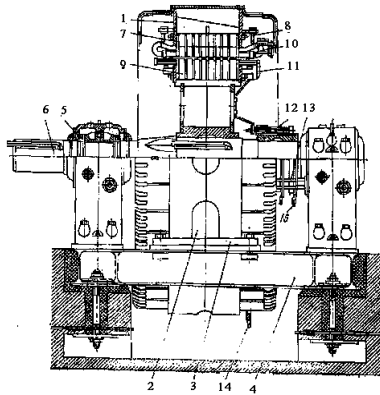
Sabit cərəyan elektrik intiqalının üstün cəhətləri: yüksək dəqiqliklə sürətin səmərəli olaraq tənzim oluna bilməsi, mühərrik rejimindən rekuperativ tormoz rejiminə keçirilə bilməsi, intiqal aparatlarının etibarlı olması.

Çatışmayan cəhətləri: azı üç maşının qoşulması (sinxron yaxud asinxron elektrik intiqallı generator, işçi sabit cərəyan mühərriki) tələbi, avadanlıqlarının qiymətlərinin yüksək olması, verilən enerjinin bir neçə dəfə dəyişdirilməsilə f.i.ə-nın aşağı olması.

Şaxtalarda tiristorla tənzimləmə intiqalları geniş tətbiq edilir. Tiristor elektrik intiqalı asinxron intiqala nisbətən az miqdarda elektrik enerji tələb

edir, yüksək etibarlığa və istismarının sadəliyinə görə üstünlük təşkil edir.

Əsas elektrik avadanlığına daxil olan AKH tipli şaxta qaldırıcı maşınların asinxron elektrik mühərrikinin texniki verilənlərini nəzərdən keçirək: A – asinxron, K – kontakt üzüyü – faza rotorlu, H – normal hazırlanmış deməkdir. Qabarit ölçüləri 14-18, gərginlikləri 6 kV, fırlanma tezlikləri 250÷1000 dövr/dəq, gücü 200÷2000 kVt hazırlanır.



Şəkil 2.1. AKH tipli mühərrikin ümumi görünüşü:

- 1 – polad korpus; 2 – küləklənmə boşluğu; 3 – küləkləndiricinin oturduğu pəncə; 4 – təməl plitəsi; 5 – diyircəkli yastıqlar; 6 – ro-torun valı; 7 – stator nüvəsi; 8 – şpilkalar; 9 – rotor nüvəsi; 10 – stator dolağı; 11 – rotor dolağı; 12 – üzük halqaları; 13 – trevers; 14 – stator dolağının ucları; 15 – üzük halqələrinin çıxışları

Şaxtalarda istifadə olunan AKH tipli mühərriklərin texniki verilənləri cədvəl 2.1-də, ümumi görünüşü isə şəkl. 2.1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 2.1

Elektrik mühərriki.	Nominal güc, kVt	Nominal yüklə				Rotorun verilənləri		$\frac{M_{\max}}{M_{\text{nom}}}$	Rotorun max- vık momenti $T.M^{100}$	Ümumi kütlə, t
		Fırlanma tezliyi, dövr/dəq	Statorun cərəyanı A	f.i.ə. %	$\cos\varphi$	Gərgin- lik, V	Cərəyan, A			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AKH-14-36-16	200	160	31,5	90,0	0,68	380	320	2,0	0,65	4,8
AKH-14-41-16	250	360	38	90,3	0,7	440	340	2,0	0,73	5,2
AKH-14-41-12	400	485	52,5	91,7	0,8	650	370	2,1	0,68	5,5
AKH-14-49-12	500	485	65	92,2	0,81	765	392	2,1	0,77	6,2
AKH-14-46-10	630	585	79	92,8	0,83	915	415	2,1	0,78	6,4
AKH-14-46-8	800	735	96	93,5	0,86	850	560	2,1	0,69	6,35
AKH-14-59-8	1000	735	118	94,3	0,87	1050	565	2,1	0,86	7,3
AKH-14-49-6	1000	985	116	94,0	0,88	1125	530	2,6	0,64	6,8
AKH-14-59-6	1250	985	143	94,4	0,89	775	965	2,5	0,73	7,7
AKH-15-29-16	320	360	45,5	90,5	0,75	610	380	2,0	1,21	5,8
AKH-15-34-16	400	360	35,5	91,4	0,76	690	410	2,0	1,35	6,0
AKH-15-41-16	500	365	68	92,0	0,77	710	420	2,0	1,55	7,0

Cədvəl 2.1-in davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AKH-15-51-16	630	365	85	92,4	0,77	900	420	2,1	1,97	7,7
AKH-15-39-12	630	490	79	92,8	0,83	775	485	2,1	1,36	7,0
AKH-15-49-12	800	490	97	93,5	0,85	945	510	2,1	1,67	8,2
AKH-15-36-10	800	585	98	92,6	0,85	920	520	2,2	0,95	6,8
AKH-15-44-10	1000	585	120	93,2	0,85	1075	555	2,3	1,54	7,7
AKH-15-56-10	1250	590	148	93,7	0,87	795	935	2,3	1,97	9,1
AKH-15-44-8	1250	740	147	94,2	0,87	1050	710	2,1	1,58	8,0
AKH-15-54-8	1600	740	185	94,6	0,88	1250	760	2,0	1,84	9,6
AKH-15-64-8	2000	740	231	94,8	0,88	880	1350	2,1	2,10	10,3
AKH-15-41-6	1600	985	188	94,5	0,87	775	1230	2,6	1,29	8,5
AKH-15-51-6	2000	990	231	94,8	0,88	945	1255	2,7	1,45	10,0

Qeyd: 6 kV -luq nominal gərginlikdəki verilənlər

Hazırda gücü üç qabaritdə olan 0,3-dən 200 kVt-a qədər (1-11 qabaritli), II seriyalı sabit cərəyan maşınları, 18-26 qabaritli 1400 kVt (18-26 qabaritli) və 1400 kVt-dan böyük maşınlar buraxılır. Şerti işarələrinə görə I-II qabaritli П32 mühərrikləri burada 3 – qabariti, 2 – uzunluğu göstərir.

Şaxtalarda tətbiq olunan vahid seriyalı mühərriklərin texniki verilənləri cədvəl 2.2-də göstərilmişdir.

Şaxtalarda tətbiq olunan reversorlar faza rotorlu asinxron mühərriklərin distansion işə salınması, saxlanması və revers olunmasına xidmət edir.

1250 kVt gücə qədər mühərriklər üçün kiçik ölçülü PBM-150 tipli reverstorlar, 400 kVt-a qədər güclü mühərriklər üçün isə PBM-400 tipli reverstorlar tətbiq edilir. Əsas dövrənin gərginliyi 6 kV, nominal cərəyanları uyğun olaraq 150 və 400 A idarə dövrəsi, dəyişən cərəyanla 127, 220 və ya 380 V, sabit cərəyanla 110 və yaxud 220 V-dur.

Reostatlar və işəburaxma müqavimətləri. Reostatlar elektrik intiqal mühərriklərinin rotorunun fırlanma tezliyini pilləsiz, işəburaxma reostatları isə sürəti pilləli tənzim etməyə imkan verir.

Şaxta qaldırıcı maşınlarının elektrik intiqalında idarəetmə üçün ümumi təyinatlı maye reostatlardan istifadə olunur. Bunların tipləri ЖРH-500, ЖРH-1000 və ЖРH-2000, reostatları isə ВЖР və ВЖР-500 tiplidir.

Cədvəl 2.2

Elektrik maşınları	Nominal verilənlər						Buraxıla bilən arınq yüklərin nominal cərə- yanı nisbəti		110 V gərginlikdə resirsiz cərə-yanlar	Maxovik momenti τ, m^2	Ümumi kütlə, τ
	Güc, kVt	Fırılama tezliyi, dövr/dəq	Lövberin gərgnliyi V	Lövberin cərəyanı, A	f.i.e. %	İşçi	Qapayıcı				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Mühərriklər										
П120-125-7K	1550	75	630	2710	90,7	2,5	3	235	36,5	70,2	
П121-85-9K	1550	60	630	2650	92,7	2,5	3	214	53,1	72,9	
П122-95-6K	1550	38	630	2800	87,8	2,5	3	264	93,0	87,0	
П121-125-15K	3300	80	630	5630	93,0	2,5	3	281	131	121	
П122-125-9K	3300	60	630	5680	92,1	2,5	3	356	80,3	107	
П121-110-9K	1750	56	750	2580	90,4	2,5	3	346	132	122	
П121-145-15K	4000	87	750	5700	93,5	2,5	3	326	131	121	
П121-85-9K	2100	85	800	2600	93,8	2,5	3	214	132	122	
П121-110-9K	2100	65	800	2680	91,4	2,5	3	246	58,1	80,3	
П122-125-9K	4000	54	800	5700	93,7	2,5	3	356	116	109	

Cədvəl 2.2-nin davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generatorlar										
П20-30-12K	1890	500	630	3000	93,8	2,5	3	39,2	11,7	24,0
П21-85-9K	2250	500	750	3000	94,0	2,5	3	21,5	-	-
П22-95-6K	3650	500	630	5800	94,2	2,5	3	54,0	26,4	31,3
П21-125-15K	4350	500	750	5800	94,6	2,5	3	61,0	28,4	33,5
П22-125-9K	5000	500	860	5800	94,9	2,5	3	64,2	30,3	35,4
П21-110-9K	2070	750	900	2300	94,5	2,0	2,25	23,8	3,41	15,6
П21-145-15K	2150	750	750	2860	94,1	2,5	3	39,5	6,3	18,2
П21-85-9K	2580	750	860	3000	93,7	2,5	3	46,0	10,7	22,5
П21-110-9K	3000	750	995	3000	94,0	2,5	3	48,0	11,7	24,0

Qeyd: 220 V gərginlikdə mühərrikin dövlətlərinə verilmiş təsirsiz cərəyan

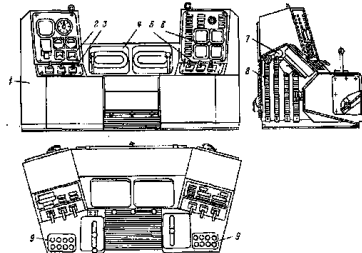
İdarəetmə stansiyası. Şaxta qaldırıcı maşınlarının intiqal mühərriklərini avtomatik və məsafədən idarəetməyə qulluq edir.

İdarəetmə stansiyası – idarəetmə kontaktor-rele, mühafizə və bloklama yığımından ibarətdir. Stansiya açıq paneldə yerləşdirilir.

Dağ-mədən sənayesində ПГХ, ПГВ, ПУ, ПГМ, ПГА seriyalı idarəetmə stansiyaları tətbiq edilir. Məsələn, ПГХ 6011 seriyalı 60, 80, 150 və 200 A cərəyan, 200-300, 400-500, 630-800 və 1000-1250 kVt güclü qaldırıcı mühərrikləri üçün tətbiq edilir.

İdarəetmə pultunun konstruktiv görünüşü şək.2.2-də göstərilmişdir. 1 – korpusunda, 2 – ölçü cihazları bloku, 3 və 5 – çeviriciləri, 6 – siqnalizasiya bloku, 4 – dərinliyi göstərən bloklar yerləşdirilmişdir. 6 – blokunda: saat, tormoz sisteminə və tezliyə nə-

zarət edən manometrlər, işıq siqnal cihazları vardır ki, bunlar qaldırıcı qurğunun vəziyyətini göstərir. Sağ və sol tumbalarda, 9 pultu vasitəsilə maşının idarə olunma tutacaqları yerləşir, mərkəzdə maşinistin ayağı altında isə qoruyucu və dinamik tormozlama düyməsi yerləşdirilmişdir. Pultun arxasında 7 sıxaclar yığımı və işıqlandırma lampaları quraşdırılmışdır.



Şəkil 2.2. İdarəetmə pultunun konstruktiv görünüşü:

1 – korpus; 2 – ölçü cihazları bloku; 3 və 5 – çeviriciləri; 6 – siqnalizasiya bloku, 4 – dərinliyi göstərən blok

Havadaşıyıcı qurğuların elektrik avadanlıqları

Bu qurğulara elektrik intiqalları, idarə, mühafizə, nəzarət, siqnalizasiya və bloklama cihazları daxildir.

Ventilyator valını hərəkətə gətirən mühərriklərin gücü:

$$P_{v.m} = K \frac{QH}{1000 \cdot \eta_v \eta_m} \quad (2.1)$$

ifadəsilə təyin olunur. Burada $K = 1,1 \div 1,5$ – ehtiyat güc əmsalıdır; Q – vacib olan hava sərfidir, m^3/s ; H – şaxtanın depresiya xərcidir, Pa; η_v və η_m – uyğun olaraq ventilyator və mühərrikin f.i.ə.-dir.

Hesablamalar zamanı güc 200 kVt-dan az olan halda qurğu üçün asinxron intiqal, 200 kVt-dan artıq olduqda isə ventilyatorların intiqalı üçün sinxron elektrik mühərriki seçilir.

Üstün cəhətlərinə görə ventilyator qurğuları üçün əsasən SD, SDV, SDN, SDS, SDZ tipli sinxron mühərriklərin, BCL-32, VPD, 32M, VOD-30 tipli ventilyatorların elektrik intiqalları üçün SDB seriyalı mühərriklərin seçilməsi tövsiyyə edilir. (C – sinxron, D – mühərrik, V – ventilyator intiqalı deməkdir).

SDV seriyalı mühərrikin texniki göstəriciləri cədvəl 2.3-də verilmişdir.

Qeyd edək ki, ventilyator intiqalları üçün AO, AK, A3, AP, BRM seriyalı asinxron mühərriklər də tətbiq edilir.

Suvurucu qurğuların elektrik avadanlıqlarına intiqal mühərrikləri və işəburaxma mühafizə cihazları aiddirlər. Nasos intiqalları üçün 1000 V-a qədər və

1000 V-dan yuxarı gərginlikli xüsusi mühafizə olunmuş qapalı, qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklər tətbiq olunur. Adətən nasosla mühərrik zavod tərəfindən birlikdə istehsal olunur. Nasos intiqalı üçün mühərrikin gücü:

$$P_{m.N} = K \frac{QH\gamma}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_N \eta_P} \quad (2.2)$$

Cədvəl 2.3

Elektrik mühərriki	Nominal verilənlər				İşburaxma xarakteristikası	Rotorun maxovik momenti, t _m ³	İşburaxma zamanı, s	Ümumi kütlə, T
	Güc		Statorun cərəyanı, A	f.i.s., %				
	kVt	kVA						
	M _{max} / M _{nom}							
CДБ-15-39-10	800	940	90	94,3	t _{ib.} / t _{nom}	M _{ib} / M _{nom}	20	9,0
CДБ-15-49-10	1000	1170	113	94,8	6,4	1,0	20	10,4
CДБ-15-64-10	1250	1460	141	95,3	5,7	0,9	22	11,0
CДБ-15-64-10	1600	1870	179	95,5	7,0	1,1	26	12,3
CДБ-15-34-12	400	480	46	93,0	5,5	0,8	26	7,1
CДБ-15-34-12	500	595	57	93,2	8,3	1,5	21	7,1
CДБ-15-49-12	800	945	91	94,3	6,7	1,2	20	9,5
CДБ-16-41-12	1250	1460	141	94,7	6,0	1,1	17	11,3
CДБ-16-51-12	1600	1670	180	95,0	2,2	0,6	17	12,4
CДБ-16-64-12	2000	2330	224	96,6	2,1	0,6	16	14,5
CДБ-16-41-12	1000	1180	114	94,1	6,1	0,6	16	11,2

ifadəsilə təyin olunur. Burada K – mühərrikin gücünün ehtiyat əmsalıdır ($Q \leq 100 \text{ m}^3/\text{s}$ olduqda $K = 1,2 \div 1,3$; $Q \geq 100 \text{ m}^3/\text{s}$ olduqda isə $K = 1,1 \div 1,5$ qəbul olunur); Q – nasosun vurması, m^3/s ; H – suvurma hündürlüyünü nəzərə almaqla artan təzyiq, m ; η_H və η_P – nasos və vurmanın f.i.ə.-dir; γ – vurulan suyun xüsusi çəkisi, H/m^2 .

Hesabi gücü 200 kVt-a qədər olanda AO, BAO, 4A, BP seriyalı asinxron mühərriklər (1000 V-a qədər gərginlikli) böyük gücdə isə yalnız A, AK, A3, AK3, AP, BAO seriyalı asinxron mühərriklər seçilir (1000 V-dan yüksək gərginlikli).

Kompresor qurğularının elektrik avadanlığı

Dağ-mədən sənaye şaxtalarında su ilə soyudulan ikiqattəsirli, porşenli, sürətli və yavaş sürətli, hava və turbokompresorlar daimi stansiyalarda yerləşdirilir.

Məhsuldarlığı $5\text{--}20 \text{ m}^3/\text{dəq}$ olan kompresor intiqalı üçün əsasən qısaqapalı, yaxud da faza rotorlu asinxron mühərriklərdən istifadə olunur. $20 \text{ m}^3/\text{dəq}$ və ondan daha yüksəyə vurmğa işləyən kompresor elektrik intiqalı üçün isə sinxron mühərriklər seçilir.

Kompresorun intiqal mühərrikinin gücü:

$$P_{m.K} = \frac{Q}{60 \cdot 1000 \cdot \eta_K \eta_P} \cdot \frac{L_{iz} + L_{ad}}{2} \quad (2.3)$$

burada Q – kompresorun (məhsuldarlığı) vurması, $\text{m}^3/\text{dəq}$; η_K və η_P – kompresorun və onun valına

ötürmənin f.i.ə.-dir; L_{iz} və L_{ad} – izotermik və adiabatik sıxılma, Hm.

СДКП seriyalı (C – sinxron, Д – mühərrik, K – kompressor, П – soyudulan) mühərriklərin gücü 320÷6300 kVt, gərginliyi 6 kV, güc əmsalı $\cos\varphi=0,9$, tezliyi $f=50$ Hs, fırlanma tezliyi 250÷600 dövr/dəq olur ki, bu seriyalı mühərriklər kompressor stansiyasında geniş tətbiq edilir.

Yeraltı işlərin görülməsi üçün elektrovozların elektrik avadanlıqlarına dartıcı mühərriklər, mühafizə və idarəetmə cihazları, işıqlanma və signal qurğuları, ölçü cihazları, qidalandırıcı batareyalar (akumulyatorlar) və cərəyan ötürücüləri aiddir.

Şaxta elektrik daşıyıcılarına ЭДП, ЭТ, ДПТР seriyalı, 6-15 kVt güclərində iki ədəd ardıcıl təsirlənən sabit cərəyan mühərrikləri quraşdırılır.

Açıq dağ-mədən işlərində istifadə olunan elektrikdaşıyıcıların elektrik avadanlıqlarına, dartıcı mühərriklər, mühafizə və idarəetmə cihazları, köməkçi maşın və aparatlar aiddir.

150 kVt gücündə mühərrik özü-soyudulan, böyük güclərdəki mühərriklər isə təbii-soyudulan olurlar. Aparatlara 1000 V-dan yuxarı gərginlikdə açarlar, çevirici və transformator, nəzarətçilər, kontaktorlar, reverslər və ayırıcılar, bundan başqa, əriyən qoruyucular, avt omatik açarlar, işəbu-raxma müqavimətləri və s. aiddir.

Fəsil III

3. DAĞ MÜƏSSİSƏLƏRİNİN ELEKTRİK TƏCHİZATI

3.1. Yeraltı başalçaldıcı yarımstansiyalar (BAY) və hava veriliş xətləri (HVX)

Kömür və digər filiz yataqlarının işlənməsində əsas enerji mənbəi olaraq, elektrik enerjisindən istifadə olunur ki, bu enerji sistemindən və ya yerli elektrik stansiyalarından alınır.

Enerji sistemi dedikdə, bir-birilə əlaqədar olan yerli elektrik stansiyalarının, elektrik və istilik şəbəkələrinin birlikdə işinin təmin olunması və rejimlərin ümumi idarə olunması nəzərdə tutulur. Enerji sistemin elektrik hissəsinə elektrik şəbəkə və stansiyalarının elektrik hissəsi daxildir.

Tələbatçıların elektrik enerjisi ilə təmin olunması elektrik təchizatı sistemi adlanır.

Dağ sənaye rayonlarının elektrik təchizatının və istismarının layihələndirilməsində əsas prinsiplər gözlənilməlidir: kateqoriyanı nəzərə almaqla etibarlıq, sistemin bütün elementlərinin iqtisadi səmərəliliyi, qidalandırma enerjisinin keyfiyyəti, qida mənbələrinin, maksimum yük mərkəzinə yaxınlığının təmin olunması, şaxtaların elektrik avadanlıqlarının (yeraltı) qidalandırması və s.

Əsas faktorlardan biri də mənbənin xarakteristikalarının və tələbatçıların gücünün və kateqoriyalarının məlum olmasıdır. Layihə zamanı

qısaqapanma cərəyanının məhdudlaşdırılmasına, etibarlı və sadə rele mühafizəsi, avtomatika və siqnalizasiya sxeminin qurulmasına fikir verilməlidir. Eyni zamanda elektrik avadanlıqlarının açıq havada və yaxud çirklənmiş zonada yerləşdirilməsi nəzərdə tutulmalıdır.

Dağ müəssisələri iki, xarici və daxili elektrik təchizat sisteminə ayrılır.

Xarici daxili təchizat sisteminə BAY-nın şinindən çıxan hava veriliş xətləri, kabellər aiddir. Yüksək məhsuldarlı dağ işlərində iki dərin çıxışlı sistemdən istifadə olunur.

Dağ-mədən müəssisələrinin elektrik təchizatı bir-birindən asılı olmayan iki sərbəst EVX vasitəsilə qidalandırılmalıdır.

Daxili təchizat sisteminə yeraltı və yerüstü yarımstansiyalar, alçaq və yüksək gərginlikli paylayıcı məntəqələr, müəssisəni qidalandırmaq üçün hava və kabel xətləri daxildir. Eyni zamanda daxili təchizat sistemində əsasən 6 kV gərginlikdən istifadə olunur.

Açıq dağ-mədən işlərində güc elektrik tələbatçılarını qidalandırmaq üçün 660 V-luq şəbəkələrdən, kömür şaxtalarının qazma maşınları üçün isə 1140 V, 380/220 V şəbəkələrdən isə güc və işıqlanma elektrik tələbatçıları qidalandırılır.

Səmərəli elektrik təchizatı sistemi yaratmaq üçün komplekt transformator yarımstansiyası sərfəlidir. Eyni zamanda gərginliyi avtomatik tənzim olunan transformatorlardan istifadə etmək məqsədə-uyğundur.

3.2. Elektrik stansiya, yarımstansiya və şəbəkələrinin təsnifatı

Elektrik stansiyası – elektrik enerjisi və bəzəndə istilik enerjisi istehsal edən sənaye müəssisəsidir.

Elektrik stansiyaları hasil etdikləri enerjinin və işlətdiyi yanacağın növünə görə fərqlənilir. İstifadə etdiyi yanacağın və enerjinin növünə görə elektrik stansiyaları İEM – istilik elektrik mərkəzi, DRES – dövlət rayon elektrik stansiyası, SES – su elektrik stansiyası və AES – atom elektrik stansiyasına ayrılır.

Elektrik stansiyalarında adətən sinxron generatorlar quraşdırılır, onların tezliyi 50 Hs gərginlikləri: 6, 10, 15, 20, 24 kV standartlarında olur.

İlkin maşının tipinə görə elektrik stansiyaları buxar, su, qazturbın, atom reaktorlu, daxili yanacaq mühərrikli olurlar. Buxar turbınli stansiyalar kondensasion (KES) və (İEM) adlanır.

Yarımstansiyalar elektrik enerjisini çevirən və paylayan elektrik qurğularıdır. Yarımstansiya güc transformatorlarından, çeviricilərdən, alçaq və yüksək gərginlikli paylayıcı quruluşlardan, akumulyator batareyalarından, idarəetmə qurğularından, mühafizə və köməkçi tikililərdən ibarətdir.

BAY – başpaylayıcı yarımstansiya, elektrik stansiyasından və enerji sistemindən aldığı enerjini elektrik tələbatçıları arasında paylayan quruluşdur.

MPQ – mərkəzi paylayıcı məntəqə, BAY-dan aldığı enerjini bütün tələbatçılara yaxud onun bir

hissəsinə paylayır. MPQ-lər adətən açıq-mədən işlərində tətbiq edilir.

KTY – komplekt transformator yarımstansiyası, bir və ya bir neçə transformatordan, yüksək və alçaq gərginlikli paylayıcı quruluşdan və mühafizə-kommutasiya aparatlarından ibarət olur. Adətən açıq havada qurulan KTY-lar, KTYX adlanır, yəni komplekt transformator yarımstansiyası xarici.

Hava xətləri – açıq havada elektrik enerjisinin ötürülməsinə və paylanmasına xidmət edir. Hava xətləri dayaqlarla izolyatorlar vasitəsilə əlaqələndirilir.

Kabel xətləri – bir neçə damarlı olub elektrik enerjisinin ötürülməsində istifadə olunur.

Elektrik tələbatçılarının kateqoriyaları və elektrik təchizatının etibarlığının təmini

Elektrik enerjisini başqa növ enerjiyə çevirən aparat və aqreqat, mexanizmləri **elektrik tələbatçıları adlanır**.

Dağ-mədən müəssisələrinin elektrik tələbatçıları üç kateqoriyaya ayrılırlar.

Birinci kateqoriyalı tələbatçılar iki, bir-birindən asılı olmayan mənbədən 100 %-li enerji ilə təmin olunmalıdır. Fasilə yalnız ehtiyatın avtomatik qoşulma (EAQ) vaxtı ola bilər. Bu müddət isə saniyələrlədir.

Dağ müəssisələrinin birinci kateqoriya tələbatçılarına, II və III kateqoriyalı şaxtaların ventilyatorları, qaldırıcının xüsusi sərfiyyatı, ayrı-ayrı

blokların baş ventilyatorları, yanğın əleyhinə nasoslar, qızdırıcıların şəbəkə və qidalandırıcı nasosları, yeraltı mərkəzi yarımstansiyalar, suçıxarıcılar, hidroqaldırıcılar və s. daxildir.

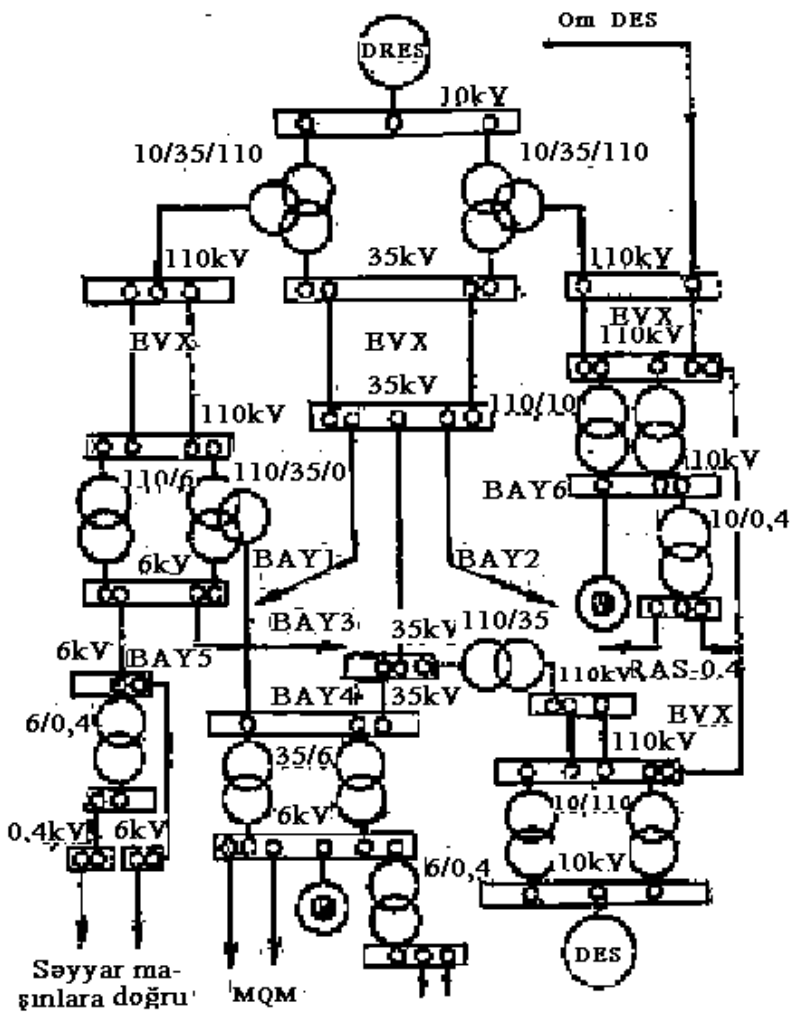
II kateqoriyaya kömür qaldıran mexanizmlər, pnevmatik enerji, şaxtalarda xüsusi sərfiyyat kompressor stansiyaları, şaxtanın tikinti obyektləri və s.. Qalan elektrik tələbatçılar isə III kateqoriyaya tələbatçılar qrupna aid edilir.

Dağ mədənlərinin tipik elektrik təchizat sxemləri

Dağ-mədən sənayesinin elektrik enerjisi ilə təminatı, enerji sistemindən, sistemlə əlaqədə olan xüsusi elektrik stansiyalarından və avtonom qida mənbələrindən istifadə etməklə mümkündür. Məsələn, kömür sənayesində tələb olunan elektrik enerjisinin 97%-dən çoxu enerji sistemindəndir. Lakin bəzi kömür şaxtalarında, şaxtadan alınmış daş kömürün hesabına xüsusi stansiyalar öz növbəsində enerji sistemlə əlaqələndirilir. Elektrik enerjisinin paylanması sxemi pilləvari prinsipə görə qurulur. Pillələrin sayı tələbatçıların gücünə və onların müəssisə üzrə yerləşdirilməsinə görə müəyyən edilir.

Adətən iki-üç pillə qəbul edilir, əks halda kommutasiya, mühafizə və istismar mürəkkəbləşir. Xarici təchizat sxemi, radial, açıq, magistral və qapalı magistral ola bilər.

Dağ sənayesinin tipik elektrik təchizatı sxemi şəkl. 3.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 3.1. Dağ-mədən müəssisələrinin tipik elektrik təchizat sxemi

3.3. Elektrik yüklərinin hesabı və yarımstansiyaların gücünün təyini

Elektrik yüklərinin təyini üçün sadələşdirilmiş və yaxud dəqiq üsul tətbiq edilir. Yüklər aşağı gərginlik pilləsindən yuxarı gərginlik pilləsinə görə müəssisə üçün pillələrlə aparılır. Ümumiyyətlə, elektrik yüklərinin hesabı, sorğu əmsalına (K_s), vahid yük miqdarına düşən enerji sərfinə, orta gücə və yük qrafiki əmsalına, maksimum yükə (K_m) və statik üsula (yəni orta kvadratik fərqlənməyə) görə aparılır.

Təcrübələr göstərir ki, dağ sənaye müəssisələri üçün elektrik yüklərini sorğu əmsalı və xüsusi enerji sərfi üsulları ilə təyin etmək məqsədəuyğundur.

Dağ müəssisələrinin əsas elektrik tələbatçılarının güc və sorğu əmsalları cədvəl 3.1-də göstərilmişdir.

Eyni rejimdə işləyən işlədicilər qrupu üçün hesabi yüklər aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$P_h = P_{nom} \cdot K_s \quad (3.1)$$

$$Q_h = P_h \operatorname{tg} \varphi \quad (3.2)$$

$$S_h = \sqrt{P_h^2 + Q_h^2} \quad (3.3)$$

burada P – aktiv hesabi yük; Q – reaktiv hesabi yük; S – tam hesabi yük; K_s – xarakterik qrup işlədicilərinin sorğu əmsalı; $\operatorname{tg} \varphi$ – verilmiş qrupdakı işlədicilərin güc əmsalına ($\cos \varphi$) uyğundur.

Cədvəl 3.1

Elektrik qəbuledicilərinin qruplarının adları	Kömür sənayesi		Dağ-mədən sənayesi	
	K _C	cosφ	K _C	cosφ
Qaldırıcı qurğular	0,7	0,7	0,75-0,95	0,75-0,8
Ventilyasiya qurğuları	0,5	0,7	0,8-0,95	0,8-0,85
Kompresor qurğuları	0,8-0,95	0,75-0,8	0,8-0,95	0,75-0,8
Əsas (baş) suboşaldıcı	0,7-0,9	0,8-0,85	0,7-0,9	0,75-0,85
Lülə	0,6-0,7	0,7	0,6-0,7	0,7
Texnoloji kompleks	0,6-0,7	0,7	0,6-0,7	0,7
İstixana	0,7-0,75	0,75	0,7-0,75	0,75
Mexaniki emalatxana	0,3-0,65	0,65	0,1-0,3	0,5-0,6
İnzibati kombinat	0,6	0,7	0,2-0,5	0,5
Təmizləyici işlər:				
laylarda	0,4-0,5	0,6	-	-
təbəqələrdə	0,5-0,6	0,7	-	-
Hazırlıq işləri	0,3-0,4	0,6	-	-
Ekskavatorlar:				
birçömçəli	0,44-0,88	0,65	0,44-0,88	0,65
çoxçömçəli	0,6-0,8	0,75	0,6-0,8	0,75
Yersovuranlar	-	-	0,8-0,9	0,8
Müxtəlif	-	-	0,75-0,9	0,75-0,85
Qazma dəzgahları	0,5-0,7	0,7	0,5-0,7	0,7
Elektrovozlarla daşınma:				
kontaktlı	0,45-0,65	0,9	0,45-0,65	0,9
akkumulyatorlu	0,8	0,9	0,8	0,9
Müxtəlif konveyerlər	0,5	0,7	0,65-0,8	0,65-0,8
Müxtəlif nizamlayıcılar	-	-	0,7-0,8	0,72-0,8
Bərkidici lövbərlər	-	-	0,35-0,7	0,7
Müxtəlif əşyalar	0,7	0,7	0,7	0,7
Xarici işıqlanma	1,0	1,0	1,0	1,0

Cədvəl 3.2

Elektrik qəbuledicilərinin qruplarının adları	İşdəki qəbuledicilərin sayı	P_n gücünün təyin edilmiş qiyməti, kVt	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Hesablayıcı yüklər		
						$P_p = P_{nom} K_c$ kVt	$Q_p = P_p \operatorname{tg}\varphi$ kVAr	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ kVA
Qaldırma	2	1600	0,7	0,7	1,0	1120	1120	1600
Ventilyatorlar	2	2000	0,5	0,7	1,0	1000	1000	1414
Suboşaldıcılar	1	250	0,8	0,8	0,75	200	150	250
Təmizləmə işləri	4	1200	0,5	0,6	1,33	600	798	1000
Hazırlıq işləri	5	300	0,4	0,6	1,33	120	160	200
Konveyer nəqliyyan	18	1040	0,5	0,7	1,0	520	520	743
Texnoloji səthi kompleks	12	150	0,7	0,7	1,0	106	106	150
Mexaniki emalatxana	8	75	0,5	0,65	1,17	39	46	60
İsuxana	4	30	0,7	0,75	0,88	21	18	28
İnzibati kombinat	7	50	0,6	0,7	1,0	30	30	43
Heyət?trafi	6	100	0,65	0,7	1,0	65	65	92
İşıqlandırma	22	90	1,0	1,0	0	90	0	90
Cəmi:		6888				3910	4012	5670

Tutaq ki, sorğu əmsalına görə dağ sənayesi BAY-nın hesabi gücünü təyin etmək lazımdır. Cədvəl 3.1-də verilmiş konkret tələbatçılar qrupu üçün K_s və $\cos\varphi$ -ni seçərək məlum üsula görə hesabi yükləri təyin edirik.

İşlədicilər qrupunun adları cədvəl 3.2-də verilmişdir.

Hesabata görə müəssisənin tam hesabi gücü $S=5670$ kVA-dır. Bu gücə uyğun iki ədəd TMH-6300/110 tipli transformator seçirik. Transformatorlardan hər birinin gücü 6300 kVA-dır, biri işçi digəri isə ehtiyat transformatorlarıdır. Transformatorun yüklənmə əmsalı

$$\beta = S_h / S_{nom} = 5670 / 6300 = 0,9$$

alınır.

Seçdiyimiz transformatorun verilənləri:

TMH-6300/110; $S_{nom}=6300$ kVA; $P_{y.i}=10$ kVt; $P_{q.q}=50$ kVt; $U_{qq}=10,5\%$; $i_0=1,0\%$.

Transformatordakı aktiv güc xətası ΔP_t və onun reaktiv gücü:

$$\Delta P_t = P_{y.i} + \beta^2 \Delta P_{qq} = 10 + 0,9^2 \cdot 50 \text{ kVt}$$

$$\Delta Q_t = S_{nom} \Delta Q_t \% \cdot 10^{-2} = S_{nom} (\Delta Q_{qq} + \beta^2 \Delta Q_{qq}) \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta Q_{y.i} = i_0 \% = 1\%; \quad \Delta Q_{qq} = U_k \% = 10,5\%$$

onda

$$\Delta Q_t = 6300(1 + 0,9^2 \cdot 10,5) \cdot 10^{-2} = 598,5 \text{ kVAr}$$

Transformatordakı itgiləri və reaktiv gücləri nəzərə almaqla tam hesabi güc

$$S_h = \sqrt{(P_h + \Delta P_t)^2 + (Q_h + \Delta Q_t)^2} =$$

$$= \sqrt{(3910 + 50)^2 + (4012 + 598,5)^2} = 6272 \text{ kVA}$$

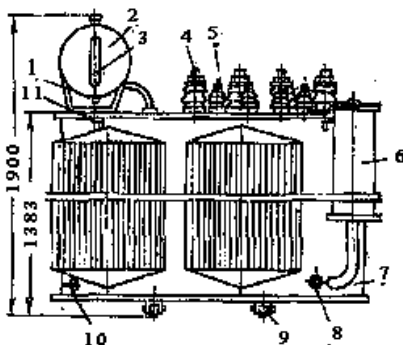
Beləliklə seçilmiş transformator itgiləri nəzərə almaqla tələb olunan gücü tam ödəyə bilər.

Güc transformatorları və onların seçilməsi

Dağ-mədən sənaye müəssisələrinin BAY-da gücü 6300 kVA olan TM seriyalı, daha böyük güclərdə isə TD seriyalı transformatorlar quraşdırılır. TM yağla soyudulan, TD yağ və hava ilə (küləklə) soyudulandır. Yük altında tənzimlənən transformatorlar isə TMH seriyalıdır. TM seriyalı transformatorların görünüşü şəkl. 3.2-də göstərilmişdir.

Əksər hallarda transformatorların paralel işləməsi lazım gəlir. Transformatorların paralel işləməsi üçün onların birləşmə qrupu, transformasiya əmsalları və gərginliklərinin eyni olması şərti ödənilməlidir.

Dağ-mədən sənayesində işləyən transformatorların texniki göstəriciləri cədvəl 3.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3.2. TM tipli güc transformatoru

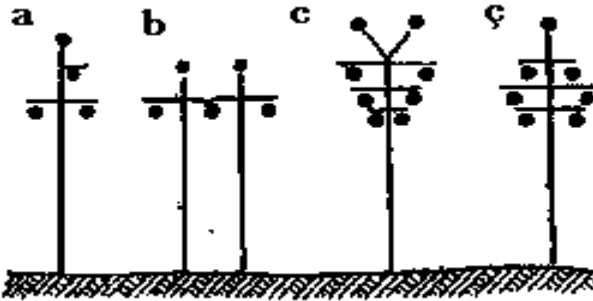
Elektrik şəbəkələri hava və kabel xətləri vasitəsilə qurulur. KVX-nin əsas elementləri:

- izoləedilmiş məftillər;
- dayaqqlar;
- izolyatorlar;
- xətt armaturları;
- mühafizə trosları.

Əsasən alüminium (A) və polad-alüminium (AC) məftillərindən istifadə olunur.

Müxtəlif materialı məftillərin texniki göstəriciləri cədvəl 3.4-də göstərilmişdir.

Məftillərin çəkildiyi dayaqqlar anker və aralıq növlərinə ayrılırlar. Məftillərin dayaqqlarda yerləşdirilməsi şəkl. 3.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3.3. Məftillərin dayaqqlarda yerləşdirilməsi bir dövrəli xətlərin üçbucaq (a) yaxud üfüqi (b) yerləşdirilməsi, iki dövrəli xətlərin əks yolka (c) yaxud altı bucaqlı boçka şəkilli (ç)

Cədvəl 3.3

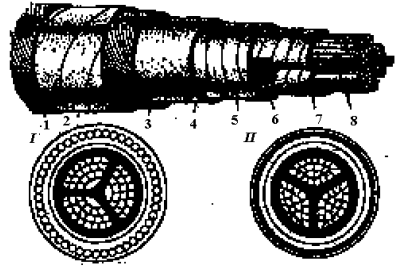
Transformator	Güc, kVA	Gərginliyin yüksək heddi, U _n , kV		İtəklər, kVt		Yüksüz işləmə cərəyanı, %	Qısaqapanma gərginliyi, %
		BH	HH	Yüksüz təsləmə	Qısaqapanma		
TM-160/6-10	160	6,10	0,4; 0,69	0,46-0,54	2,65-3,1	2,4	4,5-4,7
TM-250/10	250	10	0,4; 0,23	1,06	3,7-4,7	2,3-3,68	4,5-4,7
TM-400/10	400	10	0,4; 0,69	0,92-1,08	5,5-5,9	2,1-3,0	4,5
TM-630/10	630	10	0,4; 0,69	1,43-1,68	7,6-8,5	2,0-3,0	5,5
TM-1000/6	1000	6,3	0,4; 0,69	2,3-2,75	12,2	1,5	8
TMH-1000/35	1000	35	0,69	2,35-2,75	12,2	1,5	6,5
TMH-1600/10	1600	10	0,69	2,8-3,3	18	1,3-2,6	5,5
TMH-1600/35	1600	35	0,69; 11	3,1-3,65	18-16,5	1,4	6,5
TM-2500/10	2500	10	0,69; 10,5	3,9-4,6	25,0-23,5	1,0	5,5
TMH-2500/35	2500	35	0,69; 11	4,35-5,1	25,0-23,5	1,1	6,5
TMH-2500/110	2500	110	6,6; 11	5,0-6,5	22	1,5	10,5
TMH-4000/10	4000	10	6,3	5,45-6,4	33,5	0,9	6,5
TMH-4000/35	4000	35	6,3; 11	5,7-6,7	33,5	1,0	7,5
TM-6300/10	6300	10	10,5	7,65-9,0	46,5	0,8	6,5
TMH-6300/35	6300	35	6,3-10,5	8,0-9,4	46,5	0,9	7,5
TMH-6300/110	6300	115	6,6-38,5	10-13	50	1,0	19,5
TD-10000/35	10000	38,5	6,3-10,5	12,3-14,5	65	0,8	7,5
TMH-10000/110	10000	115	6,6-38,5	14-18	60	0,9	10,5

Cədvəl 3.4

Mis naqıl	Yük, A	Alümi-nium naqıl	Yük, A	Polad-alümi-nium naqıl	Yük, A	Polad naqıl	Yük, A
M-6	70	A-16	106	AC-35	175	PSO-3	23
M-10	95	A-25	135	AC-50	210	PSO-3,5	26
M-10	130	A-35	170	AC-70	265	PSO-4	30
M-25	180	A-50	215	AC-95	330	PSO-5	35
M-35	220	A-70	265	AC-120	380	PS-25	60
M-50	270	A-95	320	AC-150	445	PS-35	75
M-70	340	A-120	375	AC-185	510	PS-50	90
M-95	415	A-150	440	AC-240	610	PS-70	125
M-120	485	A-185	500	AC-300	690	PS-95	135
M-150	570	A-240	590	AC-400	835		

Elektrik ötürülməsi kabellər vasitəsilə də yerinə yetirilir.

Kabel elektrik veriliş xətlərinin elementləri: kabel, bağlayıcılar, uc muftalar, doldurma aparatları (yağ doldurulmuş kabellərdə) və kabel çəkilməsi üçün tikililər, güc kabellərinin elementlərində cərəyan keçirən damarlar, izolyasiya və ya izoləedici üzlüklər və s.-dən (bu üzlüklər damarları bir-birindən, eləcə də yerdən izolə edilir) istifadə olunur.



Şəkil 3.4. Zirehli kabelin konstruktiv görünüşü

- 1 – korroziyadan mühafizə təbəqəsi; 2 – polad zireh; 3 – i; 4 – mühafizə üzlüyü, bitimum örtük; 5 – lent izolyasiya; 6 – sulfat kağız; 7 – hər bir fazanın izolyasiyası; 8 – cərəyan keçirən damarlar

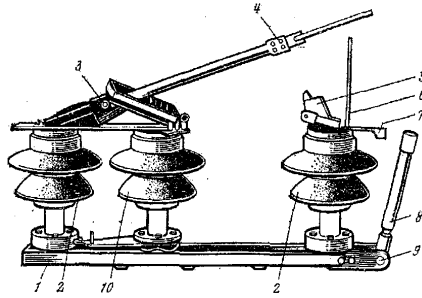
Zirehli kabelin konstruktiv görünüşü şək. 3.4-də göstərilmişdir.

Sənayedə müxtəlif en kəsikli 200 m-dən 600 m-ə qədər uzunluqlu kabellər buraxılır.

3.4. 6 kV və ondan yüksək gərginlikli elektrik aparatlarının elementləri

Elektrik stansiyalarında, yarımstansiyalarında və elektrik şəbəkələrində quraşdırılan aparatlar kommutasiya, ölçü və mühafizə elementlərinə ayrılır, hər biri konkret funksiya yerinə yetirirlər. Bu elementlərə daxildir:

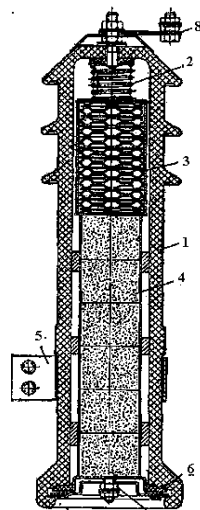
- **şinlər** – keçiricilər olub düzbucaqlı, dairəvi, boru şəkilli və çoxsaylı məftillər yığımından ibarət olub, izolyatorlar üzərində bərkidilir. Şinlər misdən, alüminium və poladdan olub rəng-lənirlər. A – fazası sarı, B – fazası yaşıl, C – fazası qırmızı, torpaqlanmış neytral isə qara rənglənilir;
- **izolyatorlar** – cərəyan keçirən hissələri torpaqdan və bir-birindən izolə etmək məqsədini daşıyır. İzolyatorlar xətti, taxma və asma növlərinə ayrılır. Keçid və dayaq izolyatorları paylayıcı məntəqələrdə (PM) quraşdırılır. İzolyatorların şərti işarələrinə aid olan hərflər: O – dayaq, II – keçid (asma), III – taxma, Φ – farfor, C – şüşə, H – xarici quraşdırma. A, Б, В, Г, Д və E hərfləri isə izolyatorların mexaniki möhkəmliyini xarakterizə edir. Dayaq izolyatorları şək. 3.5-də verilmişdir;



Şəkil 3.5. Dayaq izolyatorları

- **qoruyucular** – 1 MVA-ya qədər güc transformatorlarını, gərginlik transformatorlarını, kondensatorları və digər aparatları qısaqapanmadan mühafizə etməyə qulluq edir. Qoruyucuların seriyaları: daxili quruluşlar üçün PK və PKT, xarici quruluşlar üçün PKN və PSN ibarətdir;
- **ayırıcılar** – elektrik tələbatçıları (yüklerini) yük olmadığı halda qoşmağa və açmaq üçündür. Bunlarda qövs söndürücülər olmur, bir və üç qütblü olurlar;
- **yük açarları** – gərginliyi 10 kV-a, cərəyanı 400 A-ə, gücü 4 MVA-a qədər olan elektrik dövrələrinin kommutasiyasına xidmət edir. İki tipdə BH-16 və BH-17 buraxılır;

- **aralayıcılar və qısaqapayıcılar** – konstruksiya etibarilə ayırıcılara çox oxşardır. Aralayıcılar zədələnmələr baş verdiyi hallarda elektrik dövrəsinin müəyyən hissəsinin açılmasına xidmət edir. Qısaqapayıcılar isə güc transformatorlarında zədələnmə olan hallarda süni qısaqapanma yaradaraq transformatorlardan əvvəlki açarların açılmasını təmin edir;
- **boşaldıcılar** – elektrik qurğularının izolyasiyasını atmosfer ifrat gərginliklərdən mühafizə edir. Ventil – PB və boru şəkilli PT tiplərdə buraxılır. Elektrik stansiyalarında PBC, yarımstansiyalarda PBII, 110 kV-luq şəbəkələrdə avadanlıqların mühafizəsi üçün ventil boşaldıcılarından istifadə edilir.



Şəkil 3.6. Ventil boşaldıcısı
1-saxsı gövdə, 2-yay,
3-qığılcım aralığı,
4-işçi müqavimət,
5-boşaldıcını bərkitmək üçün
6-pərcimləyici rezin,
7-boşaldıcının torpaqlanması,
8-xətə qoşulması lövhələridir

Ventil boşaldıcısının görünüşü şəkl. 3.6-da göstərilmişdir.

- **ölçü transformatorları** – Gərginlik və cərəyan ölçü transformatorlarına ayrılaraq ölçü cihazlarını və rele dolaqlarını qidalandırmğa avtomatika və siqnalizasiya vasitələrinə xidmət edir. Cərəyan transformatorlarının nominal parametrlərinə aiddir: gərginlik – 6 kV-dan 750 kV-a qədər, birinci tərəf cərəyanı 1 A-dən 40000 A-ə qədər, ikinci tərəf cərəyanı 0,3,

0,5, 1, 2, 2,5, 5, 10 A, nominal yükü 2,5-dən 100 VA. Nominal gərginlik sinfi – 0,2, 0,5, 1, 3 və 10. Birinci tərəf dolaqları J1 və J2 ilə ikinci tərəf dolaqları isə İ1 və İ2 kimi işarələnir.

6 kv və ondan yüksək gərginlikli şəbəkələr. Elektrik qurğularının rele mühafizəsi

Elektrik sistemlərinin istismarı zamanı normal rejimin pozulması halları, yəni gərginlik, cərəyan və tezliyin normaldan fərqlənməsi məsələləri ortaya çıxır ki, nəticədə elektrik sisteminin ayrı-ayrı elementlərində cərəyanın artması, gərginliyin azalması prosesləri baş verir.

Normal rejimin bərpası və zədələnmiş yerlərin tez bir zamanda avtomatik olaraq aradan qaldırılması məqsədilə, onların qida mənbəyindən açılması məqsədilə rele mühafizəsi tətbiq olunur. Zədələnmələrin xarakterindən asılı olaraq rele mühafizəsi uyğun açarların açılmasına və ya da signal verməsinə xidmət edir. Rele mühafizəsi bir sıra tələbləri ödəməlidir: tez təsiretmə və etibarlıq, seçmə, həssaslıq, signal və ehtiyat quruluşun olması. Relelərdə tez təsiretmə 0,1-0,2 san-dən çox olmamalıdır. Bir neçə mühafizə növündən asılı olaraq işləmə müddəti 0,02-0,04 san təşkil edir.

Relelərin həssaslığı:

$$K_h = \frac{I_{qq}}{I_{is}}$$

və yaxud

burada I_{qq} , U_{qq} – qısaqapanma zamanı cərəyan və gərginlik; $I_{i\dot{s}}$ və $U_{i\dot{s}}$ – mühafizənin cərəyanı və gərginliyə görə işləməsidir.

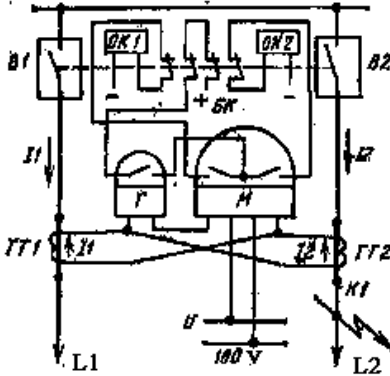
Sabit cərəyan mənbəyi kimi 110-220 V mənbələrdən və 24-48 V-luq akumulyatorlardan istifadə olunur.

Elektrik stansiya və böyük yarımstansiyalardan çıxan hava veriliş xətlərini (HVX) qısaqapanmadan ani mühafizə etmək üçün dife-rensial mühafizədən istifadə olunur.

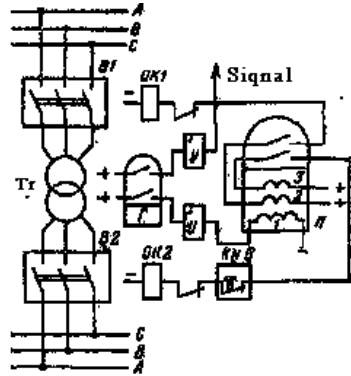
[illegible]

60

Uzununa mühafizə HVX-nin əvvəlində və sonundakı faza cərəyanlarının müqayisəsinə əsaslanır. Uzunluğu 10-15 km olan 110-220 kV HVX-də tətbiq edilir.



Şəkil 3.8. Paralel HVX-nin eninə differensial mühafizəsinin prinsipial sxemi



Şəkil 3.9. Transformatorların qaz mühafizəsinin prinsipial sxemi

HVX-nin maksimal cərəyan mühafizəsinin prinsipial sxemi şəkl. 3.7-də, paralel HVX-nin eninə differensial mühafizəsinin prinsipial sxemi şəkl. 3.8-də və transformatorların qaz mühafizəsinin prinsipial sxemi şəkl. 3.9-da göstərilmişdir.

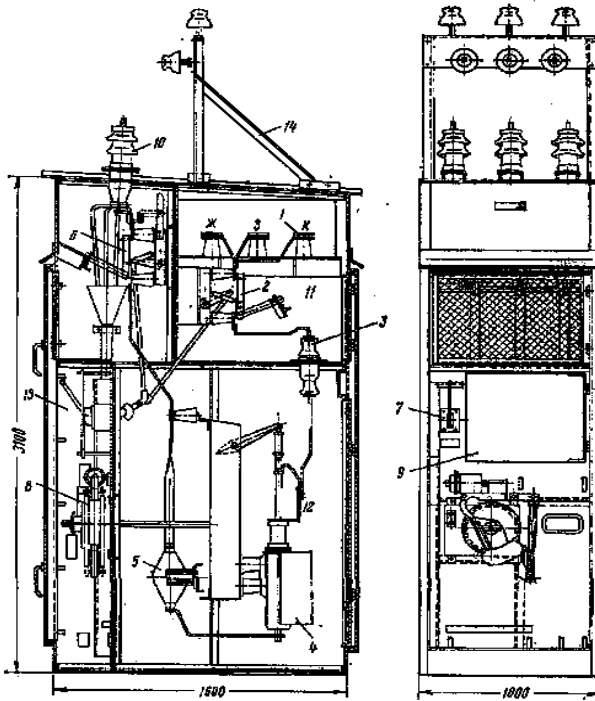
Kompleks paylayıcı quruluşlar (KPQ)

KPQ-r sərbəst əməliyyatların aparılması üçün vacib olan aparatların yığıldığı şkaf və ya blokdan ibarət olur.

KPQ-lar – 50 Hz tezlikli 6 kV üç fazalı dəyişən gərginliklərin qəbul olunmasına və paylanmasına

xidmət edir. Konstruktiv cəhətdən stasionar və səyyar olmaqla qapalı ərazidə yerləşdirilir.

Xarici quruluşuna görə fiderə malik KPQ-n sxemi şək. 3.10-da verilmişdir.



Şəkil 3.10. KPQ-nin xarici quruluşunun sxemi

1-yığıma şini, 2-şin ayırıcı, 3-keçid izolyatoru, 4-güc açrı, 5-cərəyan transformatoru, 6-xətt ayırıcısı, 7-ayırıcı inteqal, 8-güc açarının inteqalı, 9-cihazlar lövhəsi, 10-giriş keçid izolyatoru, 11-yığım şinindən çıxış, 12-ğüc açarlarından çıxış, 13-idarəetmə aparatlarından çıxış, 14-xətt izolyatorlarının kronşteyni.

3.5. Yarımstansiyaların mühafizə torpaqlanması və izolyasiyaya nəzarət

Elektrik avadanlıqlarının hər bir hissəsi normal iş rejimində (məsələn gövdə) şəbəkə gərginliyinin təsiri altında olmur. Bu hissələrin izolyasiyası sıradan çıxdıqda isə onlar gərginlik altında olur və özlərini cərəyan keçiricisi kimi aparırlar.

Yarımstansiyada adamların təhlükəsizliyini təmin etmək üçün yarımstansiyada torpaqlayıcı quruluşlar yaradılır və elektrik avadanlıqları torpaqlanır, yəni şəbəkədə mühafizə torpaqlanması aparılmış olur. Torpaqlayıcının müqaviməti, birfazlı qısaqapanmada və 1000 V gərginlikdən yüksəkdə 0,5 Om-dan, həmin gərginlikdə cərəyan isə 500 A-dən az olduğu halda 10 Om-dan, 1000 V-dan aşağı gərginlikdə isə 4 Om-dan artıq olmamalıdır.

Tutaq ki, gərginliyi 1000 V və ondan yüksək olan halda yarımstansiyanın mühafizə torpaqlanmasını hesablamaq lazımdır. Təhlükəsizlik müqavimətini $R_t=4$ Om qəbul edirik. Yarımstansiya ətrafındakı gilini xüsusi müqavimətini $\rho=1 \cdot 10^4$ Om.sm-dir. Süni torpaqlanma üçün diametri 60 mm, uzunluğu 2,5 m olan polad boru qəbul edirik. Gilin müqavimətini nəzərə alaraq bir borunun müqavimətini təyin edək:

$$R_{o.b} = 0,00325 \rho = 0,00325 \cdot 1 \cdot 10^4 = 32,5 \text{ Om}$$

Burada 0,00325 – verilmiş parametərə görə polad boru üçün təyin olunmuş əmsəldir. Lazım olacaq boruların sayı:

$$n = R_{ab} / R_b = 32,5 / 4 = 8,125$$

12 boru qəbul edilir və onları bir-birilə polad lent ilə birləşdirirlər. Bu zaman lentin müqaviməti nəzərdən atılır. Mühafizə torpaqlayıcı şininnin dəqiq qiyməti

$$R_h = R_{ab} / n = 32,5 / 12 = 2,6 \text{ Om} < R_b = 4 \text{ Om}$$

Fəsil IV

4. YARIMSTANSİYALARIN AVTOMATİKA VƏ TELEMEXANİKASI. ELEKTRİK TƏCHİZATININ DİSPETÇERLƏŞDİRİLMƏSİ

Dağ-mədən sənayesində iki növ avtomatik sistemlər tətbiq edilir: EAQ – ehtiyatın avtomatik qoşulması, ATQ – avtomatik təkrar-qoşma.

EAQ-si birinci kateqoriyalı tələbatçıların qidalandırılmasında yarımstansiyanın girişində bölmələrarası (seksiya) açarlarda və güc transformatorlarında quraşdırılır.

EAQ-si elektrik enerjisi verilməsini tez bir zamanda bərpa edir, ikiqat sistem şinə ehtiyac olmaması ilə yarımstansiyanın və rele mühafizəsi sxemlərini sadələşdirir. HVX-ri və transformatorların paralel işləməsinə ehtiyac qalmır, nəticədə qısaqapanma cərəyanının azalmasına sistemin ucuz başa gəlməsinə səbəb olur.

EAQ-si sərbəst (asılı olmayan) mənbədən qidalanmalı, birqat təsirli olmalı, güc transformatorlarını qoşan güc açarları dövrəsinin düzgün işləməsinə nəzarət etməlidir.

EAQ sabit və dəyişən cərəyan mənbələrindən işləyə bilər. Dəyişən cərəyan mənbəyi olaraq, gərginlik transformatorlarından, sabit cərəyan mənbəyi olaraq isə akumulyator batareyalarından istifadə olunur.

ATQ – qısaqapanma aradan götürüldükdən sonra təkrar-qoşmaya işləyir. ATQ kabel və HVX-nin, seksiyaların və yarımstansiya şinləri üçün nəzərdə tutulur.

Əgər qoşma açarları elektromaqnit və yaxud pnevmatik intiqalıdırsa, onda ATQ quruluşu sabit cərəyandan, yağ intiqalında ATQ-da dəyişən cərəyandan istifadə olunur. ATQ quruluşlarında əsasən RPV-58, RPV-258, RPV-358 tipli və onların modifikasiyasından istifadə olunur. ATQ-lər bir və çox dəfəli qoşmalı olur.

4.1. Açıq dağ-mədənin elektrik təchizatı

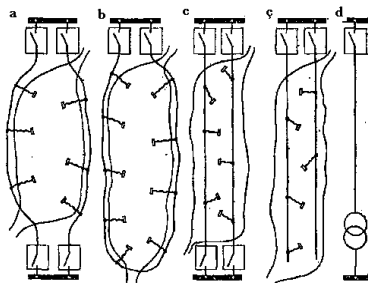
Açıq dağ-mədən işlərinin elektrik təchizatı spesifik xüsusiyyətlərə malik olmalıdır ki, işlərin açıq atmosfer şəraitində aparılması, qazma işləri gedən ərazilər və torpağın tərkibinin müxtəlifliyi, çıxarılan faydalı qazıntıların müxtəlifliyi dağ-mədən maşınlarının müxtəlif elektrik intiqal sisteminə malik olması, güclərin, gərginliklərin elektrik enerji sərfəsinin geniş diapazonda dəyişməsi və s. nəzərə alınsın.

Karxanaların xarici elektrik təchizatı, gərginlikləri 6 kV və 220 V, sənaye tezlikli dəyişən cərəyan vasitəsilə yerinə yetirilir. Daxili elektrik təchizatı sxemi, tətbiq olunan elektrik avadanlıqlarından asılı olaraq dəyişən və sabit cərəyanla həyata keçirilir.

Dəyişən cərəyanlı səyyar elektrik avadanlıqları 35 kV gərginlikli şəbəkədən, generator-mühərrik (G-M) sistemi 0,7 kV-a qədər sabit cərəyan mənbə-

yindən, dəmiryolu nəqliyyatı maşınları isə 1,5 və 3 kV-luq sabit cərəyan mənbəyindən qidalanır.

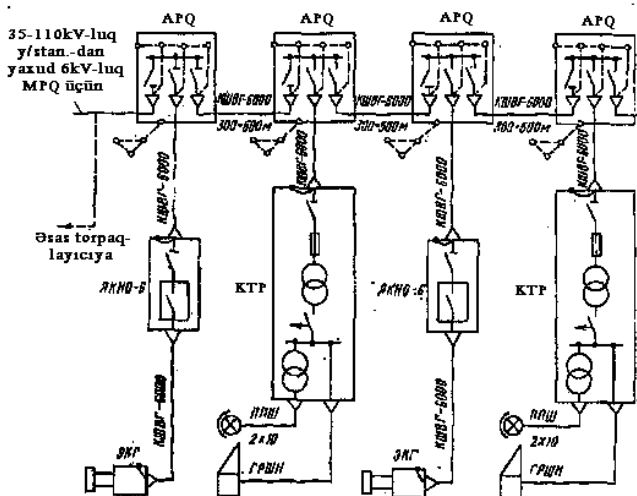
Açıq dağ-mədənlərinin işlənməsində istifadə olunan elektrik təchizatının prinsipial sxemi şəkl. 4.1-də verilmişdir.



Şəkil 4.1. Elektrik təchizatının prinsipial sxemi:
a) dairəvi; b) radial; c) birtərəfli; d) radial olmaqla
BAY-ın qidalanmasını ifadə edir

4.2. Komplekt paylayıcı quruluşlar və qoşma məntəqələri

Quraşdırılma yerindən, stasionar və ya səyyar olmasından asılı olaraq açıq və qapalı komplekt quruluşları mövcuddur. Stasionar PQ-lar əsasən KPQ-da yığılır. Belə KPQ-2 əsasən karxanalarda qurulur. Müasir karxanalarda ƏKNO-6GP, PKRN-6, PKRN-6VM, OPP və s. tipli KPQ-lar quraşdırılır. Göstərilən tip KPQ-r elektrik tələbatçıları HVX və kabellər vasitəsilə qoşulmasında istifadə olunur. Səyyar aqreqatların daşınması məqsədilə KRQ-r relslər üzərində quraşdırılır.



Şəkil 4.2. Dağ-mədən işlərində EVX-lə qidalandırıcıların qidalandırılmasının prinsipl sxemi

Nəqliyyat sistemi də səyyar paylayıcı məntəqə (SPM) quraşdırılır ki, bu məntəqələr transformatorlardan qidalandırılır (transformatorlar da səyyar olurlar).

Açıq dağ-mədən işlərində kabel elektrik veriliş xətlərində tələbatçıların qidalandırılmasının prinsipl elektrik təchizatı sxemi şəkil.4.2-də göstərilmişdir. Burada ayrıca gərginlik komplekt paylayıcı qurğusundan (KPUN), paylayıcı məntəqə qidalandırılır.

PM-n güc dövrəsinə elektrik veriliş xəttindən, yaxud aralıq paylayıcı məntəqədən (ППП) girişlər, ayırıcılar (P), güc açarları (B), TT1 və TT2 cərəyan transformatorlarının birinci tərəf dolaqları, elektrik tələbatçılarına gedən kabel ucları daxildir.

Güc dövrəsinə PKT qoruyucuları vasitəsilə qoşulmuş gərginlik transformatorlarının birinci tərəf dolaqları da aiddir.

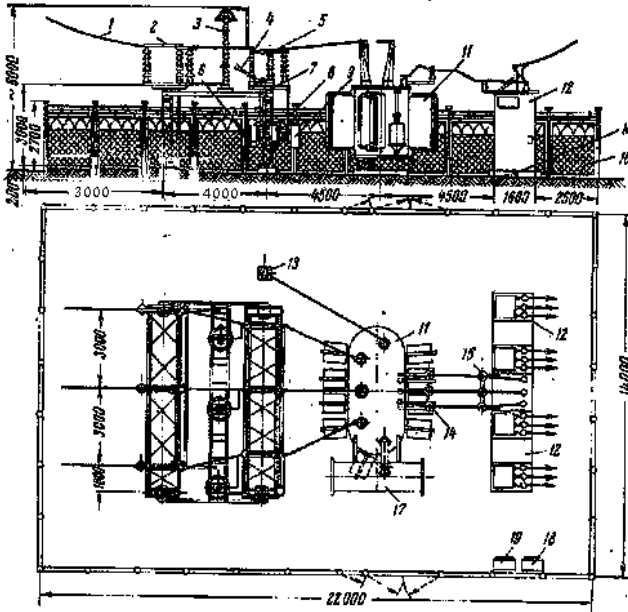
4.3. Transformator yarımstansiyaları

Açıq dağ-mədən işlərində bir və ya iki transformatorlu xarici komplekt yarımstansiyaları (КТПН)-dan geniş istifadə olunur. 110-35/6-10 kV giriş gərginlikləri transformatorlar vasitəsilə 0,4 kV çevrilir ki, bu da tələbatçıları təmin edir.

Xarici komplekt transformator yarımstansiyalarının (КТПН) prinsipial sxemi şəkl. 4.3-də göstərilmişdir. КТПН-lərdə gücü 1000 kVA-dan 16000 kVA-ə qədər olan gərginlikləri tənzim olunan transformatorlar quraşdırılır. Hər bir yarımstansiya alçaq və yüksək gərginlikli transformator paylayıcı məntəqələrindən ibarətdir.

Sxemdən göründüyü kimi HEVX (hava elektrik veriliş xətləri) – 1 vasitəsilə PM-yə yüksək gərginlik verilir. PM-ə ПЛН3 tipli ayırıcı – 2; PBC-110 tipli ventillə boşaldıcısı – 3; КЗ-11- tipli qısaqapayıcı – 4; ОД-110 tipli avtomatik aralayıcı – 5; qısaqapayıcı və aralayıcının intiqalı – 6, 9; idarə şkafları – 8. Bütün elektrik aparatları metal konstruksiyada yığılıb – 7;. Güc transformatoru – 11, torpaqlanma ayırıcısı – 13 vasitəsilə etibarlı əlaqələndirilmişdir. Transformator qapağının üstündə yağ genişləndirici – 17 yerləşdirilib. 6-10 kV-luq tərəfdəki şinlər 14 və 15 dayaq kranşteynləri vasitəsilə izolyatorlara bərkidilir. 12 – alçaq gərginlik PQ-r, PQ-nun bərkidildiyi xüsusi

çərçivə – 10. Yarımstansiya – 16 metal çərçələ hasara alınmışdır. Çəpərin içində inventar və yanğın əleyhinə olan sənədlər üçün şkaflar – 18 və 19.



Şəkil 4.3. Xarici komplekt transformator yarımstansiyalarının prinsipial sxemi:

4.4. Yarımstansiya transformatorlarının gücünün seçilməsi

Elektrik yüklərinin və güc transformatorlarının gücünü hesablamaq üçün əvvəlki bölmələrdə bəhs etdiyimiz üsulların hər birindən istifadə etmək olar. Elektrik yüklərinin hesabı alçaq gərginlik pilləsindən yüksək gərginlik pilləsinə doğru aparılır.

Birçömçəli ekskavatorları qidalandıran PKTP tipli yarımstansiyanın gücünü təyin edərkən yükün qeyri-daimi olmasını və pik halları nəzərə alınmalıdır. Belə tələbatçılar (dəyişən yüklü) sorğu əmsalı üçün xüsusi cədvəl tərtib edilir. Belə ki, transformatorların yüklənməsi hər dəfə dəyişir. Adətən, transformatorların artıq yüklənməsi 1,1-1,3 arasında dəyişir (cədvəl 4.1).

Cədvəl 4.1

Transformatorun yüklənməsinin sorğu əmsalı

Tələbatçıların adları	Transformatorların artıq yüklənməsi və pik yükləri nəzərə almaqla sorğu əmsalı, K_s tələbatçıların sayında					
	1	2	3	4	5	6 – 10
1	2	3	4	5	6	7
Sabit cərəyan intiqallı ekskavator						
üstü açan:	0,40	0,69	0,67	0,64	0,63	0,61-0,57
yer qazan:	0,45	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63-0,60
Dəyişən cərəyan intiqallı ekskavator	0,37	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55-0,50

Sorğu əmsalı (K_s) üsuluna görə transformatorların lazım olan gücü aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$S_e' = \sum P_{qoy}' \frac{K_s}{\cos \varphi} \quad (4.1)$$

$$S_e'' = \sum P_{qoy}'' \frac{K_s}{\cos \varphi}$$

burada $\sum P'_{qoy}$, $\sum P''_{qoy}$ – ekskavatorların elektrik mühərriklərinin (dəyişən və sabit intiqallı) qoyuluş güclərinin cəmi kVt-la; $\cos\varphi$ – mühərriklərin tarazlaşdırılmış orta güc əmsalıdır.

Tutaq ki, kömür çıxarmada dörd ekskavator sabit cərəyan elektrik intiqallı ($\Sigma P_{qoy}=1000$ kVt) və dörd ekskavator isə dəyişən cərəyan elektrik intiqallıdır ($\Sigma P_{qoy}=2080$ kVt). Digər qalan tələbatçıları qidalandırmaq üçün transformatorların lazım olan gücü $S_h=4600$ kVA-dır.

Tələb olunur: BAY-ın gücünün təyin edilməsi və transformatorların seçilməsi.

Məlum ifadələrə görə

$$S'_e = 1000 \frac{0,57}{0,65} = 877 \text{ kVA}$$

$$S''_e = 2080 \frac{0,67}{0,65} = 2142 \text{ kVA}$$

BAY-a lazım olan güc

$$S_{BAY} = 4600 + 877 + 2142 = 7619 \text{ kVA}$$

Deməli BAY sayı ikidən artıq olmamaq şərtlə transformatorlar quraşdırılmalıdır. Transformatorlardan biri açıldıqda digəri kömür kəsmənin elektrik yüklərinin 80%-ni öz üzərinə götürməlidir və bu yüklərin cəmini 6095 kVA təşkil edir. Deməli hər birinin gücü 6300 kVA olan güc transformatorları quraşdırılmalıdır. Qəza rejimində onlardan biri yükün 82,7%-ni öz üzərinə götürə bilər.

4.5. Elektrik şəbəkələri və onların hesabı

Karxana və kəsmələrin daxili elektrik təchizatı kabel və hava veriliş xətləri (HVX) vasitəsilə tamamlanır.

EVX-li sabit və dəyişən cərəyan xətlərinə ayrılırlar. Belə xətlər stasionar olub kəsmə və ya karxanaların üstü ilə çəkilir. Müvəqqəti xətlər isə səyyar dağ-mədən işlərində tətbiq edilir.

HVX-ri üçün en kəsikləri 120 mm^2 olan alüminium (A) və polad alüminium (AC) materiallarından istifadə olunur. Muhafizə trosları isə yalnız polad materiallardan olur. Bu troslar yerdən 4,5 m hündürlükdə, ən aşağı məftildən isə 1,25 m məsafədə çəkilməlidir. Məftillərin çəkilməsində stasionar və qeyri-stasionar dayaqlardan istifadə olunur.

Stasionar işlərdə zirehli alüminium damarlı kabellər tətbiq edilir, qeyri-stasionar işlərində isə mis damarlı rezin şlaqlı yumşaq kabellərdən istifadə edilir. İstifadə olunmasından asılı olaraq bir, iki, üç və bir torpaqlayıcı damarlı kabellər tətbiq edilir. Dörd damarlı kabellərin maksimal en kəsiyi 185 mm^2 , üç damarlı – 240 mm^2 , iki damarlı – 150 mm^2 , bir damarlı – 800 mm^2 olur.

Açıq dağ-mədən işlərində ACБ, АСП, ACK, ACБГ, АСПГ, ACKГ, ААБ, ААП, ACББ, ACБГБ markalı zirehli kabellərdən istifadə olunur. Kabellərin markaları belə açıqlanır: A – alüminium damarlı, ikinci hərf A – alüminium üzlüklü, C – svins üzlüklü, Г – xarici üzlüklü, Б – ikiqat polad lentlə zirehlənmiş,

üçüncü hərf Π və ya K – zireh dairəvi, yaxud məftilvaridir, ikinci hərf Π – plasmas izolyasiyalı, yaxud üzlüklü, B – doldurulmuş (hopdurulmuş) izolyasiyalı.

Açıq iqlim şəraitinə malik olan rayonlarda 1000 V-a qədər və ondan yuxarı gərginlik şəbəkələrində şaxtaya qarşı xüsusi davamlı yumşaq kabellərdən istifadə olunur.

İşçi kabellərin hesabı və en kəsiklərinin seçilməsi yük cərəyanı və iqtisadi cərəyan sıxlığına görə aparılır. Seçildikdən sonra normal və işəburaxma rejimləri üçün buraxıla bilən gərginlik itgilərinə dinamik və termiki dayanıqlığa görə yoxlanılır.

4.6. Elektrik qurğularının və EVX-nin mühafizə növləri

Karxana və kəsmə işlərinin dayanıqlı olması üçün elektrik avadanlıqları fasiləsiz olaraq elektrik enerjisi ilə təmin olunmalıdır. Deməli, tələbatçıları qidalandıran EVX-ri etibarlı olmalıdır. Bunun üçün xətlərin mühafizəsi vacibdir.

1000 V-a qədər gərginlikli elektrik şəbəkələrində, artıq yüklənmədən və qısaqapanmadan, istilik, maksimal cərəyan idarəetmənin itirilməsindən mühafizə növlərindən istifadə edilir.

İnsanların yerlə birfəzlə qısaqapanmadan mühafizəsi üçün YAKИ, yaxud A3AK tipli sızma relelərindən istifadə olunur. Bu relelərin işləmə vaxtı 0,2 san artıq olmur.

Gərginliyin azalması, yaxud yox olması zamanı minimal və sıfır mühafizəsi quraşdırılır. Gərginliyi 1000 V-dan yuxarı olan daxili elektrik təchizatında ifrat gərginlikdən, boru və ventil boşaldıcıları ilə artıq yüklənmədən, maksimal cərəyan, birfazlı qısaqapanmadan mühafizə olunmalıdır.

Xarici elektrik təchizatında paralel EVX dairəvi birləşmədə diferensial mühafizə tətbiq edilir. Birinci kateqoriya tələbatçıların elektrik təchizatı sxemlərində mənbələrdə EAQ, EVX-də isə ATQ (avtomatik təkrar-qoşma) istifadə olunur.

Reaktiv güclərin kompensasiyası vasitələri olan sxemlərdə statik kondensator batareyalarının gücünün avtomatik tənzimlənməsi (CAT)-dən istifadə edilir.

Torpaqlanma mühafizəsi kəsmə və karxana işlərində elektrik mühərriklərinin gövdələri, transformatorlar, açarlar, intiqalları ilə birlikdə elektrik aparatları, idarəetmə şitləri, paylayıcı şitlər, EVX-nin metal konstruksiyalı dayaq, stasionar yarımstansiyaların konstruksiyaları, kabel muftalarının metal hissələri, kabellərin üzlükləri, proyektorların gövdəsi və işıqlanma armaturları, gərginlik altında olan metaldan çəkilmiş müxtəlif çəpərlər torpaqlanmalıdır.

Karxana və kəsiklərdə ümumi torpaqlanmağa da baxıla bilər. Torpaqlanmanın yoxlanması MC-07, MC-08, qığılcım təhlükəli yerlərdə isə M1103 cihazları vasitəsilə ölçülür. MC-08 cihazı üç ölçü həddinə 0-dan 10, 0-dan 100 və 0-dan 1000 Om qədərdir, xətası isə $\pm 10\%$ -dir.

Fəsil V

5. YERALTI DAĞ-MƏDƏN TƏLƏBATÇILARININ ELEKTRİK TƏCHİZATI

5.1. Elektrik enerji ötürülməsinin tipik sxemləri

Müasir şaxtalarda yeraltı işlərdə elektrik enerjisi ötürülməsinin iki növü tətbiq edilir. Birinci üsulla yeraltı elektrik tələbatçılarına enerji kabel vasitəsilə verilir. İkinci üsulla bütün elektrik qəbulediciləri, eləcə də quyudakı avadanlıqlar enerjini quyuda yerləşdirilmiş kabel vasitəsilə qəbul edir.

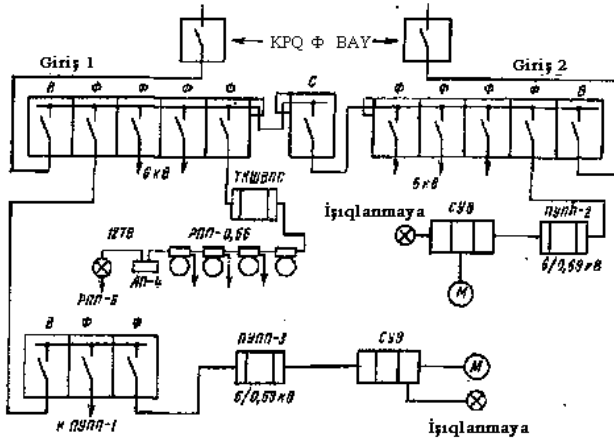
Elektrik təchizatı sxeminin seçilməsi çoxlu faktorlardan: faydalı qazıntının olduğu yerin dərinliyindən, gilin möhkəmliyindən, qazılan yerin ümumi ölçülərindən və yerləşmə sahəsindən, iş görülmə sahələrin müxtəlif məsafələrdə olmasından, işləmə sistemindən, əsas elektrik tələbatçılarının elektrik intiqallarından və tətbiq olunan gərginliyin qiymətindən asılıdır.

Ümumi halda yeraltı işlərin görülməsində enerjinin verilməsinin birinci üsulla aparılması məqsədəuyğun hesab edilir, lakin bu üsul 300 m-ə qədər dərinliklərdə texniki-iqtisadi hesablamalara görə seçilməlidir, bu da ikinci üsulun tətbiqinə daha müvafiqdir.

Hər bir üsulun tətbiqinə, birinci kateqoriyalı tələbatçıların qaydaları göstərilməlidir və eləcə də perspektivlik nəzərə alınmalıdır.

Yeryaltı şaxtalarda maksimal gərginlik 6 kV-dan yuxarı olmur, lakin xüsusi hallarda 10 kV gərginlikdən istifadə etmək olar.

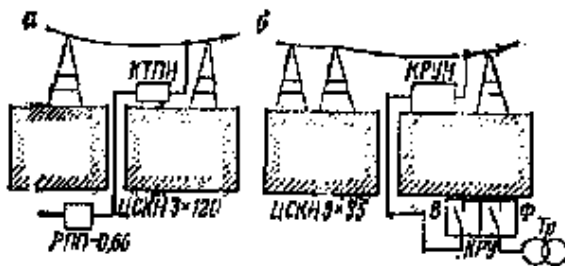
Lülə vasitəsilə elektrik enerjisi verilməsində elektrik təchizatının prinsipial sxemi şək. 5.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 5.1. Lülə vasitəsilə elektrik enerjisinin verilməsində elektrik təchizatının prinsipial sxemi

Elektrik enerjisi mərkəzi yeraltı məntəqənin (MYM) komplekt paylayıcı quruluşunun (KPQ) girişinə, BAY-n KPQ-dan minimum iki kabel xətləri vasitəsilə verilir.

Yeraltı işlərin görülməsində quyu vasitəsilə elektrik enerjisi ilə qidalandırmanın prinsipial sxemi şək. 5.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 5.2. Yeraltı işlərin görülməsində elektrik enerjisi ilə qidalanmanın prinsipial sxemi

Lülə vasitəsilə yeraltı işlərin görülməsində, elektrik təchizatının üstün cəhətləri: hazır stasionar işlərin görülməsi, istismarın sadəliyi və sistematik olaraq kablərə nəzarət olunması, 1000 V-dan yüksək gərginlikli kabel şəbəkələrinə mərkəzləşmiş nəzarət oluna bilməsi.

Çatışmazlığı: 6 kV-luq kabel şəbəkəsinin böyük tutuma malik olması və bununla əlaqədar insanların gərginlik altına düşmə ehtimalının olması, gücə görə qısaqapanmanın artması ilə reaktorların qurulmasının tələb olunması, uzun kablərdə gərginlik itgilərinin artması, 6 kV-luq uzun kablərin çəkilməsinin baha qiymətə başa gəlməsi.

Quyu vasitəsilə qidalandırmanın üstün cəhəti: 1000 V-dan yuxarı gərginlik şəbəkələrində tutum cərəyanlarının qiymətinin azaldılması, kabel şəbəkəsinin uzunluğunun və qiymətinin aşağı olması.

Quyu vasitəsilə qidalandırmanın çatışmayan cəhətləri: quyuların periodik qazılmasında və kablərlərin istismarında xərclərin olması, əlavə boruların

alınmasına, yerüstü avadanlıqların, EVX-nin istismarına və qulluğuna çəkilən xərclərin çox olması.

Elektrik enerjisinin lülə vasitəsilə ötürülməsi əsasən kömürçıxarma sənayesində tətbiq edilir.

5.2. Mərkəzi yeraltı yarımstansiyalar (MYYS)

MYYS vəzifəsi BAY-dan aldığı enerjini yeraltı elektrik qəbulediciləri arasında paylanmaqdan ibarətdir. MYYS adətən lülə sahəsi ətrafında quraşdırılır. Bir qayda olaraq MYYS-ri elektrik tələbatçılara yaxın ərazilərdə quraşdırırlar. MYYS MPQ-dpn aldığı enerjini transformasiya edərək (1000 V-dan aşağı) tələbatçılar arasında paylayır.

1000 V-dan aşağı gərginlikli avadanlıqların elektrik enerjisi ilə bəslənməsi üçün MYYS-da hərəkət etdirilə bilən iki ədəd transformatorlar quraşdırılır. Transformatorlar ayrı-ayrılıqda işləyir və tələbatçıların yükünü öz üzərinə götürə bilər. MYYS kamerasında yerləşdirilmiş 1000 V-dan aşağı gərginlikli PQ-a, fider avtomatik açarları, ayırıcı maqnitləşəburaxıcıları və işıqlandırma transformatorları daxildir.

Komplekt paylayıcı quruluşlar (KPQ)

Yeraltı işlərində şaxta KPQ-ları, PQ – 6 kV və ya birqat PM-dən yığılır.

Yanğın təhlükəsizliyi qaydalarına görə KPQ – mühafizə, siqnalizasiya, ölçmə, bloklama kimi idarə növlərini təmin etməlidir.

Düymə vasitəsilə idarəetmə – məsafədən və ya yerli ola bilər. Təmir işlərində əl ilə idarəetmədən istifadə oluna bilər.

Mühafizə dedikdə – elektrik qurğularına xidmət olunarkən, yalnız gərginlik altındakı izolə edilmiş cərəyan keçirici hissələr deyil, eyni zamanda elektrik avadanlıqlarının normal halda gərginlik altında olmayan, lakin izolyvsiyanın zədələnməsi ilə gərginlik altına düşən hissələrinin qorunması nəzərdə tutulur.

Siqnalizasiya – güc açarlarının kontaktlarının vəziyyəti, maksimal cərəyan mühafizəsinin işə düşməsi bəradə xəbər verir. Gərginliyin, cərəyanın və enerji sərfinin ölçülməsi aparılır.

Elektriki bloklama dedikdə – şəbəkə izolyasiyası müqavimətinə nəzarətin maksimal cərəyan mühafizəsi işlədikdən sonra gərginliyin verilməsinin əksinə yönəlməsidir.

KPQ-da göstərilən bloklamanın olması, şəbəkədə birqat təsir edən EAQ və ATQ quruluşunun tətbiq edilməsinə imkan verir. KPQ-da elektrik bloklamadan əlavə muxaniki bloklama da quraşdırılır ki, bu da KPQ-a qulluq edən heyyyətin işinin düzgün qurulmadığı halda işləyir.

Qaz və toza görə qorxulu şaxtalar üçün ЯВ-6400, ПВД-6, УРВМ-6/3 xanalardan istifadə olunur. KPQ-nin texniki göstəriciləri cədvəl 5.1-də verilmişdir.

Cədvəl 5.1

KRQ-nin texniki dayanıqlığı

KPQ-nin növü	Nominal cərəyan, A	Cərəyanın açma həddi, kA	Gücün açma həddi, MV.A	Qısaqapanma cərəyanının dayanıqlığı			Relenin maksimal qoruyucu idarəetmə həddi, A
				Cərəyanın keçidi		Cərəyanın termiki möhkəmliyi-nin hesablanması, kA	
				amplituda	Təsiredici qiyməti		
ЯВ-6400	20	2,7	28	7,0	4,0	1,7	20-60
	30	4,1	42	10,6	6,1	2,5	30-90
	40	5,6	58	14,1	8,1	3,4	40-120
	50	6,8	70	17,5	9,4	4,2	50-150
	75	7,2	75	18,4	9,4	6,3	75-225
	100	7,2	75	18,4	9,4	8,5	100-300
	150	7,2	75	18,4	9,4	9,4	150-450
	200	7,2	75	18,4	9,4	9,4	200-600
	300	7,2	75	18,4	9,4	9,4	300-900
400	7,2	75	18,4	9,4	9,4	400-1200	
ПВД-6 və УРВМ-6/3	20	1,5	15	3,4	1,9	0,5	20-60
	30	2,3	24	5,1	2,9	0,75	30-90
	40	3,1	32	6,8	3,9	1,0	40-120
	50	3,8	40	8,5	4,9	1,25	50-150
	75	4,8	50	10,6	6,2	1,86	75-225
	100	4,8	50	17,0	9,8	2,5	100-300
	150	4,8	50	17,0	9,8	3,8	150-450
	200	4,8	50	17,0	9,8	4,8	200-600
	300	4,8	50	17,0	9,8	4,8	300-900
ВЯП-6	20	1,5	18	3,6	2,0	0,5	20-60
	30	2,3	23	5,3	3,0	0,76	30-90
	50	3,7	38	8,8	5,1	1,26	50-150
	75	5,0	50	12,5	7,5	1,9	75-225
	100	5,0	50	12,5	7,5	2,5	100-300
	150	5,0	50	12,5	7,5	3,8	150-450
	200	5,0	50	12,5	7,5	5,05	200-600
	400	5,0	50	12,5	7,5	10,0	400-1200

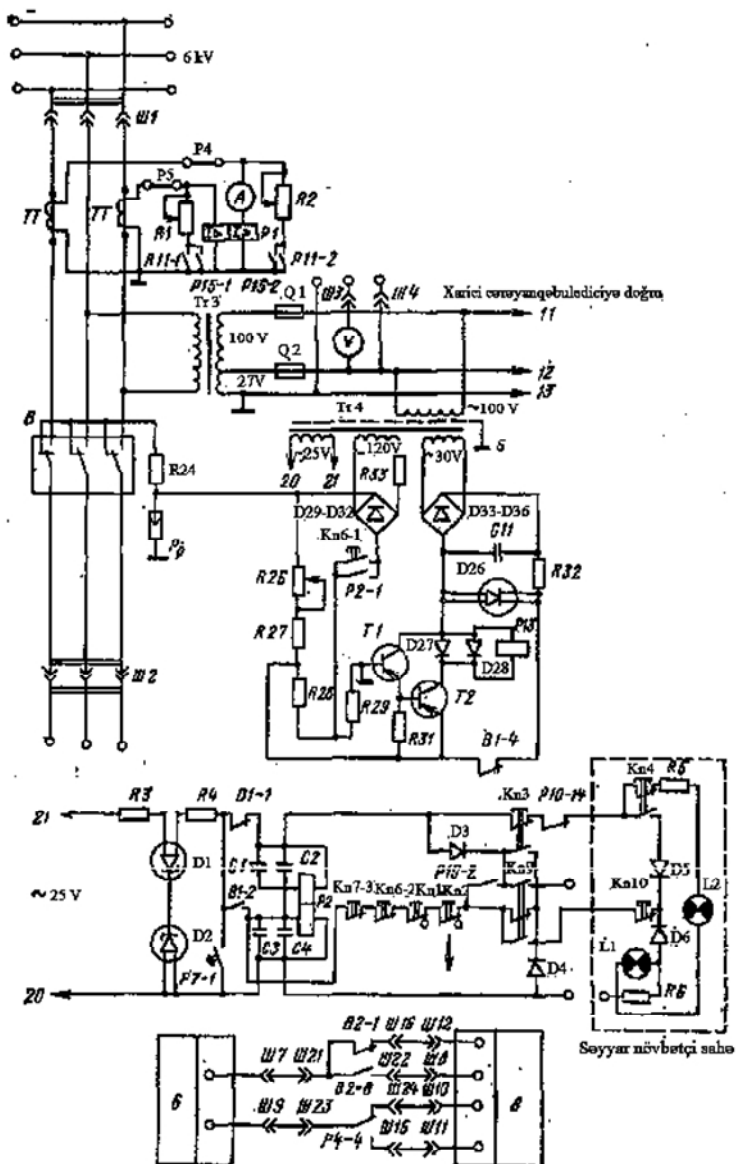
Qeyd: 1. Bütün verilənlər 6 kV gərginlikdədir. 2. ЯВ-6400 tipli ayırıcının birdəqiqəlik dözümlü termiki cərəyan üçün. 3. KPQ qurğularının 2 dəfə böyük həddində verilmiş ölçüsü.

ЯВ-6400 tipli xanalar üç əsas variantda buraxılır: B – girişli, Φ – fiderli və C – seksiyalı. ЯВ-6400 yuvalarının elektrik sxemi ATQ və EAQ qurğularının yerli və məsafədən idarə olunmasını, avtomatika və telemexanikasını təmin edir. Yuvanı qoşmazdan əvvəl idarəetmənin sol əltutanı «Ayrıcı qoşuludur» vəziyyətində, sağ əltutan isə «Açar açıqdır» vəziyyətində olmalıdır.

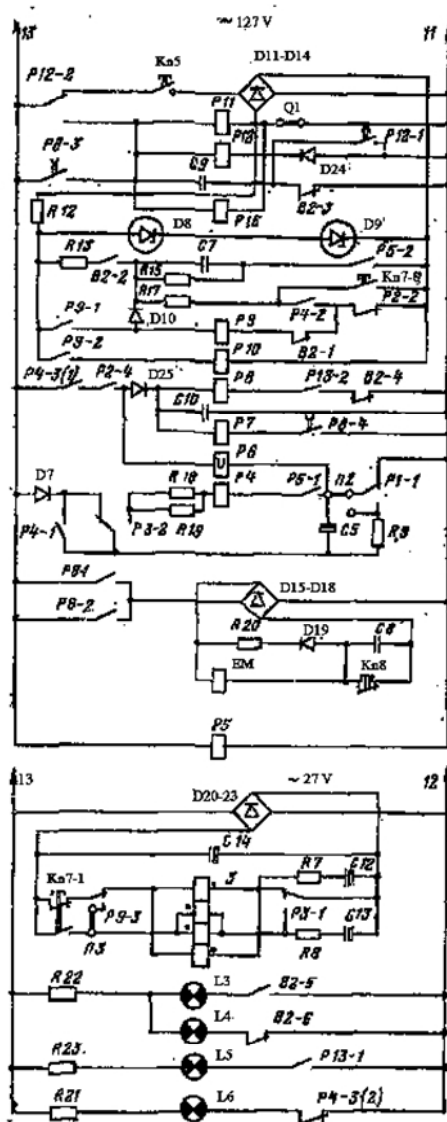
ЯВ-6400-F-in prinsipial elektrik birləşmə sxeminə baxaq (şək. 5.3). Güc dövrəsi 6 kV-luq giriş şisindən, III1 və III2 ştəpsel tipli iki ayırıcıdan, B – güc açarından, cərəyan transformatorunun birinci tərəf dolağından – TT_1 , birinci tərəf dolağı güc dövrəsinə paralel qoşulmuş gərginlik transformatoru – Tr3-dən ibarətdir.

Maksimal cərəyan mühafizəsi bloku – artıq yüklənmədə və ya qısaqapanmada ani işə düşən, bilavasitə təsir edən ikipilləli P1 – relesindən ibarətdir. Uzun müddət davam edə biləcək işəsalma cərəyanında mühərriklərin mühafizəsi üçün P1 – relesinin dolağını şuntlaya biləcək R1 və R2 rezistorları quraşdırılmışdır ki, işəburaxmada saxlama müddəti 0-dan 20 saniyəyə qədər olur. Vaxt-saxlamayı P12 relesi həyata keçirir, R1 və R2 rezistorlar dövrəsinin kontaktlarının qapanması R11 və R15 relələrini şuntlayır (iki paralel qoşulmuş işəburaxıcılar ПМЕ-07).

Qısaqapalı rotorlu elektrik mühərriklərini idarə etmək üçün olan xanalarda П1-dən П2 ötürücü sıxaclar, K_H5 düyməsi EAQ təsir etmədiyi rejiminə qoyulur. Güc transformatorlarının işləməsi zamanı



a)



b)

Şəkil 5.3. ЯВ-6400-Φ-in prinsipial elektrik birləşmə sxemi

hər iki birləşmə çıxarılır. Bu halda П1 relesinin şuntu açılır və qısaqapanmaya xanaların qoşulmasını qəbul etmir. П1 açılır və П2 qoşulur, bu halda yuvalardan ППП-6-nı enerji ilə təmin etməyə qulluq edir. Əlavə rele mühafizəsinin cərəyan dövrəsi П4 və П5 birləşmələrinə, bu relenin gərginlik dövrəsi П2-nin əvəzinə qoşulur.

KPUB-6 texniki xarakteristikaları aşağıda göstərilmişdir.

Cədvəl 5.2

KPYB-6-nın texniki xarakteristikaları

Nominal gərginlik, kV	6
Nominal cərəyan, A:	
yığma şin	630
KPQ çıxış birləşmələri	100, 160, 200, 320, 400
	və 630
Açma gücü, MV.A	100
Güc açarının «Qoşma-açma»:	
güc açarı	5000
ayırıcılar və blokirovka	2000
Qısaqapanma rejimində təmir	
aparılan əməliyyatların sayı	10
Bölmələrin sayı, mm	1407x988x1280
Bölmələrin kütləsi, kq	1250

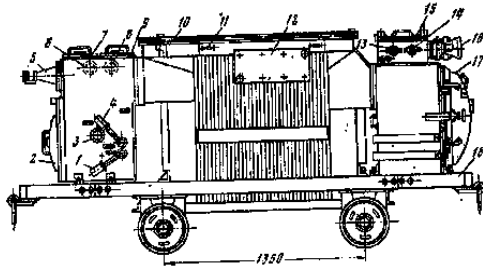
5.3. Güc transformatorları və səyyar sahə yeraltı yarımstansiyaları

Şaxta güc transformatorları elektrik enerjisi gərginliyini bir qiymətdən başqa qiymətə çevirir və eləcə də xüsusi qrup tələbatçılarını qidalandırır, yəni

şəbəkənin ayrı-ayrı sahələrinin elektrik (rabitəsindən) əlaqələndirilməsindən, gərginliyin qiymətini dəyişdirmədən, induktiv əlaqələndirməyə çevirmədən ibarətdir.

Şaxtalarda TKIIIБ, TKIIIBC, TCIIBB seriyalı trans-formatorlar daha çox istismar olunurlar. Burada T – üçfazlı, K – kvarsa doldurulmuş, C – quru, III – şaxta, B – partlayışa qarşı təhlükəsiz və C – şüşə-plastika izolyasiyalı deməkdir. Transformatorların örtükləri 50000 Pa təzyiqə hesablanmışdır.

TKIIIBПC seriyalı səyyar transformator yarımstansiyasının görünüşü şəkl. 5.5-də göstərilmişdir (seriyadakı П – yarımstansiyanı ifadə edir).



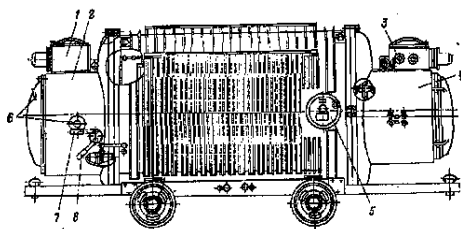
Şəkil 5.5. TKIIIBПC seriyalı səyyar transformator yarımstansiyasının görünüşü

Yarımstansiyanın aparatları və cihazları aşağıdakı əməliyyatların aparılmasına imkan verir.

Yüksək gərginlik (YG) tərəfdə transformatorun yüksüzüzləmə cərəyanını açmağa-qoşmağa, transformatoru istilikdən, qısaqapanma və sızma cərəyanından qorumağa izolyasiyanın müqavimətinin,

cərəyanın və gərginliyin ölçülməsinə və yeraltı yarımstansiyanın yerli işıqlanmasını idarə edir. Yeraltı səyyar yarımstansiyanın texniki göstərixiləri cədvəl 5.2-də verilmişdir.

Yüksək məhsuldarlı kömür şaxtalarının cərəyan qəbuledicilərini 1140 V elektrik təchizatı ilə qidalandırmaq, eləcə də bu cərəyan qəbulediciləri və qidalandırıcı kabelləri mühafizə etmək üçün TSŞEP-630-6/1,2 tipli komplekt transformator yarımstansiyaları (KTYS) tətbiq edilir. Bu KTYS ümumi görünüşü və texniki göstəriciləri şəkl. 5.6-da və cədvəl 5.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 5.6. TCIIBII seriyalı səyyar transformator yarımstansiyanının ümumi görünüşü və texniki göstəriciləri

Cədvəl 5.3

Transformator yanımsansı- yası	Nominal güc, S_{nom} kVA	Güc transformatoru						Kütlə, kQ		
		Yüksüz işləmə gər- ginliyi, V		Nominal cərəyan, A		Qısaqapanma gər- ginliyi, u_k , %	Yüksüz işləmə cərəyanı, %			
		BH	HH	BH	HH					
TKШВПС-100/6	100	6000±4%	400 — 690	9,7	145 — 84	2,7	4,5	1700	3400	
TKШВПС-160/6	160	6000±4%	400 — 690	15,4	400 — 690	2,9	3,5	800	2700	3750
TKШВПС-200/6	200	6000±4%	400 — 690	19,3	400 — 690	2,8	3,5	875	2535	3800
TKШВПС-250/6	250	6000±4%	400 — 690	24,0	400 — 690	3,4	2,5	800	4200	4600
TKШВПС-320/6	320	6000±4%	400 — 690	30,8	400 — 690	3,0	2,0	1100	4700	

Cədvəl 5.3-ün davamı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TKIII BII-6306	63	6000±5%	400 690	5,7	400 690	3,5	10	630	800	1910
TKIII BII-1006	100	6000±5%	400 690	9,7	400 690	3,5	9,0	1000	1270	2000
TKIII BII-1606	160	6000±5%	400 690	15,4	400 690	3,5	6,5	1250	2000	2400
TKIII BII-1806	180	6000±5%	400 690	17,3	400 690	5,5	9,1	1550	2420	2510
TKIII BII-2506	250	6000±5%	400 690	24,0	400 690	5,0	6,5	1700	2300	2900
TKIII BII-3206	320	6000±5%	690 690	30,8	268	5,0	6,0	2300	2500	3400
TKIII BII-4006	400	6000±5%	690 690	39,4	335	3,5	5,5	2250	3270	4200
TKIII BII-6306	630	6000±5%	690 1194	60,6	527	3,5	3,0	2500	4900	5200
TKIII BII-6306	630	6000±5%		60,6	303	3,8	3,0	2900	4630	4900

5.4. Güc transformatorlarının gücünün təyini və onların seçilməsi

Yeraltı sahələrdə güc transformatorlarının seçilməsi üçün məlum sorğu əmsalı üsulundan istifadə edilir.

Transformatorun gücü

$$S_q = P_{q\Sigma} \frac{K_s}{\cos \varphi} \quad (5.1)$$

burada $P_{q\Sigma}$ – transformatorun qidalandırdığı elektrik mühərriklərinin və işıqlandırıcıların qoyuluş gücünün cəmi, kVt; K_s – cərəyan qəbuledicilərinin sorğu əmsalı olub, cərəyan qəbuledicilərinin həqiqi qiymtinin, qoyuluş güclərinin cəminə olan nisbət ilə xarakterizə olunur; $\cos \varphi$ – elektrik mühərriklərinin orta güc əmsalı olub orta hesabla 0,6-0,7 qəbul edilir və aşağıdakı kimi təyin oluna bilər

$$\cos \varphi = \frac{P_1 \cos \varphi_1 + P_2 \cos \varphi_2 + \dots + P_n \cos \varphi_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad (5.2)$$

Sorğu əmsalı

$$K_s = \frac{K_y \cdot K_e}{\eta_s \cdot \eta_m} \quad (5.3)$$

burada K_y – orta yüklənmə əmsalıdır, hesabi gücün qoyuluş gücünə nisbət ilə təyin olunur; K_e – eynilik əmsalıdır, mühərriklərin ümumi sayından, işləmədə iştirak etməsilə xarakterizə olunur, orta hesabla $K_e=1,0$ qəbul edilir; η_s – kabel şəbəkəsinin f.i.ə. olub $\eta_s=0,9\div 0,95$ qəbul edilir; η_m – elektrik mühərriklərinin f.i.ə.-dir.

Mexanikləşdirilmiş kompleks elektrik avadanlıqlı quyular üçün sorğu əmsalı:

$$K_s = 0,4 + 0,6 \frac{P_m}{P_{q\Sigma}} \quad (5.4)$$

Qalan tələbatçılar üçün

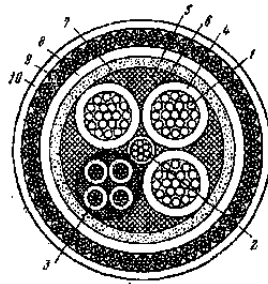
$$K_s = 0,286 + 0,71 \frac{P_m}{P_{q\Sigma}} \quad (5.5)$$

burada P_m – böyük güclü mühərriklərin qoyuluş gücüdür (təmizləyici, qazma kombaynlarının, yükləyici maşınların, konveyerlərin və s.).

Şaxta kabel şəbəkələri. Şaxtalarda yeraltı işlər zamanı bütün elektrik qurğularına, yüksək və alçaq gərginliklərin verilməsi, yanmaya qarşı davamlı üzlüklü kabellər vasitəsilə yerinə yetirilir. Təhlükəsizlik qaydalarına görə kabellər yalnız mis damarlı olmalıdır. Lakin alüminium damarlı kabellərdən də istifadə oluna bilər, bir şərtlə ki, qaz və toza görə qorxulu olmasın.

Səyyar maşın və mexanizmlərin qidalandırılması üçün 380, 660 və 1140 V-luq ekranlaşdırılmış yumşaq kabellər tətbiq edilir.

Yeraltı yarımstansiyanı və yeraltı paylayıcı məntəqələri (YPM) əlaqələndirmək üçün gücləndirilmiş möhkəmliyə və yumşaqlığa malik zirehli kabellərin tətbiqi məqsəduyğundur.



Şəkil 5.7. Zirehli kabellərin konstruktiv görünüşü

CKH və CBH markalı zirehli kabellərin konstruktiv görünüşü şəkl. 5.7-da göstərilmişdir.

Şaxtaların yeraltı işlənməsində kabellərin basdırılması spesifik xüsusiyyətlərə malik olurlar. Əsas maşınlardan səyyar maşınların qidalandırılması üçün 30 m-lik məsafədə kabeli torpağa basdırmaq olar.

Kabellər istismara buraxılmadan əvvəl onların izolyasiyasının müqavimətləri meqometrlə ölçülməlidir. Şaxta kabellərinin çəkilişi elektrik təchizat sxeminin sxematik planında göstərilmişdir. Əgər sxemdən fərqli olaraq hər hansı dəyişiklik aparılırsa, bu barədə sutka ərzində baş energetikə xəbər verilməlidir.

Fəsil VI

6.1. 1000 V-a QƏDƏR VƏ 1000 V-dan YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ KABEL ŞƏBƏKƏLƏRİNİN HESABI

Elektrik tələbatçılarının normal rejiminin təmin olunması üçün kabel şəbəkəsinin hesabı vacibdir. Hesabat kifayət qədər gərginlikdə kabelin en kəsiyinin seçilməsinə əsaslanır ki, verilmiş rejim təmin olunsun. Elektroenergetik qurğularının qaydalarına (EQQ) görə 1000 V-a qədər gərginlikli şəbəkə kabellərinin en kəsikləri yük cərəyanının buraxıla bilən qiymətinə, buraxıla bilən gərginlik itgilərinə, mexaniki möhkəmliyə və iqtisadi cərəyan sıxlığına görə seçilir.

Yeraltı işlər üçün çəkilən kabellərin iqtisadi cərəyan sıxlığına görə yoxlanması vacib deyildir, lakin belə kabellər çətin şəraitdə istismarda olduğuna görə mexaniki möhkəmliyə görə mütləq yoxlanmalıdır.

1000 V-dan yüksək gərginlikli şəbəkələrdə kabellər uzunmüddətli buraxıla bilən cərəyana, gərginlik itgilərinin buraxıla bilən qiymətinə və termiki dayanıqlığa görə seçilir.

Qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklərin qidalandırılması üçün kabellərin hesablanması, şəbəkənin bütün elementlərinin (mənbədən tələbatçılara qədər) normal və işəsalma rejimləri nəzərə alınmalıdır. Hesabat düstur və nomogrammalar əsasında aparıla bilər.

Cərəyanların uzunmüddətli buraxıla bilən qiymətlərinə görə kabellərin en kəsikləri cədvəllərdən seçilə bilər.

Şəbəkənin bütün elementlərinin buraxıla bilən gərginlik itgilərini nəzərə almaqla transformatorların nominal gərginlikləri: 400, 690, 380, 660 və 1140 V olmaqla elektrik mühərrikləri nominal gərginliklərə görə seçilir.

Uyğun olaraq buraxıla bilən gərginlik itgiləri: 400-361=39 V, 690-627=63 V, 1194-1083=111 V.

Gərginlik itgiləri şəbəkənin əsas üç elementlərində yaranır: güc transformatorlarında, magistral kabellərdə (transformatorlardan PQ arasında) və konkret elektrik mühərrikləri qidalandıran yumşaq kabellərdə. Əgər şəbəkənin bütün elementlərində gərginlik itgilərinin cəmi buraxıla bilən qiymətdən az olarsa, onda qurğu üçün yük cərəyanına görə kabelin en kəsinin seçilməsi məqsəduyğundur. Əks halda buraxıla bilən gərginlik itgiləri hesabına seçiləcək kabellərin en kəsikləri artır.

Güc transformatorlarında gərginlik itgiləri:

$$\Delta U_T = \frac{S_T}{S_n} (U_a \cos \varphi + U_r \cos \varphi) \quad (6.1)$$

U_a və U_r -nin qiymətləri %-lə:

$$U_a = \frac{P_{qq}}{S_n} 100\% \quad (6.2)$$

$$U_r = \sqrt{U_{qq}^2 - U_a^2} \quad (6.3)$$

burada P_{qq} və U_{qq} – transformatorun qısaqapanma itgiləridir.

Magistral və yumşaq kabellərdə gərginlik itgilərini təyin edirik:

$$\Delta U_R = \sqrt{3} I_C l (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \quad (6.4)$$

burada I_C – cərəyan qəbuledicilərinin cərəyanı olub, kabellərdə gərginlik itgilərinə görə təyin olunur, A; r_0 və x_0 – 1 km kabelin aktiv və uyğun olaraq reaktiv müqavimətləridir, Om/km; l – kabelin uzunluğu, km.

Göstərilən itgilər, asinxron mühərriklərin işəburaxma rejimlərində kifayət qədər artır. Bu zaman gərginlik müəyyən miqdarda azalır və mühərriklərin dolaqlarının qızma təhlükəsi yaranır.

Gərginlik itgilərinin maksimal buraxılabilən qiymətləri iki şərtlə əlaqədardır: işəburaxma momentinin minimal dəfəliyi və kontakt dolaqlarındakı gərginliyin buraxılabilən qiymətilə.

İşəburaxma zamanı elektrik mühərriklərinin sıxaclarında buraxılabilən minimal gərginlik:

$$U_{\min.bb} = U_{nom} \sqrt{\frac{K}{a}} \quad (6.5)$$

burada K – işəburaxma momentinin minimal dəfəliyi olub, çıxarma (qazma) kombaynlarında $K = 1,0$, bərkidici konveyer və lentlərdə $K = 1,2 \div 1,5$, nasos və ventilyatorlar üçün isə $K = 0,5 \div 0,6$ qəbul edilir.

Normal gərginlikdə işəburaxma momentinin dəfəliyi

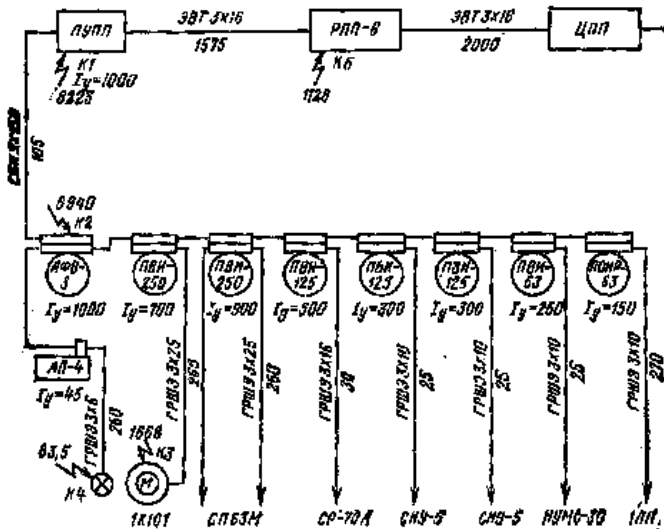
$$a = \frac{M_{i.b}}{M_{nom}} \quad (6.6)$$

kimi ifadə olunur.

Qısaldılmış, dəqiq hesablamalarda mühərrikin işəburaxma anındakı güc əmsalını orta hesabla 0,8 qəbul etmək olar.

Gərginlinliyi 660V olan kabel şəbəkəsinin, normal və işəburaxma rejimində hesabatını aparaq.

Uçqunun (selin) uzunluğu 200 m, uçqundan yeraltı paylayıcı quruluşa (YPQ) qədər olan məsafə 36 m, YPQ-dan mərkəzi yeraltı sahə yarımstasiyasına (MYSY) qədər olan məsafə 100 m-dir. Qəbul etdiyimiz sahənin elektrik avadanlıqlarının texniki verilənləri cədvəl 6.1-də, prinsipial elektrik təchizatı sxemi şəkl. 6.1-də verilmişdir.



Şəkil 6.1. Sahə elektrik təchizatının prinsipial sxemi

Cədvəl 6.1

Qurğu	Elektrik mühər- riki	Nominal güc, kVt	Nominal cərəyan, A	F.i.ə, η, %	cos φ
ДК 101	ЭДКО4- 2МУ5	75/105	84,6/119	92,0	0,84
СП63 М	ЭДКОФ -43/4	3x55=110	62,5x2=125	86,6	0,86
СП- 70А	ЭДКОФ -43/4	55	62,5	86,6	0,86
ЧУ-5 №1	BAO 62-4	2x17=34	19,5x2=39	89,5	0,87
	BAO 41-4	4	4,9	84,0	0,86
ЧУ-5 №2	BAO 62-4	2x17=34	19,5x2=39	89,5	0,87
	BAO 41-4	4	4,9	84,0	0,86
НУМС -30	BAO 72-4	30	33,5	90,5	0,87
ЛП	BAO 62-4	17	19,5	89,5	0,87
ПВЛ- 15	–	$60 \times 0,015 = 0,9$	$0,2 \times 60 \frac{133}{690} = 2,78$	80,0	0,50

Qeyd: 1) 1K-101 kombaynının qurğunun saathesabı gücünün hesablamaları qəbul edilib. 2) 690 V gərginliyə gətirilmiş çraqların summar cərəyanı

Bu yüklər üçün ГРШЭ markalı yumşaq kabelin en kəsiyini (cədvəl 6.2) və СБН markalı magistral kabel (cədvəl 6.3) seçirik.

Cədvəl 6.2

Naqil lərin mar- kala- rı və gər- gin- liklə- ri, kV	Naqilin en kəsiyi, mm ² -da qəbul edilmiş cərəyanın yükü, A										
	4	8	10	16	25	35	50	70	95	120	150
ГР ШЭ 0,66	45	58	75	105	136	168	200	250	290	–	–
ЭБТ 0,66	–	–	60	85	105	125	155	200	245	–	–
ЭБТ 6	–	–	60	65	90	110	145	200	245	–	–
КШ БГ 6	–	–	–	90	120	145	180	220	265	310	35
ГТ Ш 6	–	47	65	85	105	130	160	195	–	–	–

Cədvəl 6.3

Damarın en kəsiyi, mm ²	Üçdamarlı alüminium və mis naqilin buraxıla bilən yükləri					
	Yeraltı çəkiliş			Yerüstü çəkiliş		
	3 kV qədər	6 kV	10 kV	3 kV qədər	6 kV	10 kV
2,5	31/40	–	–	22/28	–	–
4	42/55	–	–	29/37	–	–
6	55/70	–	–	35/45	–	–
10	75/95	60/80	–	46/60	42/55	–
15	90/120	80/105	75/95	60/80	50/65	46/60
25	125/160	105/135	90/120	80/105	70/90	65/85
35	145/190	125/160	115/150	95/125	85/110	80/105
50	180/235	155/200	140/180	120/155	110/145	105/135
70	220/285	190/245	165/215	155/200	135/175	130/165
95	260/340	225/295	206/265	190/245	165/215	155/200
120	300/390	260/340	240/310	220/285	190/250	185/240
150	335/435	300/390	275/355	255/330	225/200	210/270
185	380/490	340/440	310/400	290/375	250/325	235/305
240	440/570	390/510	365/460	330/430	290/375	270/350

Qeyd: sürətdə alüminiumun damarlara, məxrəcdə isə misin damarlara düşən yüklər göstərilmişdir.

Qəbul etdiyimiz en kəsiklər cədvəl 6.4-də verilmişdir. Burada magistral kabel, transformatorun yükü nəzərə alınmaqla seçilmişdir. Deməli

$$I_{m.k} = \beta I_{2T} = 0,22 \cdot 335 = 308 \text{ A}$$

burada $\frac{S_T}{S_{mak}} = \frac{367,6}{400} = 0,91$ - transformatorun yüklənmə əmsalıdır.

Cədvəl 6.4

Qurğu	Nominal güc, kVt	Nominal cərəyan, A	İşəburaxma cərəyanı, A	İləfəş qurğusunun minimal qiyməti, A	Rələtin cərəyanı, A	Kabelin qəbul edilmiş markası	İdarəetmə aparatı quruluşu
AB ПУП	–	308	674	8223	1000	СЕН 3х150	АВМ 6У
АФВ РПП-0,66	–	308	674	6940	1000	–	АФВ-3
IK101	106	119	485	1658	700	ГРШЭ 3х25+1х10+3х4	ПВИ-250
СП63М	2х55	2х62,5	812	–	900	ГРШЭ 3х25+1х10+3х4	ПВИ-250
СП-70А	55	62,5	406	–	500	ГРШЭ 3х16+1х10+3х4	ПВИ-125
СНУ-5 №1	2х174	2х19,54,9	280	–	300	ГРШЭ 3х10+1х6+3х4	ПВИ-125
СНУ-5 №1	2х174	2х19,54,9	280	–	300	ГРШЭ 3х10+1х6+3х4	ПВИ-125
ПУМС-30	30	33,5	234,5	–	250	ГРШЭ 3х10+1х6+3х4	ПВИ-63
ЛП	17	19,5	136,5	–	150	ГРШЭ 3х10+1х6+3х4	ПВИП-63
РБЛ-15	0,9	12	–	83,5	45	ГРШЭ 3х6+1х4+3х2,5	АП 4

Güc transformatorlarındakı güc itgiləri

$$\Delta U_T = 0,92(0,82 \cdot 0,6 + 3,4 \cdot 0,8) = 2,95\%$$

burada $U_a = \frac{3,27}{400} 100 = 0,82\%$; $U_r = \sqrt{3,5^2 - 0,82^2} = 3,4\%$,

gərginlik itgisi $\Delta U_T = \frac{690 \cdot 2,95}{100} = 20,85 \text{ V}$.

Magistral kabeldə gərginlik itgisi

$$\Delta U_{m.k} = \frac{1,73 \cdot 308 \cdot 105 \cdot 0,6}{53 \cdot 150} = 4,2 \text{ V}$$

105 m – sallanmanı nəzərə almaqla magistral kabelin uzunluğudur; $\gamma = 53 \text{ m/Om.mm}^2$ – misin xüsusi keçiriciliyidir.

Kombaynın yumşaq kabelində gərginlik itgisi:

$$\Delta U_{k.g} = \frac{1,73 \cdot 119 \cdot 260 \cdot 0,84}{53 \cdot 25} = 32,7 \text{ V}$$

burada 250 m – yumşaq kabelin uzunluğudur, bu uzunluq sallanma nəzərə alınmaqla uçurumdan YPM-yə (yeraltı paylayıcı məntəqə) qədər olan sahəyədir.

Yoxlamaq üçün kombaynın yumşaq kabelindəki itgini təyin edirik:

$$\Delta U_{T.k} = 1,73 \cdot 119 \cdot 0,26(0,74 \cdot 0,84 + 0,066 \cdot 0,54) = 35 \text{ V}$$

burada 0,74 və 0,066 Om – 1 km kabelin aktiv və induktiv müqavimətləridir (cədvəl 6.5).

Cədvəl 6.5

Damarın en kəsiyi, mm ²	+20°C-də damarın aktiv müqaviməti r_0 , Om/km		Kabelin gərginliyi, kV, induktiv müqaviməti x_0 , Om/km			
	mis	alüminium	1 qədər	6	10	35
4	4,6	7,74	0,095	—	—	—
6	3,07	5,17	0,90	—	—	—
10	1,84	3,1	0,073	0,11	0,122	—
16	1,15	1,94	0,0675	0,102	0,113	—
25	0,74	1,24	0,0662	0,091	0,099	—
35	0,52	0,89	0,0637	0,087	0,095	—
50	0,37	0,62	0,0625	0,083	0,90	—
70	0,26	0,443	0,0612	0,08	0,086	0,137
95	0,194	0,326	0,0606	0,078	0,083	0,126
120	0,153	0,258	0,0602	0,076	0,91	0,120
150	0,122	0,206	0,0595	0,074	0,79	0,116
185	0,099	0,167	0,0592	0,073	0,077	0,133
240	0,077	0,129	0,0587	0,071	0,075	—

Şəbəkədəki gərginlik itgilərinin cəmi:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_T + \Delta U_{m.k.} + \Delta U_{k.g} =$$

$$= 20,53 + 4,2 + 32,7 = 57,25 \text{ V}$$

yaxud

$$\Delta U_{\Sigma} = 20,35 + 4,2 + 35 = 59,55 \text{ V}$$

hər hansı halda buraxılabiləcn qiymətdən kiçikdir, yəni $57,55 < 63 \text{ V}$.

Beləliklə, normal rejim üçün kabel düzgün seçilməlidir.

İndii isə kombayn mühərriklərinin işəburaxma rejimi, digər işlədicilərin isə normal rejimi üçün yoxlamayı davam etdirək. Əvvəlcə işəburaxma rejimində minimal və buraxılabilən gərginlik itgisini təyin edək:

$$U_{\min} = 660 \sqrt{\frac{1,1}{1,7}} = 530 \text{ V}$$

burada 1,1 – işəburaxma momentinin minimal dəfəliyi; 1,7 – ЭДК04-2MY5 elektrik mühərriklərinin işəburaxma momentinin dəfəliyidir.

İşəburaxmada buraxılabilən gərginlik itgisi:

$$U_{bb} = 690 - 530 = 160 \text{ V}$$

Mühərrikin işə buraxılmasında, transformator cərəyanını (I_T) təyin etmək üçün mütləq transformatorun nominal rejimdəki cərəyanından, mühərrikin nominal cərəyanını ($I_{m.n}$) çıxıb, üstünə onun işəburaxma cərəyanını ($I_{m.i.b}$) gəlmək lazımdır:

$$\begin{aligned} I_{T.i/b} &= \beta I_{2T} - I_{m.nom} + I_{m.i/b} = \\ &= 308 - 119 + 485 = 674 \text{ A} \end{aligned}$$

İşəburaxmada transformatoradakı gərginlik itgisi:

$$U_{T.i/b} = \frac{U_{T.i/b}}{\beta I_{2T}} (U_a \cos \varphi_{i/b} + U_r \sin \varphi_{i/b}) =$$
$$= \frac{674}{308} (0,82 \cdot 0,5 + 3,4 \cdot 0,87) = 7,38\%$$

Transformatorada gərginlik itgisinin mütləq qiyməti:

$$U_{T.i/b} = \frac{690 \cdot 7,38}{100} = 51 \text{ V}$$

Magistral kabeldə gərginlik itgisi:

$$U_{m.k} = \frac{1,73 \cdot 674 \cdot 105 \cdot 0,5}{53 \cdot 150} = 82,3 \text{ V}$$

İşəburaxmada gərginlik itgilərinin cəmi:

$$\Delta U_{\Sigma} = 51 + 7,7 + 82,3 = 141 \text{ V}$$

Bu da buraxılabiləndən kiçikdir, yəni $141 < 160 \text{ V}$.

Uyğun olaraq seçdiyimiz kabel hər hansı rejim üçün kifayət edir.

DUTSf 16565-71 müvafiq kombayn elektrik mühərriklərinin işə buraxılması zamanı, onların sıxaclarındakı gərginlik nominalın 80%-dən az olmamalıdır, yəni $660 \cdot 0,8 = 528 \text{ V}$ olmalıdır.

MSYY-ni 6 kV gərginliklə qidalandırmaq üçün kabel seçək. ТСШБП-400/6 tipli transformatorların

birinci tərəf dolağının nominal cərəyanı cədvəl 5.3-ə (5-ci bölməyə bax) görə 39,4 A-dir.

Cədvəl 6.3-ə görə 6 kV gərginlikdə buraxılabilən cərəyanı 55 A olan damarının en kəsiyi 10 mm²-dan kabel seçirik.

YIIY-6-dan MSYY-a qədər olan məsafə 1500 m-dir. Buraxılabilən gərginlik itgisinə görə kabelin en kəsiyini təyin edək (6 kV-da 1,5%, yəni 90 V-dur).

$$S_K = \frac{1,73 \cdot 39,4 \cdot 1575 \cdot 0,6}{53 \cdot 90} = 13,4 \text{ mm}^2$$

burada 1575 m – sallanmanı nəzərə almaqla kabelin uzunluğudur.

Termiki dayanıqlığı nəzərə almaqla kabelin en kəsiyi təyin olunur. Nəzərə almaq lazımdır ki, yeraltı işlərdə qısaqapanmadan mühafizə anı işləməlidir:

$$S_K = 7 \cdot 1,13 \sqrt{0,25} = 3,95 \text{ mm}^2$$

burada 1,13 10YIIY-6 kompleks paylayıcı quruluşların şinlərindəki qısaqapanma cərəyanıdır.

İqtisadi cərəyan sıxlığına görə kabelin en kəsiyi

$$S_K = \frac{\dot{I}_r}{\dot{I}} = \frac{39,4}{2,5} = 15,7 \text{ mm}^2$$

burada 2,5 A/mm² – işləmə müddəti 3000-dən 5000 saata qədər olan müddət üçün cədvəl 6.6-dan götürülür.

Cədvəl 6.6

Keçiricilərin adları	Maksimum istifadədə müddətində cərəyanın iqtisadi sıxlığı (A/mm ²)		
	1000-3000	3000-5000	5000-8760
İzoləedilməmiş naqillər və şinlər:			
mis	2,5	2,1	1,8
alüminium	1,3	1,1	1,0
Damarları kağızla izolə edilmiş kabellər			
mislə	3,0	2,5	2,0
alüminiumla	1,6	1,4	1,2

Yuxarıda apardığımız hesabatın nəticəsi olaraq ən böyük ən kəsiyi 16 mm² seçirik. Nəhayət, УПY-6-dan MSYU-ya qədər bərkidilmiş 6 kV-luq ЭBT3x16+1x10+4x4 markalı, buraxıla bilən cərəyanı 65 A olan 8 damarlı kabel seçirik (cədvəl 6.2). Belə kabel vasitəsilə həm də KPQ-u məsafədən idarə etmək olar.

Fəsil VII

7. ŞAXTA KABEL ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ QISAQAPANMA CƏRƏYANININ HESABLANMASI

Qısaqapanmalar zamanı seçilmiş qurğuların yoxlanması üçün qısaqapanmanın aparılması vacibdir. Bunun üçün məlum üsuldan istifadə etməklə qısaqapanma nöqtəsinə qədər olan müqavimətlərin cəmi hesablanır.

Qısaqapanma hesablanarkən üçfazlı və həmdə ikifazlı qısaqapanma cərəyanları təyin olunur. Şəbəkənin hər hansı bir nöqtəsi üçün (A) üçfazlı qısaqapanma

$$I_{qq}^{(3)} = \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} \sqrt{r^2 + x^2}} \quad (7.1)$$

burada U_n – mənbəin gərginliyi (400, 690, 1140, 6000 V); r və x – uyğun olaraq qısaqapanma dövrəsinin aktiv və induktiv müqavimətləridir, Om.

İkifazlı qısaqapanma (A) cərəyanı:

$$I_{qq}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_{qq}^{(3)} = 0,87 I_{qq}^{(3)}$$

Transformatorun aktiv müqaviməti

$$r_T = \frac{P_{qq}}{3 I_{2T}^2} \quad (7.2)$$

burada P_{qq} – transformatordakı mis itgisi, Vt; I_{2T} – transformatorun ikinci tərəf dolağının nominal cərəyanıdır, A.

Transformatorun induktiv müqaviməti

$$X_T = \frac{10U_{qq} \cdot U_{nom}^2}{S_{nom}} \quad (7.3)$$

burada U_{qq} – transformatorun qısaqapanma gərginliyi, %; U_{nom} – transformatorun ikinci tərəf dolağının nominal gərginliyi, kV; S_{nom} – transformatorun nominal gücü, kVA.

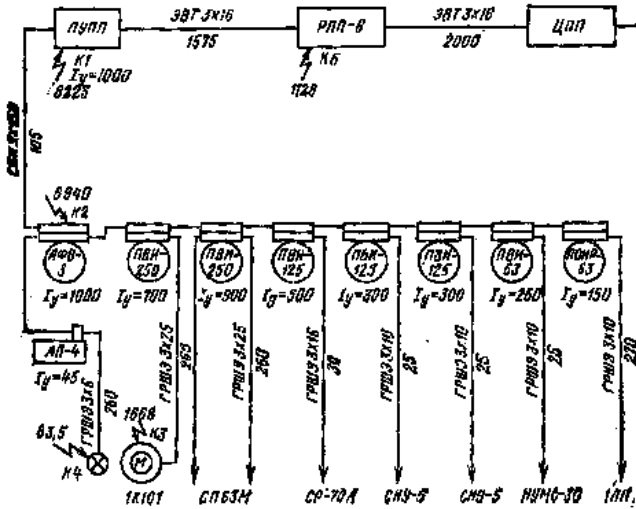
Kabellərin aktiv və induktiv müqavimətləri cədvəl 6.5-də (6 bölməyə bax) verilmişdir. Cədvəl olmadıqda isə kabellərin müqavimətləri aşağıdakı qaydada hesablanır:

$$r_{qq} = \frac{l}{\gamma} S \quad (7.4)$$

burada l – kabelin uzunluğu, m; γ – xüsusi keçiricilik, m/Om.mm².

Kabelin induktiv müqavimətini 0,07÷0,08 Om/km qəbul etmək olar. Qısaqapanma cərəyanını təyin edərkən 1140 V-a qədər gərginlikdə kabel şəbəkələri üçün ən xarakterik nöqtələr: AB ПУПП, АФВ РПП, böyük güclü və uzaq məsafədəki mühərriklər, məsələn, kombayn, əl drelləri, işıqlandırıcılar və s.

Tutaq ki, əvvəlki məsələnin şərtlərinə görə kabel şəbəkəsinin xarakterik nöqtələri (şək. 7.1) K1, K2, K3 və K4 uyğundur: K1-ABПУПА, K2-АФБРПП, K3-1K101 kombayn mühərriklərinə və nəhayət K4 – sonuncu işıqlandırıcılar üçün tələb olunur ki, xarakterik nöqtələrdə qısaqapanma cərəyanları təyin olunmaqla hesablınsın.



Şəkil 7.1. Kabel nöqtələrində xarakterik qısaqapanma cərəyanlarının təyin olunması

400 kV-luq transformatorun aktiv müqaviməti:

$$r_T = \frac{3270}{3} 335^2 = 0,0021 \text{ Om}$$

Transformatorun induktiv müqaviməti:

$$X_T = 10 \cdot 3,5 \frac{0,69^2}{400} = 0,042 \text{ Om}$$

K1 nöqtəsində üçfazlı qısaqapanma cərəyanı

$$I_K^{(3)} = \frac{690}{1,73} \sqrt{0,0021^2 + 0,042^2} = 9452 \text{ A}$$

K1 nöqtəsində ikifazlı qısaqapanma cərəyanı

$$I_K^{(2)} = 0,87 \cdot 9452 = 8223 \text{ A}$$

uzunluğu 105 m olan magistral kabelin aktiv müqaviməti

$$r_{m.k} = \frac{105}{53} 150 = 0,0132 \text{ } Om$$

induktiv müqavimət isə:

$$X_{m.k} = 0,0596 \cdot 0,105 = 0,006 \text{ } Om$$

burada 0,0596 cədvəl 6.5-də verilmişdir.

K2 nöqtəsinə qədər tam aktiv və induktiv müqavimət

$$R_{K2} = r_T + r_{m.k} = 0,0021 + 0,0132 = 0,0153 \text{ } Om$$

$$X_{K2} = X_T + X_{m.k} = 0,042 + 0,006 = 0,048 \text{ } Om$$

K2 nöqtəsində üçfazlı qısaqapanma cərəyanı

$$I_K^{(3)} = \frac{690}{1,73} \sqrt{0,0153^2 + 0,048^2} = 7977 \text{ } A$$

K2 nöqtəsində ikifazlı qısaqapanma cərəyanı

$$I_K^{(2)} = 0,87 \cdot 7977 = 6940 \text{ } A$$

En kəsiyi 25 mm², uzunluğu 260 m olan yumşaq kabelin aktiv müqaviməti

$$r_{y,k} = 0,74 \cdot 0,26 = 0,19 \text{ } Om$$

induktiv müqaviməti

$$X_{y,k} = 0,74 \cdot 0,26 = 0,19 \text{ } Om$$

K3 nöqtəsində tam aktiv və induktiv müqavimətlər:

$$R_{K3} = r_T + r_{m.k} + r_{y.k} = 0,0021 + 0,0132 + 0,19 = 0,205 \text{ } Om$$

$$X_{K3} = X_T + X_{m.k} + X_{y.k} = 0,042 + 0,006 + 0,017 = 0,065 \text{ } Om$$

K3 nöqtəsində üçfazlı qısaqapanma cərəyanı

$$I_K^{(3)} = \frac{690}{1,73} \sqrt{0,205^2 + 0,065^2} = 1917 \text{ } A$$

K3 nöqtəsində ikifazlı qısaqapanma cərəyanı

$$I_K^{(2)} = 0,87 \cdot 1917 = 1668 \text{ } A$$

En kəsiyi 6 mm² (cədvəl 6.5-ə bax), uzunluğu 260 m olan işıqlanma üçün yumşaq kabelin aktiv müqaviməti

$$r_{y,k} = 3,07 \cdot 0,26 = 0,8 \text{ } Om$$

induktiv müqaviməti

$$X_{y,k} = 0,09 \cdot 0,26 = 0,0234 \text{ } Om$$

K4 nöqtəsində 133 V gərginlikli üçfazlı qısaqapanma cərəyanı (transformator müqaviməti istisna olmaqla):

$$I_K^{(3)} = \frac{133}{1,73} \sqrt{0,8^2 + 0,0234^2} = 96 \text{ } A$$

$$I_K^{(2)} = 0,87 \cdot 96 = 83,6 \text{ } A$$

MYY (mərkəzi yeraltı yarımstansiya) şinlərində qısaqapanma cərəyanı:

$$I_K = \frac{S_{qq}}{\sqrt{3} U_{nom}} = \frac{50000}{1,73 \cdot 6} = 4800 \text{ A}$$

burada 50000 MYY-nin maksimal buraxıla bilən gücüdür.

MYY şininə qədər enerji sisteminin müqaviməti:

$$r_s = \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} I_K} = \frac{6000}{1,73 \cdot 4800} = 0,72 \text{ Om}$$

yaxıd:

$$r_s = \frac{U_{nom}^2}{S_{qq}} = \frac{6^2}{50} = 0,72 \text{ Om}$$

S_{qq} – sistemin qısaqapanma gücüdür.

16 mm² en kəsikli, uzunluğu 2000 m olan kabelin induktiv müqaviməti (cədvəl 6.5-ə bax):

$$X_K = 0,102 \cdot 2 = 0,204 \text{ Om}$$

Kabelin aktiv müqaviməti:

$$r_K = \frac{l}{\gamma S} = \frac{2000}{53 \cdot 16} = 2,35 \text{ Om}$$

Tam müqaviməti:

$$z_K = \sqrt{r_K^2 + X_K^2} = \sqrt{2,35^2 + 0,204^2} = 2,36 \text{ Om}$$

YIIY-6-nın KPQ şininə qədər olan müqavimətlərin cəmi

$$r_{\Sigma} = r_s + z_K = 0,72 + 2,36 = 3,08 \text{ Om}$$

YIIY-6-nın KPQ şinlərində qərarlaşmış qısaqapanma cərəyanı

$$I_{\infty} = \frac{6000}{1,73 \cdot 3,06} = 1128 \text{ A}$$

YIIY-6-nın KPQ şinlərində qısaqapanma gücü

$$S_{qq} = 1,73 \cdot 6000 \cdot 1128 = 11708640 \text{ VA} = 11,7 \text{ MVA}$$

Açmanın sərhəd cərəyanı

$$I_r = 1,3\sqrt{2} \cdot 1128 = 2064 \text{ A}$$

termiki dayanıqlılığın birsaniyəlik cərəyanı

$$I_{1S} = I_{\infty} \sqrt{t_f}$$

$$I_{1S} = 1128 \sqrt{0,25} = 564 \text{ A}$$

alınır.

Fəsil VIII

8. TERMİKİ QURĞULARIN ELEKTRİK AVADANLIQLARI

8.1. Elektrik sobalarının elektrik avadanlıqları

Elektrik sobaları və elektrik qızdırıcı qurğuları: 1) müqavimət sobaları; 2) qövs sobaları; 3) induksion qızdırıcılı qurğu və sobalar; 4) dielektrik qızdırıcılı qurğu və sobalar kimi qruplara bölünürlər.

Elektrik maqnit sobaları bilavasitə təsiretmə və birbaşa qızdırmaya bölünürlər. Bilavasitə təsiretmə sobalarında elektrik enerjisi istilik enerjisinə xüsusi qızdırıcı elementlər vasitəsilə çevrilir. Birbaşa qızdırmada isə emal ediləcək (əridiləcək və s.) əşyaya birbaşa cərəyan verilərək istənilən temperatura qədər qızdırılır (bu əşya bərk və ya maye ola bilər).

Qövs sobalarında yaranmış qövsün hesabına elektrik enerjisi istilik enerjisinə çevrilir. Bunlar da birbaşa və bilavasitə təsir sobalarına ayrılırlar. Birbaşa təsiretmədə qövs iki elektrodlar arasında, bilavasitə də isə qövs materialları ilə elektrod arasında yaradılır və elektrik enerjisi istilik enerjisinə çevrilir.

İnduksion sobalarının birinci tərəfi dəyişən cərəyan mənbəyinə, ikinci tərəf dolağı isə qızdırılan əşyaya (cismə) qoşulmuş induktordan ibarətdir. Polad nüvəli və nüvəsiz olmaqla fərqlənirlər. Nüvəsi

olan sobalar sənaye tezlikli mənbədən, nüvəsizlər isə yüksək tezlikli mənbədən qidalandırılır.

Dielektrik qızdırıcı sobalar və qurğularda istilik – dəyişən cərəyan sahəsində yerləşdirilmiş dielektrik yaxud yarımkeçiricilərdə yaranan dielektrik itgilər hesabına alınır.

Müqavimət sobaları əritmə və termiki olurlar. Əritmə sobaları əlvan metalların və ərintilərin emalında tətbiq olunur.

Termiki sobalar isə müxtəlif termiki işləmələrdə, məsələn, əlvan və qara metalların, keramika, şüşə və s. hazırlanmasında istifadə olunur.

Birbaşa qızdırma müqavimət sobalarında, elektrik cərəyanı birbaşa qızdırılacaq cisimdən (məmulatdan) keçdiyindən Coul-Lens qanununa görə, qızdırılan elementin müqavimətinə və zamana mütənasib istilik ayrılır. Verilmiş temperaturda məmulatın qızma müddəti

$$t = \frac{GC(t_1 - t_0)}{a} \quad (8.1)$$

Burada G – uzunluğu 100 mm olan məmulatın kütləsi, kq; C – materialın orta istilik tutumu; t_0, t_1 – başlanğıc və son temperatur, $^{\circ}\text{C}$; a – istiliyin ayrılma sürəti, kkal/san.

l mm uzunluqlu hazırlanmış məmulatın tədarükü üçün lazım olan güc, kVt-la

$$P = \frac{4,18la}{100} \quad (8.2)$$

Buradan sobanı qidalandıran transformatorun gücü

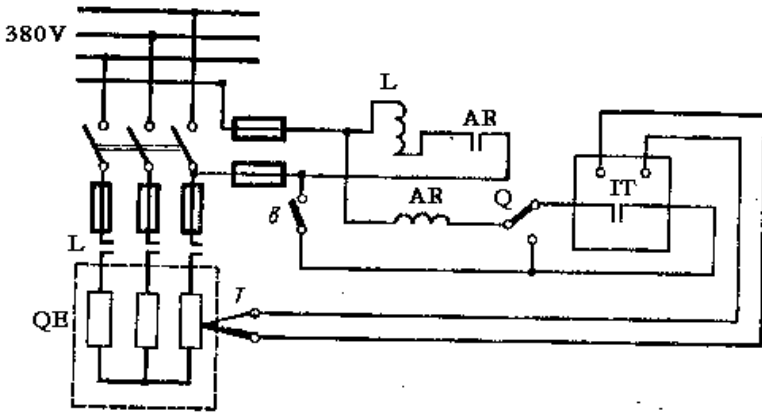
$$S = \frac{P}{\eta \cos \varphi}$$

$\eta=0,7\div0,75$ qurğunun f.i.ə.-nın orta qiymətləridir, $\cos\varphi=0,8\div0,85$.

Qızdırma müddətində gərginliyin orta qiyməti

$$U_{or} = \frac{7,07 I}{\eta \sqrt{t}} \quad (8.3)$$

Müqavimət sobasının ikipozisiyalı tənzimləmə sxemi şəkil 8.1-də verilmişdir.



Şəkil 8.1. Müqavimət sobasının ikipozisiyalı tənzimləmə sxemi

Qızdırıcı elementlərin qoşulub-açılması İT (istilik tənzimləyici köməylə həyata keçirilir, belə ki, temperaturdan asılı olaraq L kontaktorunun dövrəsi AR (aralıq relesinin köməylə yerinə yetirilir. İT-cisi kimi termocütlərdən, termomüqavimətlərdən, fotoelementlərdən istifadə etmək olar.

A – açarı və C – çeviricisi əl ilə idarəetmədə tətbiq olunur.

8.2. Qaynaq qurğularının elektrik avadanlıqları və idarə sxemləri

Qaynaq qurğuları elektrik qaynaqlama qövs və kontakt növlərinə bölünür. Qövslə qaynaqetmədə qaynaq edilən məmulatda elektrik enerjisi qövs şəklində birbaşa istilik enerjisinə çevrilir. Kontakt qaynaqetmədə isə qaynaq olunan məmulatda toxunan hissədən axan cərəyan istiliyə çevrilir. Elektrik qaynaqetmədə alçaq gərginlik və yüksək cərəyan tətbiq edilir.

Əl ilə qövs qaynaqetmədə həm dəyişən və həm də sabit cərəyandan istifadə oluna bilər. Sabit cərəyanla qaynaqetmədə məmulat mənbənin müsbətinə (+), elektrod isə mənfisinə (-) bağlanır.

Dəyişən cərəyan qaynaq aparatlarında – əsasən mayesiz, hava ilə soyudan transformatorlardan istifadə olunur. Əsasən birfazlı, gücü 10÷30 kVA olan transformatorlardan istifadə olunur. Belə transformatorun güc əmsalı $\cos\varphi=0,35\div0,45$ həddində olur. Qısaqapanmada cərəyan $1,4\cdot I_{\text{nom}}$ dəyişir.

Transformator dolaqdan (drossel) ibarət STG-24 və STG-34 tipli elektrik qaynaq aparatlarında daha geniş yayılıb. Drossel-tənzimləyici transformatoru elektrik qaynaq aparatının sxemi şəkl. (2.15, s.53)-də göstərilmişdir. (QT – qaynaq transformatoru, Dr – drossel). Belə transformatorlarda cərəyan maqnit

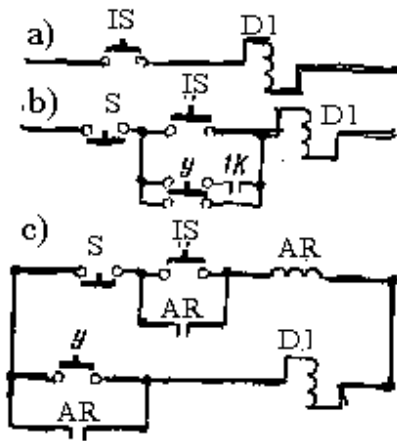
naqillərinin hava məsafəsini δ dəyişməklə tənzimləyir, yaxud drosselin sarğıları sayını dəyişməklə tənzimləyir.

8.3. Metal emalı dəzgahlarının elektrik avadanlıqları

Metal emalı dəzgahları sənədlərə görə doqquz qrupa bölünür: 1) yonma; 2) dəşmə; 3) hamarlayıcı; 4) kombinəedici; 5) yiv açan; 6) frezer; 7) deşici; 8) kəsici; 9) müxtəlif emaledicilər.

Mexanizmlərə hərəkət adi ev intiqalı vasitəsilə verilir. Dəzgahın müxtəlif iş rejimlərində elektrik mühərriklərinin idarə edilmə sxemlərinə baxaq (şəkil 8.2).

- a) sxem dəzgahın qısamüddətli iş rejimində istifadə olunur (itələnmə rejimi). Bu rejimdə işəburaxma düyməsini blakirovkaedici kontaktları olmur;
- b) və c) sxemlərindən dəzgahın qərarlaşmış və uzunmüddətli rejimlərində istifadə olunur. Bu sxemlərdə IS – işəsalma düyməsi, S – saxlama və Y – quraşdırma düymələrindən istifadə olunmuşdur;
- d) sxemində həm də aralıq relesi (AR), iki kontaktlı düymə var.



Şəkil 8.2. Elektrik mühərriklərinin idarəolunma sxemləri

8.4. Metal emalı dəzgahlarının intiqalının tipinin və elektrik mühərriklərinin gücünün seçilməsi

Hərdən bir qoşulan və tənzimləmə diapazonu kiçik olan daimi gücdə işləyən tokar, frezer və digər dəzgahları elektrik intiqalları üçün bir qədər sadə və etibarlı olan qısaqapalı rotorlu asinxron mühərriklər tətbiq edilir. Bu zaman tənzimləmə sürətlər qutusunun köməyiylə aparılır.

Uzununayonma, dairəvi hamaralama və digər dəzgahlar istifadəsində yüksək tənzimləmə diapazonu tələb olunur, G-M sistemli revers olunan elektrik intiqalları tətbiq olunur.

Tokar, tokar-yivəçan və karusel dəzgahları üçün elektrik mühərriklərinin gücü:

$$P = F_k q \frac{v}{1000} \eta_d \quad (8.4)$$

təyin olunur. Burada F_k – kəsicinin xüsusi müqaviməti, N/m² (3-5 N/m²); q – milin en kəsiyi, m²; v – kəsmənin sürəti, m/san; η_d – dəzgahın tam yüklənməsində f.i.ə., (0,65÷0,7).

F_k müxtəlif metallar üçün, məsələn,
 polad (294÷1180)·10⁶ N/m²;
 çuqun (118÷236)· 10⁶ N/m²;
 latun (147÷197)· 10⁶ N/m² və s.

Yonma dəzgahlarının elektrik mühərriklərinin gücü

$$P = F_{y.d} q \frac{v}{1000} \eta_{y.d}$$

burada $F_{y.d}$ – yonma dəzgahının xüsusi müqaviməti, N/m²; $\eta_{y.d}$ – dəzgahın f.i.ə., (0,6÷0,65).

Tokar dəzgahının elektrik mühərrikinin gücü

$$P = F_{t.d} q \frac{v}{60 \cdot 102} \eta_{t.d}$$

burada $F_{t.d}$ – tokar dəzgahının xüsusi müqaviməti, N/m²; $\eta_{t.d}$ – deşicinin f.i.ə.

8.5. Dəmirçi-presləmə mexanizmlərinin elektrik avadanlığı

Dəmirçi çəkicləri qəfil dəyişən yük rejimində işləyir. Ona görə də onların elektrik intiqalının gücünün azaldılması və şəbəkə gərginliyinin rəqslə-

rinin aşağı salınması üçün çəkilir və preslər maxaviklərlə təchiz edilir.

Maxaviklər yük azaldıqda sürətin artmasına, kinetik enerjinin ehtiyatlanması və sonradan yükün artması zamanı onu mexanizmin intiqalına verməyə xidmət edir. Mühərrik seçərkən orta güc:

$$P_{orta} = M_{orta} \frac{n}{1000} \quad (8.5)$$

Mühərrikin tam gücü (ehtiyat əmsalını $k_e=1,1 \div 1,3$ nəzərə almaqla):

$$P_{müh} = K_e P_{orta} \quad (8.6)$$

Maxavikin ölçülərini azaltmaq üçün bəzi hallarda artırılmış sürüşməyə malik AOC tipli mühərrikdən istifadə olunur. Lakin bu zaman rotor dövrəsində itgilər yaranır və işçi mexanizmin sürəti azalır.

Elektrik intiqalındakı bu nasazlıqları aradan qaldırmaq üçün sürüşmə tənzimləyicilərindən istifadə olunur.

Press (sıxıcı) maşınlar pik dövrləri və xarakterik yük qrafiklərinə uyğun işləyir. Odur ki, onlar üçün elektrik mühərrikləri elə seçilməlidir ki, dövr (sıxlıq) ərzində elektrik enerji itgiləri və sərfi az olsun. Bu şərtləri sıxıcı maşınlarında quraşdırılan mühərriklərin nominal sürüşməsinin 10-15% həddində qəbul etməklə təmin etmək olar. Bu məqsədlə nominal gücü $0,8 \div 76$ kVt, nominal sürüşməsi $7 \div 15\%$, təkrar-qısamüddətli nominal iş rejimi $PB=25\%$ olan AOC-2 tip asinxron mühərriklər sənaye tərəfindən istehsal olunur (şxem).

Fəsil IX

9. İŞƏBURAXMA APARATLARININ SEÇİLMƏ QAYDALARI, QOYULUŞ CƏRƏYANLARININ HESABI VƏ QISAQAPANMA CƏRƏYANLARINA GÖRƏ YOXLANMASI

İşəburaxma aparatları şəbəkə gərginliyinin nominal qiymətinə, uzunmüddətli yük cərəyanına, tələbatçıların gücünə, mühafizənin qoyuluş cərəyanının qiymətinə, eləcə də üçfazlı qısaqapanma cərəyanının maksimal qiymətinə görə seçilir. Əgər aparatın açma güc kontaktları üçfazlı qısaqapanma cərəyanının mümkün qiymətindən 1, 2 dəfə çox olarsa, onda qurğu üçün seçilmiş aparat düzgün sayıla bilər. Tutaq ki, layın cədvəl 9.1-də verilənləri əsasən kompleks mexanizmlərin elektrik avadanlıqları işəburaxma aparatlarının seçilməsi tələb olunur.

1K101 tipli kombayn elektrik mühərrikinin idarəetmə və mühafizəsi üçün işəburaxma aparatlarını seçək. Mühərrikin parametrləri: $P_{\text{nom}}=105 \text{ kVt}$, $I_{\text{nom}}=119 \text{ A}$, $I_{\text{i.b.}}=488 \text{ A}$, $K_{qq}^{(2)}=1668 \text{ A}$, ПВИ-250 tipli, $U_{\text{nom}} = 660 \text{ V}$, $I_{\text{nom}} = 250 \text{ A}$ qoşulacaq mühərrikin buraxılabilən gücü 145-200 kVt, maksimal mühafizə cərəyanı 1500 A, sərhədaçma cərəyanı 3750 A olan maqnit işəburaxıcısını seçirik.

Təhlükəsizlik qaydalarına görə qoyuluş cərəyan işəburaxmanın faktiki qiymətindən 25% çox ola bilər, deməli

$$I_{qoy} \geq 1,25 \geq 606,3 \text{ A}$$

Odur ki, $I_{qoy}=700 \text{ A}$ qəbul edirik. Qoyuluş cərəyanını işləməyə görə yoxlayaq:

$$\frac{I_{qoy}^{(2)}}{I_{qoy}} \geq 1,5; \quad \frac{1668}{700} = 2,38 > 1,5$$

Cədvəl 9.1

Qurğu	Elektrik mühərriki	Nominal güc, kVt	Nominal cərəyan, A	F.i.ə, %	cosφ
Щ 101	ЭДК04-2MY5	75/105	84,6/119	92,0	0,84
Епб3м	2MY5	2 X 55= 110	62,5 X 2 = 125	86,6	0,86
CP-70A	ЭДКОФ-43/4	55	62,5	86,6	0,8Y
cm-5 № 1	ЭДКОФ-43/4	2 X 17 = =34	19,5x2 = =39	89,5	0,87
	BAO 62-4	4	49	84,0	0,86
OIV-5 № 2	BAO 41-4	2 X 17 = =34	19,5x2= =39	89,5	0,8f
	BAO 62-4	4	49	84,0	0,8Y
	BAO 41-4	30	33,5	90,5	0,87
HYMC-30	BAO 72-4	17	19,5	89,5	0,87
PBJI-io	BAO 62-4	60x0,015= = 0,9	1=23	.80,0	0,50

Elektrik mühərriklərinin sıxaclarında 20% ehtiyatı nəzərə almaqla baş verəbiləcək üçfazlı qısaqapanma:

$$I_{qq}^{(3)} = 1917 \cdot 1,2 = 2300 \text{ A}$$

3750>2300 A olduğundan, seçilmiş işəburaxıcı qənaətbəxşdir. Digər cərəyan tələbatçıları üçün seçilmiş işəburaxıcıların seçilməsi analoji qaydada aparılır və seçilmiş işəburaxıcılar cədvəl 9.2-də verilmişdir.

9.1. Mühafizə torpaqlayıcıları və izolyasiyaya nəzarət

Təhlükəsizlik qaydalarına görə elektrik qurğularının normal halda gərginlik metal altında olmayan hissələri, eləcə də izolyasiyanın sıradan çıxması ilə əlaqədar gərginlik altında ola biləcək hissələri torpaqlanmalıdır.

Metal hissələr cərəyan keçirməyən relslərə bağlanır və elektrovozları qidalandıran kabellərin torpaqlanmasına ehtiyac qalmır. Gərginlik pillələrinin müxtəlif olmasına baxmayaraq şəbəkələrdə torpaqlanma ümumi halda, yəni bütün metal hissələr bir-birilə əlaqələndirilib torpaqlanmaya qoşulur.

Yeraltı işlərdə dartma yarımstansiyalarında elektrovoz kontaktları cərəyan keçirici relslərə birləşdirilir.

Şaxtaların torpaqlanma şəbəkəsinin prinsipial sxemi şəkil 9.1-də göstərilmişdir.

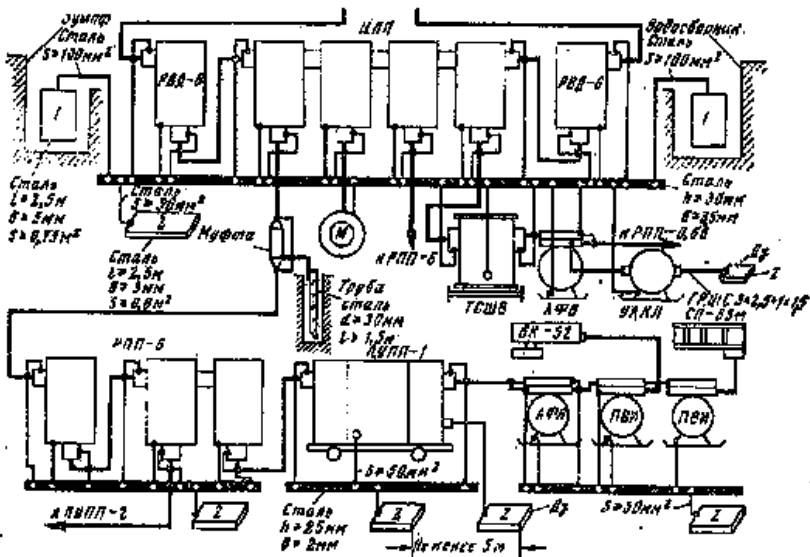
Torpaqlayıcılar baş və yerli olmaqla iki yerə bölünür:

- 1) baş torpaqlayıcı kimi, quyunun (idarəetmə, ilkin boru) borusunu qəbul etmək olar;
- 2) yerli torpaqlayıcı, hər bir elektromaşının kame-ralarında qurulur.

Baş və yerli torpaqlayıcılar arasında əlaqə polad zireh və svins örtüklü kabellər vasitəsilə yaradılır.

Bütün torpaqlayıcı quruluşlara xarici baxış yeni növbəsi başlayarkən aparılmalıdır. Şaxta şəbəkəsində torpaqlayıcılara xarici baxış 3 aydan bir keçirilməlidir.

Baş torpaqlayıcılara baxış ildə iki dəfədən az olmayaraq keçirilməlidir. ИЗМ-59 və М1103 cihazları vasitəsilə hər kvartalda torpaqlayıcı şəbəkənin ümumi müqaviməti yoxlanmalıdır. Torpaqlayıcının müqaviməti 2 Om-dan artıq olmamalıdır. Qazma və yeraltı işlərin görülməsi zamanı insanların təhlükəsizliyinin təmin olunması məqsədilə, zədələnmiş şəbəkənin avtomatik açılması üçün sızma relelərinin tətbiqi lazımdır.



Şəkil 9.1. Şaxtaların torpaqlanma şəbəkəsinin prinsipial sxemi

Sızma relələrinin əsas parametrləri insan həyatının təhlükəsizliyinin təmin olunmasına əsaslanır.

Zədələnmiş kabeli və nasaz sızma releli elektrik qurğularının istismarı qadağandır, çünki insan həyatı təhlükə altına düşə bilər.

9.2. Dağ-mədən müəssisələrində elektrik enerji tələbatının texniki-iqtisadi göstəriciləri

Dağ-mədən müəssisələrində elektrik enerjisinin istifadə aşağıdakı texniki-iqtisadi göstəricilərə əsaslanır:

- enerji tələbatının xüsusi norması, yəni vahid məhsuldarlıq üçün sərf olunan enerji;
- elektrik enerjisi sərfində əməyin təşkili, yəni hər bir baxılan məhsul üçün az enerji sərf etməklə səmərəli istifadə olunmasının təşkili;
- elektrik qurğularının güc əmsalı ($\cos\phi$), elektrik stansiyaları generatorlarının gücündən istifadətmə dərəcəsilə ifadə olunur. Güc əmsalı xalq təsərrüfatı üçün çox böyük əhəmiyyət kəsb edir:
- elektrik enerji vahidinin qiyməti, alınan məhsulun həcmindən asılı olmayaraq, 1 kVt.saat enerji üçün müəssisənin pul xərclərinin cəmi.

Dağ müəssisələri üçün yuxarıda göstərilən texniki-iqtisadi göstəriciləri təyin etmək üçün elektrik enerji tələbatının etibarlı hesabı aparılmalıdır.

Dağ müəssisələri sənayesi ayrılıqda dövlət enerji sistemindən enerji alır, yəni heç bir təşkilatın enerji sisteminə qarışmır. Odur ki, enerji sərfinin hesabının aparılması vacibdir.

Hər bir dağ-mədən müəssisəsində elektrik enerji hesabı iki: qeydiyyat-hesablama və texniki yolla aparılır.

- qeydiyyat hesabı sayğaclar vasitəsilə aparılır. Bu sayğaclar müəssisə sərhəddində BAY-da quraşdırılır;
- texniki hesabı isə iki, ayrı-ayrı sahələr, yəni müəssisədaxili aparılır.

Dağ-mədən müəssisələrində elektrik enerji sisteminin hesabatı etibarlılığı təmin edir:

- enerji təmin edən təşkilatlardan alınan enerjinin miqdarını;
- şaxta daxili enerji sərfini;
- vahid məhsuldarlığa düşən enerji sərfini;
- reaktiv enerjiyə nəzarəti və reaktiv gücün təyin olunmasını.

9.3. Elektrik enerji tələbatının xüsusi normaları

Elektrik enerji sərfinin normalaşdırılması, ondan səmərəli istifadə etməyə imkan verir. Elektrik enerji sərfi norması bütün mədən müəssisəsi üçün elektrik təchizatının mənbəyindən asılı olmayaraq hesablanılır.

Dağ-mədən sənayesində elektrik enerji normaları, texnoloji, ümumi (şaxta, karxana) və sahələr üzrə hesablanılır.

Şaxta və karxanalar üzrə elektrik enerjisinin sərfinin texnoloji normaları, faydalı qazıntıların çıxarılmasında əsas və köməkçi proseslərə, bilavasitə qazıntı-çıxarma ilə əlaqəsi olan köməkçi qurğulara, eləcə də texniki quraşdırma işlərinə və işıqlandırmaya görə hesablanılır.

Ümumi norma texnoloji normalardan, eləcə də kapital tikinti, yenidən qurma, təmir və s. ibarətdir.

Elektrik enerjisinin sahə norması isə faydalı qazıntıların çıxarılması və onların işlənməsinə (təmizlənməsinə) görə hesablanılır.

Vahid məhsul istehsalına sərf olunan elektrik enerjisi enerji tələbatının xüsusi norması adlanır. Məsələn, 1 Ton faydalı qazıntı çıxarmağı kVt.saat/Ton enerji sərfi, kompressor, ventilyator, nasos qurğularının xüsusi enerji sərfi kVt.saat/m³ kimi ifadə olunur.

Hazırda faydalı qazıntıların çıxarılması və işlənməsində enerji sərfinin təyin olunması üçün üç əsas üsul mövcuddur: hesabi, eksperimental və hesabi-eksperimental.

Dağ-mədən müəssisələrində elektrik enerjisinə qənaət aşağıdakı əsas tədbirləri göstərməklə yerinə yetirilə bilər:

- ən səmərəli elektrik təchizatı sxemlərinin seçilməsilə;
- elektrik avadanlıqlarını, texniki-iqtisadi hesablamalara görə seçməklə;
- faydalı qazıntıların işlənməsində proqressiv üsullardan istifadə etməklə;
- səmərələşdirici təkliflərin həyata keçirilməsilə;
- reaktiv güc əmsalının verilən qiymətdə saxlanması ilə.

Bundan əlavə elektrik təchizat sxemlərində elektrik qurğularının gərginliklərinin dəyişdirilməsilə, yəni 380 V-luq avadanlıqlardan 660 V-luq və xüsusilə də güclü yeraltı maşınlarda 1140 V-a keçməklə qənaətə nail olmaq olar.

Kabel damarlarının en kəsiklərinin, EVX-nin övvəlki en kəsiklərini saxlamaqla yüksək gərginliyə

keçərkən elektrik enerjisinə qənaət aşağıdakı ifadə ilə təyin oluna bilər:

$$W = \Delta W_2 - \Delta W_1 \quad (9.1)$$

burada ΔW_2 və ΔW_1 – alçaq və yüksək gərginliklərdə ay və ya il ərzində elektrik enerjisi itgiləridir, kVt.saat. Bu itgilər:

$$\Delta W_1 = 3 I_1^2 R T \cdot 10^{-3}; \quad (9.2)$$

$$\Delta W_2 = 3 I_2^2 R T \cdot 10^{-3}$$

burada T – itgilərin hansı məsafədə olmasıdır, saat; I_1 və I_2 – alçaq və yüksək gərginliklərdəki hesabi cərəyanlardır, A; R – bütün xətlərin bir fazasının aktiv müqavimətidir, Om.

Əsas elektrik avadanlıqlarının seçilməsi və onların iş rejimlərinin gözlənilməsi üçün aşağıdakı tədbirlər görülməlidir.

a) Faydalı qazıntıların çıxarılma sahələrində;

- iqtisadi göstəriciləri yüksək olan elektrik avadanlıqlarının tətbiqi;
- maşın-mexanizmlərin texniki xarakteristikalarının faktiki texniki xarakteristika ilə uyğunlaşdırılması;
- maşın-mexanizmlərin texniki xarakteristikalarının faktiki texniki xarakteristika ilə uyğunlaşdırılması;

- f.i.ə.-ı yüksək olan böyük güclü mühərriklərin seçilməsi;
- elektrik mühərriklərinin işində faktiki artıq yüklənmədə istilik rejiminə nəzarət;
- imkan olan yerdə elektrik mühərriklərinin yüksüz işləmələrinin məhdudlaşdırılması.

b) Stasionar qurğular üçün:

- yüksək f.i.ə.-na malik nasosların seçilməsi;
- səmərəli ventilyasiya (küləkləmə) sxemlərinin seçilməsi;
- statik əyniləşdirici sistemli qaldırıcı qurğuların tətbiqi;
- kompressor qurğuları üçün yüksək f.i.ə.-lı, nasosların hissələrinin vaxtında təmizlənməsi.

c) Konveyer-nəqliyyat maşınları:

- hesabi məhsuldarlığa görə konveyerlərin seçilməsi;
- maillilik bucağının və uzunluğunun optimal seçilməsi;
- konveyerlərin nisbətən az enerji tələb edən lentli konveyerlə əvəz olunması;
- digər avadanlıqların az enerji tələb edən elektrik avadanlıqları ilə əvəz olunması.

9.4. Reaktiv gücün onun kompensasiyası

Dağ-mədən müəssisələrinin elektrifikasişdırılması və buna uyğun olaraq enerji tələbatı gündəngünə artmaqdadır. Buna misal olaraq yalnız kömür istehsalı sənayesində son zamanlar enerji tələbatı 6,8-

dən 11,4 milyon kVt və buna uyğun olaraq enerji sərfi 28,2-dən 49,6 milyard kVt saata qədər yüksəlməsidir.

Belə bir şəraitdə elektrik enerjisindən səmərəli və effektiv şəkildə istifadə edilməsi tələb olunur.

Məlum olduğu kimi 3 fazlı sistemlərdə güclər aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur:

aktiv güc

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (9.3)$$

reaktiv güc

$$Q = P\sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (9.4)$$

və tam güc

$$S = \sqrt{3} UI \quad (9.5)$$

yaxud

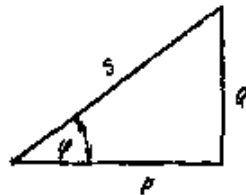
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Elektrik mühərriklərinin aktiv gücləri işçi maşınlarda mexaniki işə, közərmə lampalarında işığa və istiliyə çevrilirlər.

Reaktiv güc asinxron maşınların və transformatorların nüvələrində maqnit seli yaratmaq üçün tələb olunur.

Tam güc sinxron generatorların və transformatorların güclərini xarakterizə edir.

Güclər üçbucağından (şək. 9.2) görüldüyü kimi hipotonuza (S) bitişik katet (P) arasındakı bucaq (φ) aktiv və reaktiv gücün dəyişməsindən asılı olaraq qiy-



Şəkil 9.2. Güclər üçbucağı

mətcə dəyişəcək. Bu bucağın kosinusu, yaxud aktiv gücün (P) tam gücə (S) nisbəti:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

güc əmsalı adlanır.

Güc əmsalının ani qiymətini fazometrin göstərişinə və yaxud vattmetrin, voltmetrin və ampermetrin göstəricilərinə əsasən hesablamaq olar.

Müasir asinxron mühərriklər nominal yükdə $0,8 \div 0,9$ güc əmsalına malikdirlər, lakin dağ müəssisələrinin elektrik yüklərinin xarakterləri müxtəlif olduğundan heç də həmişə elektrik mühərrikləri $0,8 \div 0,9$ güc əmsalı ilə işləyə bilmirlər. Güc əmsalının kiçilməsi özü ilə bərabər cərəyanın artmasına və buna uyğun olaraq ayrı-ayrı elektrik tələbatçılarında əlavə enerji itgilərinin yaranmasına səbəb olacaqdır.

Cərəyanın artması, kabel damarlarının və xətlərinin en kəsiklərinin artırılmasını, mühafizə və işəburaxma aparat-larının ölçülərinin artırılmasını vacib edir ki, bu da iqtisadi nöqteyi-nəzərdən səmərəli deyildir və elektrik avadanlıqlarının qiymətinin artmasına və quraşdırılmasının çətinləşməsinə səbəb olur.

Cərəyanın artması ilə gərginlik düşgüsü yüksəlir. Buna görə də alçalmış gərginlikdə işləyən mühərriklərdə sürüşmə və dolaqlarında cərəyan artır.

Cərəyanın artması, izolyasiyanın tez bir zamanda köhnəlməsi, elektrik mühərriklərinin işləmə müddətinin azalması, eləcə də sürüşmənin artması, fırlanma tezliyini azaldır. Bundan əlavə azalmış gərgənlikdə mühərriklərin yük altında işəsalınması

prosesi çətinləşir. Belə ki, asinxron mühərrikin fırlanma momenti gərginliyin kvadratı ilə mütənəsibdir.

Gərginliyin yalnız 10% azalması, elektrik mühərriklərinin parametrlərinin, rotor və stator cərəyanları uyğun olaraq 27,5; 14 və 10% artmış olur.

Beləliklə gərginlik düşgüsünün buraxıla bilən qiymətdən aşağı düşməsi, elektrik tələbatçılarının işləmə müddətini azaldır, maşın və mexanizmlərin texnoloji proseslərini pozur.

Tutaq ki, dağ-mədən müəssisələrində cəmi gücü 20000 kVt olan asinxron mühərriklər quraşdırılmışdır. Tələb olunur ki, aşağı güc əmsalında (güc əmsalının ola biləcək $\cos\varphi=0,85$ və $\cos\varphi$ -nin həqiqi qiyməti, yəni 0,65) mühərriki təmin edəcək güc transformatorunun gücü təyin olunsun. Həlli:

$$S_1 = \frac{P}{\cos\varphi_1} = \frac{20000}{0,85} = 23530 \text{ kVA}$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos\varphi_2} = \frac{20000}{0,65} = 30770 \text{ kVA}$$

Beləliklə şaxtada güc əmsalı ($\cos\varphi=0,65$) işləyən mühərrik üçün əlavə olaraq gücü 7240 kVA transformatorunun quraşdırılması lazım gəlir. Bunun üçün isə şaxtaya, faydalı güc əmsalı əvvəlki kimi 20000 kVt həcmində qaldığı şərtə, əlavə generatorlara ehtiyac olmaqla, artıq yanacaq sərfinə də səbəb olur. Bu hal üçün 35 kV-luq EVX-nin en kəsiyini təyin edək.

Birinci və ikinci hallar üçün tam cərəyanı təyin edirik:

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi_1} = \frac{20000}{1,73 \cdot 35 \cdot 0,85} = 388 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi_2} = \frac{20000}{1,73 \cdot 35 \cdot 0,65} = 508 \text{ A}$$

Buraxılabilən yük cərəyanına görə cədvəl 25-dən standart en kəsikli, birinci hala 150, ikinci hal üçün isə 185 mm² olan AC-150 və AC-185 markalı məftillər seçirik.

Göstərilən misaldan aydın olur ki, dağ-mədən sənayesində aşağı güc əmsalında işləmələrdə xərclər olduqca çox olur.

Məlumdur ki, elektrik maşınlarının stator və rotoru arasında hava məsafəsi vardır ki, bu da böyük maqnit müqaviməti olması ilə maqnitlənməyə və reaktiv güclərə müəyyən təsir göstərir.

Hava məsafəsinin buraxılabilən minimal qiyməti, mühərrikin mexaniki möhkəmliyi sərfilə təyin olunur.

Təbiidir ki, dağ-mədən müəssisələrində istifadə olunan mühərriklər böyük mexaniki etibarlığa malik olmalıdır. Bunu isə hava məsafəsinin artırılması hesabına əldə etmək olar, bu da öz növbəsində partlayış təhlükəli sistemləri üçün hazırlanmış asinxron mühərriklərinin maqnitlənmə cərəyanının artması ilə həyata keçirilir.

Reaktiv güc yükdən asılıdır. Belə ki, şəbəkə gərginliyinin sabit qiymətində transformator və

mühərriklərin maqnit selləri uyğun olaraq maqnitləndirici güc praktiki olaraq dəyişmir. Reaktiv gücün sabit qiyməti, aktiv gücdən tam istifadə edilmədikdə güc əmsalını azaldır. Xüsusilə asinxron mühərriklərində təmirdən sonra reaktiv gücün tələbatının çox olması müşahidə edilir ki, bu da dolaqlarda və hava məsafəsinin artırılmasındakı problemlərlə əlaqəli olur və nəticədə güc əmsalı azalmış olur.

Mühərriklərin sıxaclarında gərginliyin 1% artması, orta hesabla reaktiv gücün 3% artmasına səbəb olur.

Reaktiv gücü azaltmaq üçün bir çox tədbirlər görülür ki, bununda ən əsası kompensasiyaedici qurğulara ehtiyacın olmamasıdır. Kompensasiya qurğularını quraşdırmaqla reaktiv gücün azaldılması isə süni üsuldur.

9.5. Dağ-mədən müəssisələrinin işıqlandırılması

Yüksək məhsuldarlığın əldə edilməsində əsas faktorlardan biri də iş yerlərinin işıqlandırılmasıdır. Lakin yeraltı işlərin icrasında təbii işıqlandırma demək olar ki, yoxdur və açıq işləmə yerlərində isə təbii işıqlanma yalnız gündüz vaxtlarında olur.

Süni işıqlanmanın düzgün qurulması dağ-mədən və yeraltı işlərində təhlükəsizliyi artırmaqla bərabər məhsuldarlığın yüksəldilməsinə də səbəb olur. Süni işıqlandırma üçün gözərmə və qazboşaldıcı lampalı stasionar və qeyri-stasionar işıqlandırıcılarından istifadə olunur.

Stasionar işıqlandırıcı qurğuları qidalandıran yerüstü sahələrdə 380 V, yeraltı işlərdə isə 220 V olur. Dağ maşınlarının gərginliyi 127 V-dan, əl fanarlarınınkı isə 36 V-dan çox olmamalıdır.

Yeraltı dağ-mədən işlərində işıqlanmanın qurulması və hesabı zamanı işıqlanmanın normalarını, işıqlandırıcıların qurulacağı yerlərin atmosfer şəraiti (qazın, tozun, nəmliyin olması), işıqlandırılacaq sahələr, qazboşaldıcı lampalarda radiodalğalardan mühafizə, projektorlara ehtiyac olub-olmaması və s. nəzərə alınmalıdır.

İşıq seli (Φ) süni enerjinin gücü ilə xarakterizə olunur (insan gözü tərəfindən qəbul olunan), vahidi lümenidir (lm). Lampaların işıq selləri cədvəl 9.2 verilmişdir.

Cədvəl 9.2

Gər- gin- lik, V	Lampanın gücü və işıq seli, Vt									
	НБ və НГ tipli közərmə lampaları						ЛБ tipli lüminisent			
	60	100	200	300	500	1000	15	20	40	80
127	740	1400	3200	4950	9100	19500	630	980		
220	540	1050	2660	4350	8100	18200			2480	4320
ДПЛ tipli lampə										
	80	125		250	4000	700	000			
220	200	400		10000	18000	3300	50000			
ДКСТ tipli lampə										
	2000	5000		10000	20000	50000	100000			
110	33000	88000		220000						
220										
3800					600000	1600000	3500000			

İşığın gücü (I) işıq selinin ərazidə paylanma sıxlığı ilə təyin olunur. Ölçü vahidi kandela ilə ifadə olunur.

İşıqlılıq (E) işıq selinin düşdüyü səthin sıxlığı ilə xarakterizə olur. Ölçü vahidi lyuksdur (lyuk).

Stasionar işıqlandırıcılar vasitəsilə yeraltı işlərin işıqlandırılması üçün (şək. 9.3) TCIII tipli gücü 2,5 yaxud 4 kVA olan transformatorlardan, АП və АБК tipli işəburaxıcı aqreqlatlardan istifadə olunur.

Stasionar işıqlandırma şəbəkələri üçün zirehli polivinxlorid üzlüklü yumşaq kabellərdən istifadə olunur.

Şaxtaların təmizlənməsində işıqlandırma şəbəkələri üçün gərginliyi 24 V-dan çox olmayan halda izoləedilmiş dayaqlardan, izoləedilmiş naqillər-ən istifadə etmək olar. Belə hallarda işıqlandırıcı transformatorlarının dolaqları 380-660/24 V-a bölünür.

Açıq dağ-mədən işlərində işıqlandırma üçün mayesiz transformatorlardan istifadə olunur (TC markalı). Böyük güclü karxanalarda işıqlandırma üçün yağla doldurulmuş xüsusi TM, 6/0,4-0,23 kV gərginlikli transformatorlardan istifadə olunur. 6 kV-luq xətlər yaxın məsafədən keçdiyi hallarda OM tipli transformatorlar həmin xətlərindən qidalanır.

İşıqlanmanı hesablamaq üçün bir çox üsullar vardır ki, onlardan biri də xüsusi gücə görə hesablamaqdır. Bu üsul texniki hesablama üsuludur. Lampanın məlum gücünə görə işıqlandırıcıların lazım olan sayı:

$$n = \frac{PS}{P_l} \quad (9.6)$$

ifadəsilə təyin edilir. Burada P – xüsusi güc, Vt/m^2 ; S – işıqlandırılan sahə, m^2 ; P_l – lampanın gücü, Vt .

Yeraltı işlərin işıqlandırılması üçün xüsusi güc: quyunun təmizlənməsi və hazırlanmasına – 5 Vt/m^2 ; aralıq nəqliyyat işlərinə – 3 Vt/m^2 ; digər işlər üçün – $1 \div 2 \text{ Vt/m}^2$; elektromaşın kameraları – $8 \div 10 \text{ Vt/m}^2$; lülə ilə işləmədə – $6 \div 8 \text{ Vt/m}^2$ təşkil edir.

Projektorla işıqlandırmanı dəqiq üsulla hazırlayarkən konkret ərazini işıqlandırmaq üçün lazım olan işıq seli aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Phi = E_{\min} S K_2 K_n \quad (9.7)$$

burada S – işıqlandırılan ərazi, m^2 ; $K=1,2 \div 1,5$ – ehtiyat əmsalı; $K_n=1,1 \div 1,5$ – işıq itgisi əmsalı.

Lazım olan projektorların sayı:

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_l \eta} \quad (9.8)$$

burada Φ_l – projektor lampasının işıq seli, Lm ; η – projektorun f.i.ə.-dir.

Projektorun təxmini asılma hündürlüyü

$$H \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}} \quad (9.9)$$

burada $I_{\max}$ – projektor lampasının maksimal işıq selidir (Kn).

Fəsil X

10. TİKİNTİ SƏNAYESİ ÜÇÜN ÜMUMİ TƏYİNATLI İSTEHSAL MEXANİZMLƏRİNİN ELEKTRİK AVADANLIQLARI

Tikintidə ən çox istifadə olunanı ekskavatorlardır. Ekskavatorlar tətbiq olunma yerindən istifadə ediləcəyi sahədən və bəzi amillərdən asılı olaraq müxtəlif tiplərdə buraxılır.

Tətbiqinə görə ekskavatorlar dörd tipə bölünür: C – tipli, Ə – indeksli; çömçəsinin tutumu $0,95 \div 2 \text{ m}^3$ olan tikinti ekskavatorları. Məsələn, Ə2501 tipli ekskavator da birinci üç rəqəm çömçənin litrlə həcmi göstərir.

K tipli karxana ekskavatorlarının çömçəsinin həcmi $4 \div 8 \text{ m}^3$, tam tipi ЭКГ-4,6 əsasən kömür mədənlərində tətbiq olunur.

B tipli yeraçan (yerqazan) ekskavatorların çömçəsinin həcmi $4 \div 16 \text{ m}^3$ -dir və qazıntı işlərində istifadə olunur.

III tipli, həcmi $4 \div 20 \text{ m}^3$ olan addımlayan ekskavatorlar, ƏIII-15/90 15 çömçənin həcmi, 90 isə oxunun dönməsini göstərir və hidrotexniki qurğularda, dağ-mədən sənayesində istifadə olunur.

İşçi prosesinə uyğun olaraq ekskavatorlar əsas və köməkçi mexanizmlərə bölünür. Əsas mexanizmlərə təzyiq, qaldırıcı lebyodka, hərəkət və dönmə aiddirlər. Köməkçi mexanizmlərə isə kompressor, nasos və digərləri aiddirlər.

Göstərilən mexanizmlərin intiqalı üçün əsasən elektrik intiqalı tətbiq olunur.

Ekskavatorlar bir və çox mühərrikli olmaqla fərqlənirlər. Ə1251, Ə2001, Ə2501 tipli inşaat ekskavatorlarında qrup intiqalı tətbiq edilir.

Çömçənin həcmi 2 m³ olan Ə2005 və Ə2502 tipli ekskavatorlarda çox mühərrikli intiqallardan istifadə olunur ki, bunlar da əsasən karxanainşaat işlərində istifadə olunur.

Ekskavatorlar elektrik intiqalı mexanizmlərinə bir sıra tələblər qoyulur, çünki bunların iş rejimləri ağırdır. Belə ki, ekskavatorlar çoxlu sayda açılıb-qoşulmağa, yəni saatda 500 qoşulma müddəti 2,5 san təşkil edir. Odur ki, belə mexanizmləri hərəkətə gətirən elektrik intiqalı böyük işəburaxma momentinə və xeyli artıq yüklənmə qabiliyyətinə malik olmalıdır.

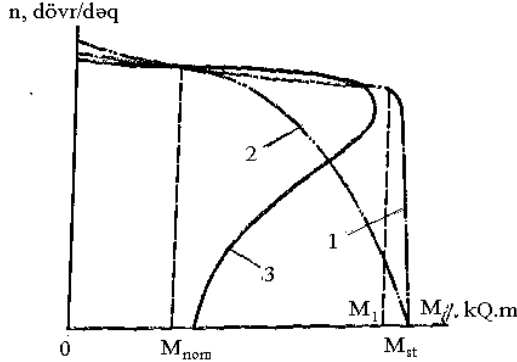
Ekskavatorun elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikası şəkil 10.1 kimidir.

Ekskavatorların baş mexanizmləri elektrik intiqalı üçün mühərrikin gücünün seçilməsinə baxaq.

Qaldırıcı mexanizmin mühərrikinin gücü:

$$P = \frac{(G + G_0 + F_p) v}{102 \eta_{mex}} \quad (10.1)$$

burada G – qaldırılan gilin çəkisi, kq; G_0 – ekskavatorun qaldırılan hissəsi, kq; F_p – müqavimət (kəsmə gücü), kQ; v – qaldırılma sürəti, m/san; η_{mex} – qaldırıcı mexanizmin f.i.ə.



Şəkil 10.1.

- 1-ekska- vatorun ideal mexaniki xarakteristikası;
- 2-TG-M sistemi üzrə mexaniki xarakteristikası;
- 3-Üçfazlı asinxron mühərrikli intiqalın mexaniki xarakteristikası

Kəsmə gücü gilin xüsusi müqaviməti (K) və kəsilən sahəyə görə təyin olunur, yəni

$$F_p = K S \quad (10.2)$$

Dəyişən cərəyan elektrik intiqallı ekskavatorlarda gərginliyi 380 V, gücü 85 kVt və fırlanma tezliyi $n=1480$ dövr/dəq çox istifadə olunur. Qeyd edək ki, qrup elektrik intiqalında (ekska- vator) adətən gücü 50÷150 kVt olan asinxron mühərrikə tətbiq edilir.

Sabit cərəyan elektrik intiqalında generator- mühərrik sistemindən qidalanan üçdolaqlı generator-

mühərrik sistemindən istifadə olunur. İşçi mexanizmlərin generator və elektrik mühərrikləri kimi qəbul olunur:

- qaldırma mexanizminə gərginliyi 451 V, gücü 192 kVt olan generator, gərginliyi 460 V, gücü 175 kVt,
- mühərrik təzyiq mexanizminə – generator: $P_n=36$ kVt, $U_n=360$; mühərrik: $U_{m.n}=54$ kVt; $U_n=395$ V.
- dönmə mexanizminə – generatoru: $P_n=80$ kVt; $U_n=383$ V, mühərrik: $P=2 \times 50$ kVt; $U_n=306$ V.
- çömçənin açılmasına – generator: $P_n=12$ kVt (təsirləndirici) mühərrik $P_n=2,9$ kVt.

10.1. Elektrik qurğularının güc əmsalının yüksəldilməsi

Məlum olduğu kimi üçfazlı dövrənin aktiv gücü

$$P = \sqrt{3} U I \cdot \cos \varphi \quad (10.3)$$

Göründüyü kimi gərginlik və cərəyan vektorları arasındakı faza bucağı φ əsas faktorlardandır. Tələbatçıların reaktiv gücünün azaldılması ilə elektrik şəbəkəsinin cərəyanı və eləcə də onda yaranan gərginlik, güc və enerji itgilərini azaltmış olarıq. Şəbəkədə cərəyanın azaldılması əlavə yüklərin qoşulmasına imkan verir. Bu zaman mənbə generatorlarının qoyulmuş gücünün artırılmasına ehtiyac qalmır. Əgər elektrik stansiyalarının

generatorları nominal güc əmsalına hesablanıb, lakin alçaq güc əmsalı ilə işləyir, onda generatorların aktiv gücləri nominaldan az olacaq və elektrik stansiyasının mexaniki avadanlıqlarından (turbın, qızdırıcıdan) tam istifadə olunmayacaq. Bütün bunlar elektrik stansiyasının göstəricilərini pisləşdirəcək və 1 kVt.saat enerji istehsalında yanacağın sərfini artıracaq.

Nəzərə alsaq ki, tələb olunan cərəyan güc əmsalı ilə tərs mütənəsibdir, onda şəbəkədə güc itkisi

$$\Delta P = \left(\frac{I}{\cos \varphi} \right)^2 r \quad (10.4)$$

olar.

Beləliklə, güc əmsalının artırılması üsullarından biri şəbəkədə güc itkilərinin azaldılmasıdır. Odur ki, reaktiv güc tələbatının azaldılması, enerji sisteminə və həm də tələbatçılara vacibdir. Bu zaman orta hesabla güc əmsalı artır:

$$\cos \varphi_{orta} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mathfrak{E}_r}{\mathfrak{E}_a} \right)^2}} \quad (10.5)$$

burada $\mathfrak{E}_a$, $\mathfrak{E}_r$ – t müddətində aktiv və reaktiv sayğacların saydıqları (hesabladıqları) enerji miqdarıdır.

Məlum olduğu kimi nominal yüklə asinxron mühərriklərin güc əmsalı 0,8÷0,85 arasında olur. Bu zaman nəzərə almaq lazımdır ki, bu əmsal faza

rotorlu mühərriklərə nisbətən qısaqapalı mühərriklərdə yüksək olur.

Elektrik mühərriklərinin yükü nominaldan aşağı olduqda güc əmsalı da azalır. Belə ki, reaktiv gücün sabit qalması aktiv gücün azalması ilə müşahidə olunur.

Güc əmsalının aşağı olması güc itgilərinin şəbəkədə və transformatorlarda artmasına, məfəllərin en kəsiyinin artması səbəbindən əlavə əlvan metal sərfinə, tələb olunan cərəyanın artması ilə xətt və transformatorların iş qabiliyyətinin pisləşməsi, şəbəkədə gərginliyin aşağı düşməsi və s. səbəb olur.

10.2. Güc əmsalının yüksəldilməsi üsulları

Kompensasiya qurğularından istifadə etmədən güc əmsalının yüksəldilməsi aşağıdakı üsullardan ibarətdir:

- istehsal mexanizmlərinin iş rejiminə müvafiq olaraq elektrik avadanlıqlarının (gücü, sürəti, tipii və qabariti) düzgün seçilməsi;
- yüksüz işləmə məhdudlaşdırıcıları və elektrik bloklayıcı quruluşlarının quraşdırılması ilə elektrik mühərriklərinin yüksüz işləmələrinin məhdudlaşdırılması (texnoloji prosesin sonunda məhdudlaşdırıcı götürülür);
- elektrik avadanlıqlarından tam istifadə edilməsi və texnoloji prosesin təkmilləşdirilməsilə elektrik mühərriklərinin yüklənməsinin artırılması;

- azyüklənmiş mühərriklərin kiçik güclü mühərriklərlə əvəz olunması;
- tələbatçıların yük qrafikinə uyğun olaraq, az yüklənmiş transformatorların açılması;
- böyük asinxron mühərriklərin sinxron mühərriklərlə əvəz olunması.

Azyüklənmiş mühərriklərin kiçik güclü mühərriklərlə əvəz olunması misalına baxaq.

Dəyişməz yüklə $P=7$ kVt işləyən mexanizmin verilənləri: $n=750$ dövr/dəq; $P_{nom}=14$ kVt; $\eta_{nom}=0,875$; $\cos\varphi_n=0,81$, yüksüziş ləmədə reaktiv güc $Q_0=9$ kVAr; tam güc şəraitində daimi reaktiv güc $Q_{nom}=11,5$ kVAr; yüksüzişləmədə aktiv güc itgisi $\Delta P_0=0,65$ kVt; tam güc şəraitində aktiv güc itgisinin artımı $\Delta P_{a.n}=1,31$ kVt olan 1 nömrəli AO-73-8 tipli asinxron mühərrik quraşdırılmışdır.

Təklif olunur ki, göstərilən 1 №-li mühərrik nominalları verilən 2 №-li mühərriklərlə əvəz olunsun.

2 №-li mühərrikin nominalları: $P_{nom}=10$ kVt; $\eta_{nom}=0,87$; $\cos\varphi_n=0,8$; $Q_0=6,6$ kVAr; $Q_{nom}=8,7$ kVAr; $\Delta P_0=0,39$ kVt; $\Delta P_{a.n}=1,11$ kVt.

Əgər enerji sisteminin verilən məntəqəsində azalma əmsalı $K_{n.n}=0,1$ kVt/kVAr-dırsa, tələb olunur ki, 1 №-li mühərriki 2 №-li mühərriklə dəyişən zaman sərfəlik yoxlanılsın. Bu məqsədlə 1 №-li mühərrikin işləməsi zaman aktiv güc itgilərinin cəmini təyin edək:

$$\Delta P_1 = K_{n.n} [Q_0(1 - K_y^2) + K_y^2 Q_{nom}] + \Delta P_0 + K_y^2 \Delta P_{a.n} =$$

$$= 0,1[9(1 - 0,25) + 0,25 \cdot 11,5] + 0,65 + 0,25 \cdot 1,31 = 1,94 \text{ kVt}$$

burada yüklənmə əmsalı $K_y = \frac{P}{P_{nom}} = \frac{7}{14} = 0,5$.

2 №-li mühərrikin işləməsi zamanı gətirilmiş aktiv güc itkisi:

$$\Delta P_2 = 0,1[6,6(1 - 0,49) + 0,49 \cdot 8,7] + 0,39 + 0,49 \cdot 1,11 = 1,7 \text{ kVt}$$

Aktiv güc itkisinin azalma faizi:

$$\Delta P = \left[\frac{(1,94 - 1,7)}{1,94} \right] 100 = 12,4\%$$

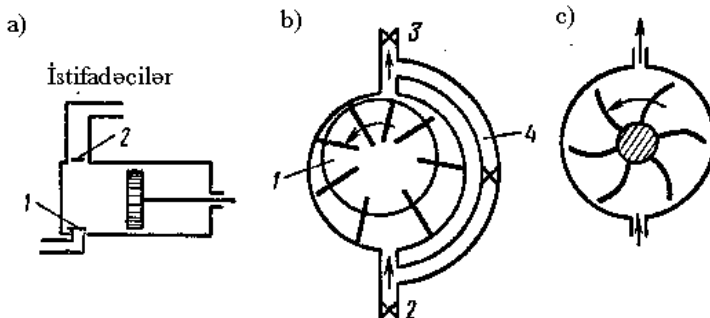
Beləliklə az yüklənmiş (14 kVt-luq) mühərrikin, kiçik güclü (10 kVt-luq) mühərriklə əvəz olunmasının sərfəliyini (rentabelliyini) təyin etmiş olduq.

10.3. Kompresor nasos və ventilyator qurğularının elektrik avadanlıqları

Kompresor hava borularında havanın sıxılmasını və vurulmasını icra edən maşındır. Sıxılmış hava inşaat və sənaye müəssisələrinin istismarında geniş istifadə olunur.

Kompresor maşınları iş prinsipinə görə porşenli, ratasiyalı və mərkəzdənqaçma (turbokompresor) növlərinə ayrılır.

Göstərilən kompressorların quruluş sxemləri şəkil 10.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 10.2. Kompresorların quruluş sxemləri:
a) porşenli; b) ratasiyalı; c) mərkəzdənqaçma kompressorları

Porşenli kompressorların elektrik mühərriklərinin gücü:

$$P = \frac{K_e A Q}{102 \eta_k \eta_n} = \frac{K_e A Q}{1000 \eta_k \eta_n} \quad (10.6)$$

burada A – iş (kq.m/m^3 yaxıd Coul/m^3); Q – kompressorun məhsuldarlığı, m^3/san ; η_k – kompressorun f.i.ə., $0,6 \div 0,8$ qəbul edilir; η_n – vurmanın f.i.ə., $\eta_n = 0,9 \div 0,95$; K_z = ehtiyat əmsalı, $K_z = 1,1 \div 1,2$.

Ventilyatorlar – istehsal sahələrini küləkləmədə, isitmə (qızdırma) qurğularından qazların sovurulması və onlara hava vurulmasında tətbiq edilir. Ventilyator elektrik mühərriklərinin gücü:

$$P = \frac{K_e Q h}{102 \eta_v \eta_n} = \frac{K_e Q h}{1000 \eta_v \eta_n} \quad (10.7)$$

burada $K_e=1,2\div1,5$ qəbul edilir, ehtiyat əmsalıdır; Q – ventilyatorun məhsuldarlığı, m^3/san ; h – təzyiq, mm.su.st , yaxıl Π/m^2 ; η_v – ventilyatorun f.i.ə., kiçik güclü ventilyatorlar üçün $0,2\div0,5$, böyük güclü ventilyatorlar üçün isə $0,75$ qəbul edilir; η_δ – vurmanın (ötürmənin) f.i.ə.

Ümumi sənaye mexanizmlərində tətbiq olunan nasoslar sürətin kubu ilə dəyişən ventilyator momentlidirlər. Göstərilən mexanizmlər asinxron elektrik mühərrikli elektrik intiqallıdırlar.

Mühərrikin valındakı güc P_2 ventilyator momentli mexanizmin sürətinin kubu ilə mütənasibdir, yəni

$$P_2 = P_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^3 \quad (10.8)$$

Statorun rotora ötürülən elektrik maqnit momenti

$$P_{12} = P_2 \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right) = P_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^3 \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right) = P_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \left(\frac{\omega_0}{\omega_n} \right) \quad (10.9)$$

Onda tənzimləmə zamanı rotor dövrəsində itgilər

$$\Delta P = P_{12} - P_2 = P_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \left(\frac{\omega_0}{\omega_n} \right) - P_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^3 \quad (10.10)$$

ΔP kəmiyyətinin analizi göstərir ki, maksimum itgi

$$\Delta P_{mak} \approx \left(\frac{4}{27} \right) P_n \left(\frac{\omega_0}{\omega_n} \right)^3 \quad (10.11)$$

olar.

Uyğun olaraq belə tənzimləmədə valda nominal gücün sinxron sürətin 67%-də itgilər $15 \div 17\%$ təşkil edir.

Nasos qurğuları bütün sənaye mexanizmlərində tətbiq olunur. Porşenli nasoslara nisbətən mərkəzdənqaçma nasosları daha geniş tətbiq edilir. Belə ki, porşenli nasoslar irəli-geri hərəkət zamanı yaranan qeyri-bərabər yük intiqalınının seçilməsini mürəkkəbləşdirir.

Mərkəzdənqaçma nasosları əksər hallarda yüksək sürətli olduğundan onların bilavasitə elektrik mühərriklərilə qoşmaq mümkündür.

Mərkəzdənqaçma nasosları üçün mühərriklər seçilərkən mühərrikin gücünün və fırlanma sürətinin böyük rolu vardır. Belə ki, güc P , məhsuldarlıq Q və iəzyiq H , n sürətindən asılıdır:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2} \quad (10.12)$$

Bu asılılıqlardan görünür ki, mühərrikin fırlanma sürəti artdıqda, onun tələb etdiyi güc qəfil artır, bu isə mühərrikin qızmasına səbəb olur.

Mərkəzdənqaçma nasoslarının əsas xarakteristikası məhsuldarlığın (Q) təzyiqdən (H) asılılığı ilə ifadə olunur. Nasosun məhsuldarlıq və təzyiq parametrlərini təyin etmək üçün nasosun Q - H sistemini bilmək lazımdır. Sistemdə tam təzyiqin qiyməti statik (H_{st}) və dinamik (H_d) təzyiqlərdən ibarət olur:

$$H = H_{st} + H_d \quad (10.13)$$

Statik təzyiq – vurma və sovurma səviyyələri fərqi, statik təzyiq isə boru kəməri sisteminin müqavimətilə xarakterizə olunur. Dinamiki təzyiq həm də mayenin kvadratı və yaxud nasosun məhsuldarlığının kvadratı ilə mütənasibdir:

$$H = H_{st} + \lambda Q^2 \quad (10.14)$$

Kiçik güclü nasoslarda adətən asinxron mühərriklər, böyük güclü nasoslarda isə asinxron və sinxron mühərriklər quraşdırılır. Nasoslar üçün mühərrikin gücü:

$$P = \frac{K_e \gamma Q H}{102 \eta_n \eta_\delta} = \frac{K_e \gamma Q H}{1000 \eta_n \eta_\delta} \quad (10.15)$$

burada γ – mayenin xüsusi çəkisi, (su üçün $\gamma=1000 \text{ kQ/m}^3=9810 \text{ n/m}^3$); Q – nasosun məhsuldarlığı, m^3/san ; H – tam təzyiq, m (boru kəmərindeki itgilərlə birlikdə); η_δ – ötürmənin f.i.ə., ($\eta_\delta=0,9\div0,95$); η_n – nasosun f.i.ə. olub mərkəzdənqaçma nasosları üçün $\eta_n=0,45\div0,75$ qəbul edilir.

Mühərriklərin gücünü hesablayarkən, mühərrikin gücündən asılı olaraq ehtiyat əmsalı $K_e=11,1$ -dən $1,5$ -ə qədər qəbul edilir.

Nasos qurğularının əsas elektrik avadanlıqları alçaq və yüksək gərginlikli qısaqapalı, yaxud faza rotorlu asinxron mühərriklər, qapalı işəburaxma və mühafizə aparatlı sinxron mühərriklər hesab edilir. Deməli nasos mühərrikləri 380 V , 6 və 10 kV gərginliyə qoşulur.

Tutaq ki, məhsuldarlığı $Q=50 \text{ m}^3/\text{saat}$ olan nasos $H=60 \text{ m}$ hündürlüyə su vurur, borunun diametri $d=135 \text{ mm}$.dir. Su boru magistralının uzunluğunun 1200 m olmasını nəzərə almaqla mühərrikin gücünü təyin etmək lazımdır. Nasosun f.i.ə. $\eta_n=0,81$ -dir.

Xəttə dörd dirsək, iki ventil və iki qapayıcı (zaslonka) quraşdırılması nəzərdə tutulub. Nasos üçün mühərrikin gücü:

$$P = \frac{Q\gamma(H + \Delta H)}{102\eta_n} \quad (10.16)$$

olduğunu bilərək hesabat apara bilərik. Burada Q – suyun sərfi m^3/san ; γ – 1 m^3 suyun xüsusi çəkisi, kg/m^3 ; H , ΔH – təzyiq və onun itgisi, m ; qeyd edək ki, təzyiqin itgisini (ΔH)-də təyin edilməlidir. Bunun üçün suyun axma sürətini tapmaq lazımdır, m/san -lə. Odur ki,

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{50}{3600 \cdot 0,0143} = 0,97 \text{ m/san}$$

burada S – borunun en kəsiyi, $S=0,0143 \text{ m}^2$.

Magistral təzyiqin itgisi

$$\Delta H_1 = a \left(\frac{1,1 \cdot v^{1,75}}{d^{1,25}} \right) l \quad (10.17)$$

burada l – magistralın uzunluğudur, m ; $a=0,00074$ yeni çuqun boru üçün qəbul edilir. Əvvəlki çuqun boru üçün $a=0,00092$ -dir.

$$\Delta H_1 = 0,00092 \left(\frac{1,1 \cdot 0,97^{1,75}}{0,135^{1,25}} \right) 1200 = 13 \text{ m}$$

Dirşəkdeki təzyiq itgisi:

$$\Delta H_2 = \xi \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (10.18)$$

burada ξ – borunun diametrinin (d) onun dairəvi radiusuna (R) olan nisbətində asılılığını xarakterizə edən əmsaldır. Bu nisbət:

$$\begin{array}{cccccccc} d/R & \dots & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,8 & 1,0 \\ \xi & \dots & 0,13 & 0,138 & 0,158 & 0,21 & 0,29 & 0,98 & 0,98 & 1,98 \end{array}$$

Əgər $R=5$, $d/R=0,27$, borudan $\xi=0,158$ olar.

Uyğun olaraq dörd dirşəkdə:

$$\Delta H_2 = 0,158 \left(\frac{0,97^2}{2 \cdot 9,81} \right) 4 = 0,03 \text{ m}$$

İki ventill üçün $\xi=0,49$. Onda:

$$\Delta H_2 = 0,49 \left(\frac{0,97^2}{2 \cdot 9,81} \right) 2 = 0,047 \text{ m}$$

İki bağlayıcı (zaslonka) $\xi=0,063$. Onda:

$$\Delta H_2 = 0,063 \left(\frac{0,97^2}{2 \cdot 9,81} \right) 2 = 0,006 \text{ m}$$

Təzyiqin itgilərinin cəmi:

$$P = \frac{50 \cdot 10^3 (60 + 13,1)}{3600 \cdot 0,81 \cdot 102} = 12,3 \text{ m}$$

Gücü $P_n=13 \text{ kVt}$, fırlanma sürəti $n_n=950 \text{ dövr/dəq}$ olan AO2-62-6 tipli mühərrik seçirik.

10.4. Dağ-mədən sənayesinin elektrik avadanlığı və elektrik təchizatına aid sərbəst işlər

1. Dağ-mədən filizlərində istifadə olunan elektrik avadanlıqlarının xüsusiyyətləri

2. Dağ-mədənlərinə istifadə olunan elektrik mühərriklərinin sinifləri
3. Açıq dağ mədənlərində istifadə olunan elektrik mühərriklərinin əsas xüsusiyyətləri
4. Dağ-mədən işlərində istifadə olunan elektrik mühərriklərinin iş rejimləri və güsünün seçilməsi
5. Dağ-mədən maşın-mexanizmlərinin idarəetmə aparatları
6. Uzaqdan idarəetmə və mühafizə aparatları, növləri
7. Qazıntı və çıxarma işlərində istifadə olunan elektrik avadanlıqları
8. Yükləyisi və stasionar qurğuları, onların elektrik avadanlıqları
9. Yeraltı qurğuların istismarında istifadə olunan elektrik mühərrikləri
10. Suvurucu qurğuların xüsusiyyətləri
11. Kompresor qurğuları intiqal mühərriklərinin gücünün seçilməsi
12. Yeraltı dağ-mədən müəssisələrinin enerji təminatı
13. Dağ-mədən elektrik tələbatçılarının etibarlığının təmin olunması
14. Dağ-mədən müəssisələrinin elektrik təchizatı sxemlərinin qurulması
15. Dağ-mədən elektrik tələbatçılarının gücünün hesabı
16. Mədənə elektrik tələbatçılarının qidalandırılması üçün transformatorların seçilməsi
17. Mədən sənayesi üçün yüksək gəroginlikli elektrik aparatlarının seçilməsi və əsaslandırılması
18. Elektrik qurğularının mühafizə olunması
19. Qidalandırıcı hava xəttinin maksimal cərəyan mühafizəsi
20. Dağ mədənlərində komplekt paylayıcı quruluşlar
21. Yarımstansiyalarda avadanlıqların izolyasiyasına nəzarət
22. Açıq dağ-mədən sahələrinin elektrik təchizatı sxeminin qurulması

Fəsil XI

SABİT CƏRƏYAN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ

11.1. Sadə və müəkkəb sabit cərəyan elektrik dövrələri

Ümumi məlumat. İlk elektrik enerji mənbələri qalvanik elementlər olduğuna görə elektrotexnika elmi sabit cərəyan əsasında inkişaf etmişdir. Elektrik dövrəsinin əsas qanunları Om və Kirxhof, habelə elektrik cərəyanının istilik, elektromaqnit və elektrokimyəvi təsirlərinin qanunauyğunluqları məhz sabit cərəyan əsasında kəşf olunmuşdur. Sənayedə bir çox elektrik işlədicilərini sabit cərəyansız işlətmək olmur. Həmin işlədicilər ya texnoloji şərtlərə (elektrokimya), ya da texniki-iqtisadi üstünlüklərə görə (elektrik nəqliyyatı, bəzi sənaye elektrik mühərrikləri) sabit cərəyanla işləməlidir. Odur ki, sabit cərəyan işlədicilərini elektrik enerjisi ilə qidalandırmaq üçün çox vaxt dəyişəni sabitə çevirən müxtəlif çeviricilərdən (elektromaşın, elektron-ion, yarımkeçirici), az-az hallarda isə akumulyatorlardan, sabit cərəyan generatorlarından və termoelektrik batareyalarından istifadə edilir.

Ən sadə sabit cərəyan dövrəsi. Ən sadə sabit cərəyan dövrəsi generatordan (sabit elektrik enerji mənbəindən), işlədicidən və əlaqələndirici naqillərdən ibarətdir.

Generatorun elektrik hərəkət qüvvəsinin (e.h.q.) təsiri altında qapalı dövrədə elektrik yüklərinin nizamlı hərəkəti təmin olunur və buna elektrik cərəyanı deyilir. Cərəyanın qiyməti vahid zamanda naqilin en kəsiyindən keçən elektrik yüklərinin miqdarı ilə təyin edilir.

Əgər cərəyanın qiyməti zamanla əlaqədar dəyişmirsə, onda

$$I = \frac{q}{t} \text{ A} \qquad 1\text{A} = \frac{1\text{K}}{1\text{san}}$$

olur.

Elektrik potensialının azalması və ya ona bərabər qiymətdə potensiallar fərqi dövrə hissəsinin elektrik gərginliyi, yaxud sadəcə olaraq gərginlik adlanır:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1,2}}{q} \text{ V} \qquad 1\text{V} = \frac{1\text{C}}{1\text{K}}$$

Elektrik enerjisinin dönmədən istilik enerjisinə çevrilməsi prosesi gedən dövrə elementinə elektrik müqaviməti deyilir və sxemlərdə ikisıxaclı uzunsov düzbucaqlı şəklində işarə edilir:

$$r = \rho \frac{l}{S}$$

yaxud

$$r = \frac{1}{g}$$

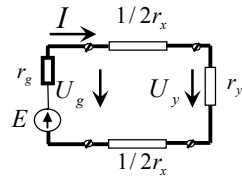
Beynəlxalq vahidlər sistemində (BS) elektrik müqaviməti Om ilə, keçiricilik isə Simens ilə ölçülür:

$$1 \text{ Om} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}; \qquad 1 \text{ Sim} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}} = \frac{1}{\text{Om}}$$

Om qanununa görə dövrə hissəsində axan cərəyan I bu hissədəki gərginliklə düz mütənasıbdır:

$$\mathbf{I} = \mathbf{U}\mathbf{g} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{r}}$$

Qapalı elektrik dövrəsində hər bir element (generator, işlədici, xətt) elektrik müqavimətinə malikdir (şək. 11.1) və ardıcıl birləşmiş bu elementlər-



Şəkil 11.1. Budaqlanma-
yan sabit cərəyan
dövrəsi

dən eyni bir cərəyan axacaq. Bu cərəyanın qiyməti mənbənin e.h.q. ilə düz, dövrənin ümumi müqaviməti ilə tərs mütənəsbidir:

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{r}_g + \mathbf{r}_x + \mathbf{r}_y} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{r}_g + \mathbf{r}_{\text{xar}}}$$

burada r_g – generatorun müqaviməti; r_x – xətt məftillərinin müqaviməti; r_y – yükün (elektrik işlədicisinin) müqaviməti; $r_{\text{xar}} = r_x + r_y$ – xarici dövrənin ümumi müqaviməti.

Bu düstur qapalı dövrə üçün Om qanununun ifadəsidir, onu belə də ifadə etmək olar:

$$\mathbf{E} = \mathbf{I}\mathbf{r}_g + \mathbf{I}\mathbf{r}_{\text{xar}}$$

Cərəyanla müqavimətin hasilinə (Ir) dövrə hissəsində gərginlik düşgüsü deyilir.

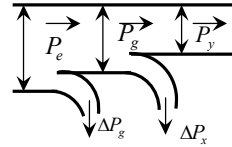
Elektrik enerji mənbəinin əsas xarakteristikalarından biri olan e.h.q.-si onun daxilindəki (I_{rg}) və onun xarici hissəsindəki (I_{xar}) gərginlik düşgü-
lərinin cəminə bərabərdir.

Güclər balansı. Energetik diaqram. Yuxarıdakı tənliyin hər tərəfini I cərəyanına vursaq, alırıq:

$$EI = I^2 r_g + I^2 r_{\text{xar}} = I^2 r_g + I^2 r_x + I^2 r_y$$

$P_e = EI$ hasilı mənənin yaratdığı tam elektrik gücünü ifadə edir. Bu gücün bir hissəsi $\Delta P_g = I^2 r_g$ istilik şəklində mənənin özündə itir. $P_g = P_e - \Delta P_g$ fərqi mənənin xarici dövrəyə verdiyi gücü ifadə edir.

Xəttin məftillərində də gücün bir hissəsi $\Delta P_x = I^2 r_x$ istilik şəklində itir. Yerdə qalan güc $P_y = I^2 r_y = U_y I$ yük tərəfindən tələb olunur. Əyani olmaq üçün güclər balansı energetik diaqram şəklində verilir (şək. 11.2).



Şəkil 11.2. Ən sadə sabit cərəyan dövrəsinin energetik diaqramı

Müasir generatorların daxilində güc itkisi nisbətən kiçikdir.

Güclü elektrik generatorları 0,95 və daha yüksək faydalı iş əmsalına (f.i.ə.) malikdir.

Eyni bir gücü $P_y = U_y I$ işlədicilərə ötürdükdə, gərginlik nə qədər kiçikdirsə, xətdən axan cərəyan bir o qədər böyük olacaq. Xətdəki güc itkisi cərəyanın kvadratı ilə düz mütənasib olduğuna görə gərginliyi 10 dəfə artırısaq, güc itkisi 100 dəfə azalar. Odur ki, elektroenergetika qurğularında getdikcə daha yüksək gərginliklər tətbiq edilir.

Elektrik dövrəsinin iş rejimləri. Elektrik dövrəsinin və onun elementlərinin mümkün olan iş rejimlərindən ən xarakterik olanları dördüdür: nominal rejim, yüksüz işləmə (y.i.) rejimi, qısaqapanma (q.q.) rejimi və əlaqələndirilmiş rejim.

Nominal (normal) rejim. Elektrik dövrəsində mənbələrin və işlədicilərin normal və ya nominal rejimi onunla xarakterizə edilir ki, onların cərəyan, gərginlik və güclərinin qiymətləri hazırlayıcı

zavod tərəfindən hesablanmış qiymətlərə uyğun olsun. Belə halda ən yaxşı iş şərtləri təmin edilir (qənaətlilik, uzun müddət işləmək və s.).

Nominal rejimi təyin edən xarakterik kəmiyyətlər, adətən, quruluşun pasportunda və yaxud bilavasitə ona bərkidilmiş lövhəcikdə göstərilir. Bu kəmiyyətlər tərkibinə uyğun elementlər daxil olan elektrik sxemlərini hesabladıqda bir əsas kimi götürülür. Məsələn, közərmə lampasının müqaviməti onun kolbasında və yaxud sokolunda göstərilmiş nominal gücünə və nominal gərginliyinə görə təyin edilə bilər

$$r = \frac{U_n^2}{P_n} \quad (11.3)$$

Yüksüz işləmə rejimi. Elektrik dövrəsinin və yaxud onun ayrı-ayrı mənbə və işlədicilərinin cərəyanı sıfırırsa, onun rejiminə *yüksüz işləmə rejimi* deyilir.

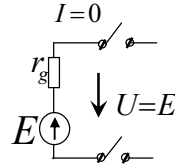
Mənbənin yüksüz işləmə rejimindən onun e.h.q.-ni ölçmək üçün istifadə etmək olar.

Dövrədən də, mənbənin sıxaclarındakı gərginlik istənilən halda $U = E - I r_g$. Yüksüz işləmədə $I = 0$ və $U = E$, yəni mənbənin sıxaclarında yüksüz işləmə gərginliyi onun e.h.q.-nə bərabərdir (şək. 11.3).

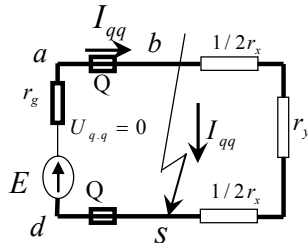
Qısaqapanma rejimi. Əgər dövrənin hər hansı hissəsinə qoşulmuş iki nöqtə arasındakı müqavimət normal qiymətdən dəfələrlə kiçikdirsə və praktik olaraq sıfıra yaxınlaşarsa, onda dövrənin bu hissəsində qısaqapanma baş verir. Qısaqapanma, adətən, cərəyan keçirən hissələrin izolyasiyasının zədələnməsi nəticəsində baş verir.

Qısaqapanma rejimi qısaqapar olması ilə xarakterizə edilir:

$$U_{q.q.} = 0$$



Şəkil 11.3 Mənbənin yüksüz işləmə rejimi



Şəkil 11.4. Mənbənin qısaqapanma iş rejimi

Generatorun sıxaclarında qısaqapanma baş verərsə, xarici müqavimət sıfıra yaxınlaşar və generatorun cərəyanı ən böyük qiyməti alar.

$$I_{q.q} = \frac{E}{r_g} \quad (11.4)$$

Bu qiymət nominal yük cərəyanından dəfələrlə böyük ola bilər. Qısaqapanmalar elektrik qurğuları üçün böyük təhlükə təşkil edir, çünki elektrik avadanlığının işdən çıxmasına və normal iş rejiminin uzun müddət pozulmasına səbəb ola bilər (şək. 11.4-dəki sxemdə mühafizə quruluşları əriyən qoruyucular Q göstərilmişdir).

Əlaqələndirilmiş rejim. Mənbənin və xarici dövrənin əlaqələndirilmiş iş rejimi o rejimə deyilir ki, bu zaman xarici dövrənin müqaviməti mənbənin daxili müqavimətinə bərabər olsun. Əlaqələndirilmiş iş rejimi zamanı mənbə xarici dövrəyə ən böyük güc verir. Mənbənin verdiyi güc:

$$P = I^2 r_{\text{xar}} = \left(\frac{E}{r_g + r_{\text{xar}}} \right)^2 r_{\text{xar}} \quad (11.5)$$

$\frac{dp}{dr_{\text{xar}}}$ törəməsini sıfıra bərabər edək:

$$\frac{dp}{dr_{\text{xar}}} = E^2 \frac{(r_g + r_{\text{xar}})^2 - 2 r_{\text{xar}} (r_g + r_{\text{xar}})}{(r_g + r_{\text{xar}})^4} = 0$$

buradan $r_g = r_{\text{xar}}$ - alırıq.

Bu münasibət maksimal gücün alınma şərtidir (ikinci törəmə $\left(\frac{d^2 p}{dr_{\text{xar}}^2} \right) < 0$).

r_{xar} -nin istənilən qiymətində faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{I^2 r_{\text{xar}}}{I^2 (r_g + r_{\text{xar}})} = \frac{1}{\frac{r_g}{r_{\text{xar}}} + 1} \quad (11.6)$$

Əlaqələndirilmiş iş rejimi zamanı

$$\eta = \frac{1}{1+1} = 0,5$$

Ən böyük verilən güc

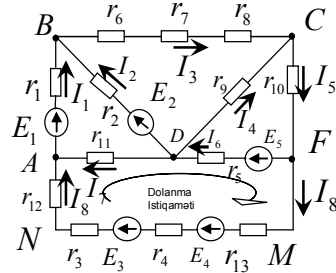
$$P_{\max} = I^2 r_{\text{xar}} = \left(\frac{E}{2r_g} \right)^2 r_g = \frac{E^2}{4r_g} \quad (11.7)$$

Əlaqələndirilmiş iş rejimindən radioelektronika sxemlərində geniş istifadə edilir.

Kirxhof qanunları. Mənbə və işlədiciyə paralel və ardıcıl birləşdirilməsi nəticəsində alınmış mürəkkəb elektrik dövrlərini analiz etdikdə və hesabladıqda elektrik sxemini tərtib edib bütün birləşmələri göstərmək lazımdır.

Eyni bir cərəyan axan bir neçə ardıcıl bağlanmış elementlər budaq təşkil edir. Xüsusi halda budaqda bir element də ola bilər. Üç və daha çox budaqların birləşdiyi yerlərə düyün nöqtələri və yaxud düyünlər deyilir. Düyünlər sxemdə nöqtələrlə göstərilir. Hərflər yaxud rəqəmlərlə işarə edilir. Şəkil 11.5-də göstərilmiş sxemdə beş düyün (A, B, C, D, F) və səkkiz budaq vardır. Qapalı elektrik dövrəsi təşkil edən budaqların birliyinə kontur deyilir (məsələn ABDA, ADFMNA). E.h.q. olan kontur və budaqlar aktiv, əks halda passiv adlanır.

Fizika kursundan məlumdur ki, mürəkkəb elektrik dövrləri üçün Kirxhofun 1-ci və 2-ci qanunlarının tənliklərini yazmaq olar. Bu qanunlardan cərəyanın və e.h.q.-lərin sabit və ani qiymətləri üçün elektrik dövrləri nəzəriyyəsində istifadə edilir.



Şəkil 11.5. Mürəkkəb sabit cərəyan dövrəsinin sxemi

Kirxhofun 1-ci qanunu belə ifadə edilə bilər: elektrik dövrəsinin budaqlanma nöqtəsində (düyündə) cərəyanların cəbri cəmi sıfıra bərabərdir:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Bu zaman düyün nöqtəsinə gələn cərəyanları bir işarə ilə (ixtiyari seçilmiş), düyün nöqtəsindən çıxanları isə əks işarə ilə göstərmək lazımdır.

Şəkil 11.5-dəki sxemin B düyünü üçün Kirxhofun 1-ci qanununun tənliyini yazaq:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

Kirxhofun 2-ci qanunu belə ifadə edilir: hər hansı qapalı konturda e.h.q.-lərin cəbri cəmi gərginlik düşgülərinin cəbri cəminə bərabərdir:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n I_k r_k$$

Qapalı konturu saat əqrəbi istiqamətində (və ya əksinə) dolandıqda, istiqamətləri konturu dolanma istiqaməti ilə eyni olan e.h.q. və cərəyanlar müsbət, əks halda mənfi qəbul edilməlidir.

Misal üçün şəkil 11.5-dəki sxemin ADFMNA qapalı konturuna baxaq. Konturu saat əqrəbi istiqamətində dolansaq, Kirxhofun 2-ci qanununun tənliyi belə ifadə olunur:

$$\begin{aligned} -E_5 + E_4 + E_3 &= -I_7 r_{11} - I_6 r_5 + \\ &+ I_8 (r_{13} + r_4 + r_3 + r_{12}) \end{aligned}$$

Elektrik enerji mənbələrinin və işlədiciələrinin birləşmələri. Ən sadə sabit cərəyan dövrəsində (şək. 11.1) generator, işlədici və elektrik enerjisinin generatoradan işlədiciyə ötürən birləşdirici məfəillər öz aralarında ardıcıl bağlanmışdır. Birləşmənin bu üsulundan energetik nöqteyi-nəzərdən müxtəlif xarakterli

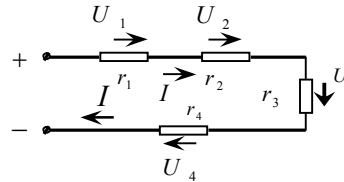
elementləri – generatorları, işlədiciləri və elektrik enerjisi veriliş xətlərini ümumi elektrik sistemində birləşdirmək üçün istifadə edirlər. Sistemin energetik nöqteyi-nəzərdən eyni xarakterli elementləri, məsələn, generatorlar və yaxud işlədicilər bir qayda olaraq, paralel birləşdirilir. Generatorları paralel birləşdirdikdə, onların idarə olunması müstəqil olur. Generatorların və ya işlədicilərin ardıcıl birləşməsi zamanı hər bir generator və ya işlədicini ayrılıqda açmaq, qoşmaq və eləcə də onlar üçün lazım olan iş rejimi yaratmaq təcrübədə mümkün olmur. Bundan başqa, ardıcıl birləşmə zamanı işlədicilərdən və ya mənbələrdən birinin işdən çıxması bütün elementlərin cərəyansız qalmasına səbəb olur.

Mənbələrdən biri (məsələn, elektrokimyəvi akkumulyator $E = 1,25 - 2,4 \text{ V}$) tələb olunan gərginliyi (110 və ya 220 V), təmin etmədikdə eyni tipli mənbələrin ardıcıl birləşməsindən istifadə olunur.

Eyni tipli işlədicilərin ardıcıl birləşməsindən müstəsna hallarda, mənbənin gərginliyi işlədicinin nominal gərginliyindən çox böyük olduqda, istifadə edilir.

Ardıcıl birləşmiş dövrələr.

Əgər elektrik dövrəsi ardıcıl birləşmiş r_1, r_2, r_3, r_4 müqavimətli hissələrdən ibarətdirsə (şək. 11.6), onda bütün hissələrdən eyni cərəyan keçəcəkdir. Belə dövrəni hesablamaq üçün ekvivalent müqavimətlər metodundan istifadə etmək olar.



Şəkil 11.6 Ardıcıl birləşmiş dövrə

Ekvivalent müqavimət elə müqavimətə deyilir r_e , onun sxemə əvəzedici kimi qoşulması dövrənin qalan hissəsində cərəyan və gərginliklərin paylanmasına təsir göstərməsin. Verilmiş ardıcıl birləşmə üçün ekvivalentlik şərti şərtinə əsasən yazılır:

$$r_e = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

və ya

$$r_e = \sum_{k=1}^n r_k$$

Bu halda dövrənin tələb etdiyi ümumi güc P ayrı-ayrı elementlərin tələb etdiyi güclərin cəminə bərabərdir :

$$UI = I r_e^2 = I^2 r_1 + I^2 r_2 + I^2 r_3 + I^2 r_4$$

və ya

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

Paralel birləşmiş dövrələr. Elektrik işlədiciləri paralel birləşdirildikdə onların hamısı eyni gərginlik altında olur. Belə dövrələri də ekvivalent müqavimətlər metodu ilə hesablamaq mümkündür.

Elektrik işlədicilərinin müqavimətlərini r_1 , r_2 , r_3 və keçiriciliklərini g_1 , g_2 , g_3 işarə edək (şək. 11.7).

Budaqlanmayan hissədən axan ümumi cərəyan

$$I = Ug_1 + Ug_2 + Ug_3 = Ug_e$$

buradan

$$\frac{1}{r_e} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

və ya

$$\frac{1}{r_e} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{r_k}$$

$$g_e = \sum_{k=1}^n g_k$$

Əgər iki müqavimət r_1 və r_2 paralel qoşulubsa, onların ekvivalenti:

$$r_e = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

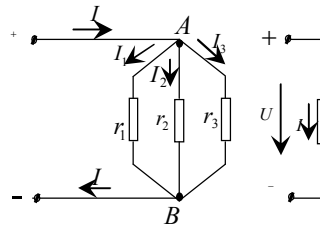
olar.

Müqavimətlər eynidirsə, yəni $r_1=r_2=r_3=\dots=r_n=r$, onda ekvivalent müqavimət aşağıdakı kimi olar:

$$r_e = \frac{r}{n}$$

Bir qidalandırıcı mənbəli, müqavimətləri qarışıq birləşmiş dövrələrin hesabı.

Şəkil 11.8-də belə dövrəyə misal göstərilmişdir. Bu dövrədə mənbə gərginliyi və dövrə elementləri parametrlərinin verildiyi şəraitdə cərəyanların paylanmasını ekvivalent müqavimətlər metodu



Şəkil 11.7 Budaqlanan sabit cərəyan dövrəsi

ilə təyin etmək olar. Beləki, r_4 və r_5 müqavimətləri paralel birləşib və onları bir ekvivalent müqavimətlə əvəz etmək olar:

$$r_{CD} = \frac{r_4 \cdot r_5}{r_4 + r_5}$$

Bundan sonra sxem bir qədər sadələşib, şəkil 11.9-dakı kimi olur. Öz növbəsində r_3 və r_{CD} müqavimətləri ardıcıl və onların ekvivalenti r_2 müqaviməti ilə paralel bağlanmışdır. Hər ikii budağın ekvivalent müqaviməti

$$r_{AB} = \frac{r_2(r_3 + r_{CD})}{r_2 + r_3 + r_{CD}}$$

r_{AB} müqaviməti r_1 ilə şəkil 11.10-dan göründüyü kimi, ardıcıl bağlanmışdır. Bu sxemin tam müqaviməti $r = r_1 + r_{AB}$ başlanğıc sxemin ümumi cərəyanını təyin etməyə imkan verir:

$$I_1 = \frac{U}{r}$$

Bundan sonra şəkil 11.10-dakı sxemə qayıdıb AB hissədəki gərginliyi $U_{AB} = I_1 r_{AB}$ və şəkil 11.9-dakı sxemin r_2 , r_3 müqavimətlərində cərəyanları təyin edirik:

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{r_2} \quad \text{və} \quad I_3 = \frac{U_{AB}}{r_{CD} + r_3}$$

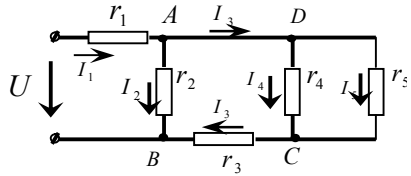
Başlanğıc sxemin CD hissəsindəki gərginlik düşgüsü

$$U_{CD} = I_3 \cdot r_{CD}$$

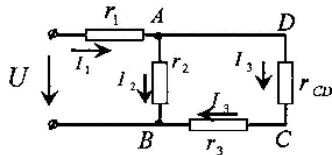
r_4 və r_5 budaqlarındakı cərəyanlar:

$$I_4 = \frac{U_{CD}}{r_4}; \quad I_5 = \frac{U_{CD}}{r_5}$$

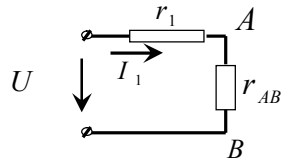
Bununla da dövrə hesablanmış oldu.



Şəkil 11.8 Müqavimətlərin qarışıq birləşməsi

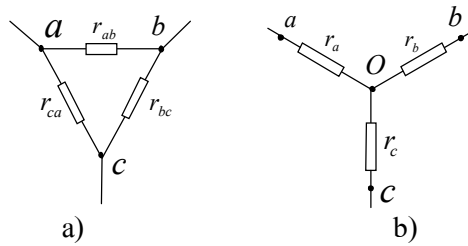


Şəkil 11.9 Ekvivalent əvəz sxemi



Şəkil 11.10 Sadələşdirilmiş ekvivalent sxemi

Müqavimətlərin üçbucaq birləşməsinin ekvivalent ulduz birləşməsinə çevrilməsi. Elektrik dövrələrini hesabladığımızda müqavimətlərin qapalı kontur təşkil edən üçbucaq birləşməsinə rast gəlirik. Belə halda dövrəni sadələşdirməkdən ötrü müqavimətlərin üçbucaq birləşməsindən ulduz birləşməsinə keçirlər (şək. 11.11).



Şəkil 11.11 Müqavimətlərin üçbucağının (a) ekvivalent ulduza (b) çevrilməsi

Belə çevirmə ekvivalent olmalıdır, yəni dövrənin a və b, b və c, c və a nöqtələri arasındakı müqavimətləri hər iki birləşmədə eyni olmalıdır:

r_a , r_b və r_c , alarıq:

$$\left. \begin{aligned} r_a &= \frac{r_{ab} \cdot r_{ca}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} \\ r_b &= \frac{r_{bc} \cdot r_{ab}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} \\ r_c &= \frac{r_{ca} \cdot r_{bc}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} \end{aligned} \right\}$$

Üçşüalı ulduzdan ekvivalent üçbucağa keçdikdə r_{ab} , r_{bc} və r_{ca} belə ifadə olunur:

$$\left. \begin{aligned} r_{ab} &= r_a + r_b + \frac{r_a \cdot r_b}{r_c} \\ r_{bc} &= r_b + r_c + \frac{r_b \cdot r_c}{r_a} \\ r_{ca} &= r_c + r_a + \frac{r_c \cdot r_a}{r_b} \end{aligned} \right\}$$

Qeyd etmək lazımdır ki, bu çevrilmələr yalnız passiv üçbucaq və ulduz hallarında aparıla bilər.

Elektrik cərəyanının istilik təsiri və məfillərin qızması.

Elektrik cərəyanının istilik təsiri naqillərdən keçiricilik cərəyanı və dielektriklərdən yerdəyişmə cərəyanı keçdikdə onların qızması ilə izah olunur.

Elektrik cərəyanının istilik təsirindən texnikada geniş istifadə edilir. Bir çox hallarda cərəyanın istilik təsiri ziyanlıdır. Məsələn, elektrik maşınlarında və elektrik veriliş xətlərində elektrik cərəyanının ayırdığı istilik faydasız enerji itkisindən ibarətdir. İstiliyin ayrılması nəticəsində məfildin temperaturu onun izolyasiyası üçün qorxulu olan həddə qədər arta bilər.

Üzvi elektrik izolyasiya materialları 110°C , rezin isə 55°C temperatura qədər qızmaya davamlıdır. Daha yüksək temperaturda izolyasiya tez dağılıb işdən çıxır.

Göstərilən temperaturda istilik ətraf mühitə (havaya) konveksiya yolu ilə ötürülür. Çılpaq məfildin bir saniyədə verdiyi istilik Q soyuma səthi F və τ temperatur artımı (yəni, məfildə havanın temperatur fərqi) ilə mütənəsbdir:

$$Q = \alpha F \tau = 10 \alpha \pi d l \tau \quad [Vt] \quad (11.8)$$

burada α - istilikvermə əmsalı, Vt/sm^2 -dər; d – məfildin diametri, mm; l – məfildin uzunluğu, m.

Elektrik cərəyanının bir saniyədə ayırdığı istilik:

$$Q = I^2 r = \delta^2 S^2 \rho \frac{\ell}{S} = \delta^2 \rho \ell \frac{\pi d^2}{4} \quad (11.9)$$

burada $\delta = \frac{\ell}{S}$ - cərəyanın sıxlığı, A/mm^2 ; S – məfildin en kəsiyi

sahəsi, mm^2 ; ρ - məfildin xüsusi elektrik müqaviməti, $\Omega \cdot mm^2/m$.

Qərarlaşmış temperaturda (istilik müvazinəti halında) hər iki istilik bir-birinə bərabər olmalıdır:

$$10\alpha\pi d l \tau = \delta^2 \rho \ell \frac{\pi d^2}{4} \quad (11.10)$$

buradan

$$\delta = \sqrt{\frac{40\alpha\tau}{\rho d}} \quad (11.11)$$

Alınmış düsturdan göründüyü kimi, buraxılan sərhəd temperaturunun verilmiş qiymətində qalın məftillərdə naziklərə nisbətən kiçik cərəyan sıxlığına yol verilməlidir. Xüsusi müqavimətləri ρ böyük olan alüminium və dəmir məftillərdə misə nisbətən kiçik cərəyan sıxlığına yol verilir.

İzolyasiyalı məftillər üçün oxşar istilik balansı tənliyini tərtib etdikdə izolyasiya təbəqəsinin istilik müqavimətini də nəzərə almaq lazımdır.

Təcrübədə hesabat üçün hazır cədvəllərdən istifadə olunur. Bu cədvəllər nəzəri və təcrübi tədqiqatlar nəticəsində tərtib və təsdiq edilmiş norma kimi «Elektrik qurğularının quruluşu qaydaları»nda verilir. Cədvəllər izolyasiyalı və çılpaq məftillər üçün buraxılan uzunmüddətli yüklərin qiymətlərini göstərir.

Texnikada elektrik cərəyanının istilik təsirindən istifadə edilməsi. Közərmə lampasının, elektrik peçlərinin və başqa qızdırıcı qurğuların iş prinsipi elektrik cərəyanının istilik təsirinə əsaslanmışdır.

Elektrik cərəyanının istilik təsirindən təcrübədə istifadə edilməsi imkanını birinci dəfə akademik V.V.Petrov 1802-ci ildə elektrik qövsünü kəşf etdikdən sonra irəli sürmüşdür.

Elektriklə qızdırılmanın geniş yayılmasına səbəb onun aşağıdakı üstünlükləridir:

1. Elektriklə qızdırılma ilə 3000°C-yə qədər istənilən temperaturu almaq olar; başqa üsullarla bunu əldə etmək mümkün deyil.

2. Elektriklə qızdırılan qurğunun temperatur rejimini geniş həddə asan tənzim etmək olar.

3. Elektriklə qızdırılan quruluşlarda bütün işçi həcmdə (səthdə) müntəzəm temperatur, həmçinin onun bəzi hissələrində artırılmış temperatur yaratmaq olar.

4. Elektriklə qızdırılan qurğular həmişə işləməyə hazırdır, yığıcamdır, təmizdir və ona xidmət etmək asandır.

İndiki zamanda elektrikle qızdırılmanın aşağıdakı növləri tətbiq edilir: müqavimətlə, elektrik qövsü ilə, induksion, elektrolitik və dielektriki. Bunlardan ən geniş yayılanı müqavimətlə və elektrik qövsü ilə qızdırılmalıdır.

Elektriklə qızdırılmadan metalların elektrik qaynağında geniş istifadə edilir. Elektrik qaynağı kontaktlı və qövslü olur.

Elektrik qurğularının istilik mühafizəsi. Elektrik dövrəsinin ayrı-ayrı elementlərini qısaqapanma cərəyanlarının təsirindən mühafizə etməkdən ötrü qısaqapanmış dövrə hissəsini mənbədən tez açmaq lazımdır. Bu məqsədlə xüsusi mühafizə quruluşlarından istifadə olunur. Bunlardan ən sadəsi əriyən qoruyuculardır.

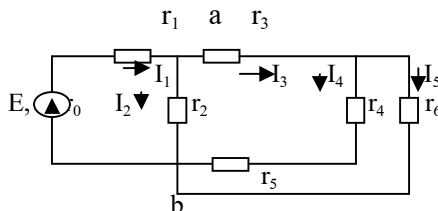
Qoruyucunun əsas elementi əriyən metal teldir (çox vaxt mis məftil) və o, mühafizə edilən dövrəyə ardıcıl bağlanır (şək. 11.4). Həmin tel qısaqapanma cərəyanının istilik təsirindən əriyir və elektrik dövrəsini qırır. Qısaqapanmanın səbəbi ləğv edildikdən sonra ərimiş tel dəyişdirilir və qurğunun normal iş rejimi bərpa olunur.

Sadə və mürekkəb sabit cərəyan dövrələrinə aid sərbəst işlər üçün məsələlərin həlli metodikası

Məsələ 1.1 S.

Şəkil 1.1S-də göstərilmiş və məlum qiymətlərə əsasən dövrənin ekvivalent (giriş) müqavimətini sabit cərəyan mənbəyinin sıxaclarına nəzərən təyin etməli. Dövrənin güclər balansını tərtib etməklə cərəyanları və gərginlik düşgünlərini hesablamalı.

Verilir: $E=100$ V, $r_0=0,2$ Om, $r_1=3$ Om, $r_2=4$ Om, $r_3=5$ Om, $r_4=8$ Om, $r_5=6$ Om, $r_6=10$ Om



Şəkil 11.1S. Qarışıq birləşmiş sxemdə ekvivalent müqavimətin tapılması

Həlli:

1) Dövrənin ekvivalent müqavimsətini təyin edək. Bunun üçün müqavimətlərin ardıcıl və paralel birləşmələrinə uyğun düsturlardan istifadə edirik

$$r_{4,5} = r_4 + r_5 = 8 + 6 = 14 \text{ Om}$$

$$r_{4,5,6} = \frac{r_{4,5} \cdot r_6}{r_{4,5} + r_6} = \frac{14 \cdot 10}{14 + 10} = \frac{140}{24} = 5,84 \text{ Om}$$

$$r_{3,4,5,6} = r_3 + r_{4,5,6} = 5 + 5,84 = 10,84 \text{ Om}$$

$$r_{ab} = \frac{r_{3,4,5,6} \cdot r_2}{r_{3,4,5,6} + r_2} = \frac{10,84 \cdot 4}{10,84 + 4} = \frac{43,36}{14,84} = 2,922 \text{ Om}$$

$$r_{ekv} = r_{gir}$$

$$r_{ekv} = r_0 + r_1 + r_{ab} = 0,2 + 3 + 2,912 = 6,122 \text{ Om}$$

2) Ayrı-ayrı budaqlardan keçən cərəyanları təyin edək.
Bunun üçün əvvəlcə gərginlikləri təyin edək

$$I_1 = \frac{E}{r_0 + r'} = \frac{100}{0,2 + r_1 + r_{ab}} = \frac{100}{0,2 + 3 + 2,922} = \frac{100}{6,122} = 16,334 \text{ A}$$

$$U_1 = r_1 I_1 = 3 \cdot 16,334 = 49,002 \text{ V}$$

$$U_0 = E - r' I_1 = 100 - (r_1 + r_{ab}) I_1 = 100 - 5,922 \cdot 16,334 = \\ = 100 - 96,73 = 3,27 \text{ V}$$

və ya

$$U_0 = r_0 I_1 = 0,2 \cdot 16,334 = 3,2668 \text{ V} \approx 3,27 \text{ V}$$

$$U_{ab} = r_{ab} \cdot I_1 = 2,922 \cdot 16,334 = 47,73 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{r_2} = \frac{47,73}{4} = 11,933 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{r_{3,4,5,6}} = \frac{47,73}{10,84} = 4,403 \text{ A}$$

Kirxhofun 1-ci qanununa əsasən

$$I_1 = I_2 + I_3 = 11,933 + 4,403 = 16,336 \text{ A} \\ 16,334 \text{ A} \approx 16,336 \text{ A}$$

$$U_3 = r_3 I_3 = 5 \cdot 4,403 = 22,015 \text{ V}$$

$$U_{sb} = r_{sb} \cdot I_3 = r_{4,5,6} \cdot I_3 = 5,84 \cdot 4,403 = 25,714 \text{ V}$$

Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən

$$U_{ab} = U_3 + U_{sb} = 22,015 + 25,714 = 47,729 \text{ V}$$

$$47,73 \text{ V} = 47,729 \text{ V}$$

burada $U_{sb}=U_6$ olduğundan

$$I_5 = \frac{U_{sb}}{r_6} = \frac{U_6}{r_6} = \frac{25,714}{10} = 2,5714 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_{sb}}{r_{4,5}} = \frac{25,714}{14} = 1,837 \text{ A}$$

$$I_3 = I_4 + I_5 = 1,837 + 2,5714 = 4,4084 \text{ A}$$

$$4,403 \text{ A} \approx 4,4084 \text{ A}$$

$$U_4 = r_4 \cdot I_4 = 8 \cdot 1,837 = 14,696 \text{ V}$$

$$U_5 = r_5 \cdot I_4 = 6 \cdot 1,837 = 11,022 \text{ V}$$

Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən

$$U_{sb} = U_4 + U_5 = 14,696 + 11,022 = 25,718 \text{ V}$$

$$25,714 \text{ V} \approx 25,718 \text{ V}$$

3) Dövrənin güclər balansını tərtib edək:

$$EI_1 = r_0 I_1^2 + r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2 + r_3 I_3^2 + r_4 I_4^2 + r_5 I_5^2 + r_6 I_6^2$$

burada

$$I_5=I_4=1,837 \text{ A}; \quad I_6=I_5=2,5714 \text{ A}$$

Onda

$$100 \cdot 16,336 = 0,2(16,336)^2 + 3(16,336)^2 + 4(11,933)^2 +$$

$$+ 5(4,403)^2 + 8(1,837)^2 + 6(1,837)^2 + 10(2,5714)^2$$

$$1633,6 \text{ Vt} = 53,373 + 800,595 + 569,586 + 96,932 +$$

$$+ 26,997 + 20,247 + 66,121$$

$$1633,6 \text{ Vt} \approx 1633,851 \text{ Vt}$$

Sabit cərəyan elektrik dövrələrinə aid sərbəst işlər

1. Elektrik veriliş xətti gərginliyinin qiyməti xəttədəki itgilərə necə təsir edir.

2. Dövrə elementlərinin nominal və əlaqələndirilmiş iş rejimləri nə ilə fərqlənilir.

3. Qısaqapanma rejiminin nə kimi təhlükəsi vardır və bu rejimdən dövrəni necə mühafizə edirlər?

4. 11.8-ci şəkildə sxemi verilmiş dövrənin parametrləri belədir: $r_1=12\text{Om}$, $r_2=6\text{Om}$, $r_3=3\text{Om}$, $r_4=4\text{Om}$, $r_5=12\text{Om}$. r_3 müqavimətinə axan cərəyan $I_3=2$ A. Tapmaq lazımdır: 1) dövrənin bütün budaqlarından axan cərəyanları; 2) dövrənin girişindəki U gərginliyi; 3) A və C nöqtələri arasındakı U_{AC} potensiallar fərqi.

5. Əvvəlki məsələni I_3 əvəzinə $U_{AB}=12$ V verilməsi halı üçün həll etməli.

6. Paralel müqavimətlərdən axan cərəyanların müqavimətlərin qiymətləri ilə tərs mütənasib paylandığını isbat edin.

7. 110 V gərginliyi hesablanmış 75 və 15 Vatt güclü iki közərmə lampası ardıcıl birləşdirilib. 220 V gərginlikli şəbəkəyə qoşmaq olarmı? Cavabı hesablamaqla ilə əsaslandırmaq (lanpanın müqavimətlərinin sabit olduğunu qəbul etməli).

8. 220 V-luq 75 və 15 Vatt güclü isə közərmə lampalarını bir açarla 220 V şəbəkəyə hansı sxem üzrə qoşmaq olarki açar açıq olduqda lampalardan biri bağlı olduqda isə digəri közərib işıq versin? Cavabı hesablamaqla ilə əsaslandırmaq (lampaların müqavimətləri sabit qəbul edilir).

9. Nominal gərginliyi 220 V və nominal gücü 800 Vatt olan elektrik pilyotəsi 110 V gərginlikli şəbəkəyə qoşulmuşdur. Pilyotənin tələb etdiyi gücü tapmaq (pilyotənin müqaviməti sabit qəbul edilməli).

10. E.h.q $E = 11$ V, daxili müqaviməti $r_g = 2$ Om olan generatorun sıxaclarına $r_{yük}$ yük müqaviməti qoşulmuşdur. Yük müqavimətinin 11 Om-dan 0-a qədər dəyişməsi üçün dövrənin I cərəyanı, mənbənin sıxaclarında U gərginliyinin, yükün tələb etdiyi

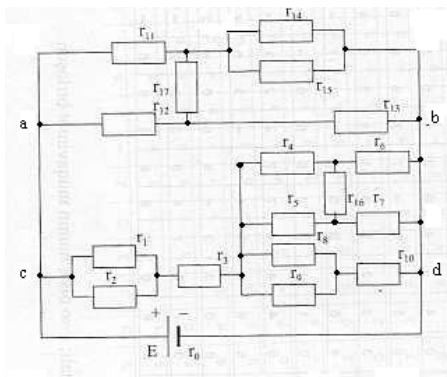
$P_{yük}$ gücünün, mənbənin f.i.ə-nı tapmaq və bu kəmiyyətlərin $\frac{r_{yük}}{r_g}$

nisbətindən asılılıq qrafiklərini qurmaq. $\frac{r_{yük}}{r_g} = 1$ olduqda dövrənin

hansı rejimi yaranır?

11. Şəkil 11.2S.-də təsvir olunmuş elektrik dövrəsi üçün əlavə 1-də (cədvəl 1.1s, səh.308) verilmiş müqavimət və e.h.q.-nin qiymətlərinə əsasən dövrənin qida mənbəyinin sıxaclarına nəzərən ekvivalent müqavimətini, dövrənin bütün budaqlarındakı cərəyan və

gərginlik düşgünlərini təyin etməli. Verilmiş sxem üçün güclər balansını tərtib etməli.



Şəkil 11.2S.

Fəsil XII

ELEKTROMAQNİT HADİSƏLƏRİ. MAQNİT DÖVRƏLƏRİ

12.1. Maqnit sahəsinin elektromexaniki təsiri və maqnit sahəsinə xarakterizə edən əsas kəmiyyətlər

Fizika kursundan məlumdur ki, elektrik cərəyanını əhatə edən mühitdə maqnit sahəsi əmələ gəlir. Maqnit sahəsi burada yaranan hadisələrin müşahidə edilməsi ilə aşkar olunur.

Maqnit sahəsinə xarakterizə edən əsas kəmiyyət maqnit induksiya vektorudur ($\vec{B}$). Maqnit induksiya maqnit sahəsinin elektrotexniki və induksion təsirlərini xarakterizə edir.

Maqnit induksiya vektorunu $\vec{B}$ təyin etmək üçün maqnit sahəsinin elektrotexniki təsirindən istifadə etmək daha rahatdır. Amper qanununa görə maqnit sahəsində yerləşdirilmiş cərəyanlı məftilə (şəkil 12.1) təsir edən qüvvə belə ifadə olunur:

$$F = BIl \sin \alpha \quad (12.1)$$

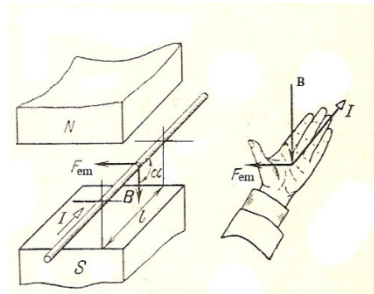
burada B – maqnit induksiya; I – məftilin cərəyanı, A ; l – məftilin aktiv uzunluğu, m ; α – məftillə sahənin istiqamətləri arasındakı bucaqdır.

Bu halda F qüvvəsinin istiqaməti şəkil 12.1-də göstərildiyi kimi sol əl qaydası ilə təyin edirlər. (12.1) ifadəsindən maqnit induksiya

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha} \quad (12.2)$$

$$I=1A, l=1m, \alpha=90^\circ$$

olsa $B=F$ alınar.



Şəkil 12.1. Maqnit sahəsinin elektromexaniki təsiri. Sol əl qaydası

Deməli, maqnit induksiya, sahəyə perpendikulyar istiqamətdə yerləşdirilmiş vahid uzunluqlu və vahid cərəyanlı düz məftilə sahənin təsir göstərdiyi qüvvə ilə təyin edilir.

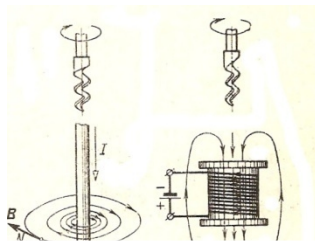
Maqnit induksiyaının vahidi BS sistemində **Tesladır** ($T /$). Mühəndis hesablamalarında **Qaus** adlanan vahiddən də istifadə edilir:

$$1T / = 10^4 Qs$$

Maqnit sahəsinə qrafiki təsvir etmək üçün maqnit **induksiya xətlərindən** və yaxud sadəcə olaraq, **maqnit xətlərindən** istifadə

edilir. Bu xətlərin istənilən nöqtəsində induksiya vektoru $\vec{B}$ onlara toxunandır. Maqnit xətləri həmişə qapalı konturlar təşkil edir və bir-biri ilə heç vaxt kəsişmir. Düz xətti cərəyanlı naqilin və cərəyanlı sarğacın maqnit sahələrinin istiqamətləri, onları yaradan cərəyanlarla sağ gedişli burğu qaydası üzrə bağlıdır (şəkil 12.2)

Maqnit sahəsinin ikinci əsas kəmiyyəti maqnit selidir (Φ). Qeyri-müntəzəm maqnit sahəsində maqnit induksiya vektorunun elementar sahədən (şəkil 12.3) seli



Şəkil 12.2. Düz xətti naqilin və sarğacın maqnit sahəsi. Burğu qaydası

$$d\Phi = \vec{B} d\vec{s} = B \cos \alpha ds, \quad (12.3)$$

burada α - $\vec{B}$ vektoru ilə $d\vec{S}$ səthinin normalı $\vec{N}$ arasındakı bucaqdır.

S-səthindən keçən maqnit seli Φ ifadəsi ilə təyin edilir:

$$\Phi = \int_S d\phi = \int_S B \cos \alpha ds \quad (12.4)$$

Əgər maqnit seli müntəzəm ($B = \text{const}$) və səth müstəvidirsə, maqnit seli:

$$\Phi = B S \cos \alpha \quad (12.5)$$

Sahə (S) maqnit selinə perpendikulyar və $\alpha = 0$ isə

$$\Phi = BS \quad (12.5a)$$

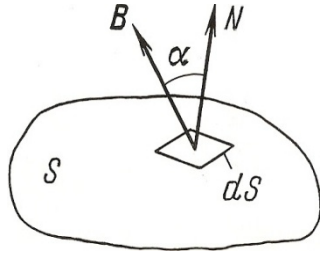
olar. Maqnit selinin vahidi **Veberdir**.

$$1 \text{ Vb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$$

Mühəndis hesabalamalarında maqnit selini Maksvelle (Mks) də ölçürlər:

$$1 \text{ Vb} = 10^{-8} \text{ Mks}$$

Maqnit sahələrini tədqiq etdikdə və maqnit quruluşlarını hesabladıqda hesabat kəmiyyəti olan maqnit sahəsinin intensivliyi vektorunda $\vec{H}$ istifadə edilir. Bu kəmiyyətin vahidi Amper/metr (**A/m**)-dir.



Şəkil 12.3 Maqnit selinin təyini

Maqnit induksiyası vektoru $\vec{B}$ ilə maqnit sahəsinin intensivliyi vektoru aşağıdakı münasibətdədir:

$$\vec{B} = \mu_m \vec{H} \quad (12.6)$$

burada μ_m – mühitin mütləq maqnit nüfuzluğudur.

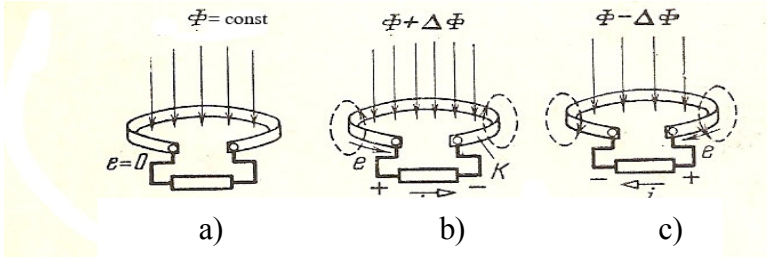
Qeyri-ferromaqnit materialların (ağac, kağız, mis, hava və s.) maqnit nüfuz əmsalı boşluğun maqnit nüfuz əmsalından, demək olar ki, fərqlənmir:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Hn/m}$$

Ferromaqnit materiallar üçün μ_m sabit olmayıb, maqnit induksiyasından asılıdır.

12.2. Maqnit sahəsinin induksion təsiri. Elektromaqnit induksiya qanunu

Maqnit sahəsinin induksion təsirinin əsasını Faradey və Maksvellin elektromaqnit induksiya qanunu təşkil edir. Faradeyin 1831-ci ildə kəşf etdiyi elektromaqnit induksiya qanununa görə hər hansı konturla (**K**) əlaqədər olan (şəkil 12.4) maqnit seli Φ dəyişdikdə həmin konturda elektrik hərəkət qüvvəsi induksiyanır (yaranır).



Şəkil 12.4 Lensin elektromaqnit ətalət prinsipinin izahı

Bu e.h.q maqnit selinin dəyişmə sürətinə bərabərdir, yəni:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \quad (12.7)$$

Kontur ω sayda sarğıdan ibarət olsa və eyni bir maqnit seli ilə kəsilsə, induksiya e.h.q belə olar:

$$e = -\omega \frac{d\phi}{dt} \quad (12.8)$$

Bu ifadədəki mənfi işarəsi Lens tərəfindən kəşf edilmiş **elektromaqnit ətalət prinsipinə** əsasən yazılmışdır.

Elektromaqnit ətalət prinsipinin izahı şəkil 12.4-də verilmişdir. Maqnit selinin sabit qiymətində ($\Phi = \text{const}$) $d\phi/dt = 0$ və $e = 0$ (şəkil 12.4,a). Maqnit seli Φ artdıqda induksiyanmış cərəyan əsas maqnit selinin əksinə yönəlmiş öz maqnit selini yaradır (şəkil 12.4,b). Maqnit seli Φ azaldıqda (şəkil 12.4,b) induksiyanmış cərəyanın yaratdığı sel əsas sellə eyni istiqamətdə olur.

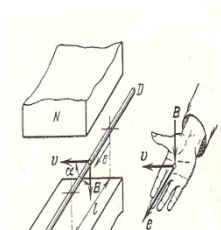
Maqnit sahəsinin elektromexaniki təsirini verilmiş şəkillərdə göstərsək, görürük ki, maqnit seli artdıqda kontura təsir edən elektromexaniki qüvvələr (istiqaməti sol əl qaydası ilə tapılır) konturun yığılmasına, maqnit seli azaldıqda isə böyüməsinə səbəb olur. Buradan Lensin elektromaqnit ətalət prinsipinin fiziki mahiyyəti aşkar olur: **hər hansı elektrik konturu ondan keçən maqnit selini sabit saxlamağa çalışır.**

Müntəzəm maqnit sahəsində maqnit xətlərini kəsərək hərəkət edən düzxətli naqildə (şəkil 12.5) induksiyanmış e.h.q belə ifadə edilir:

$$e = B l v \sin \alpha \quad (12.9)$$

burada e - induksiyanmış e.h.q, V ; B - maqnit induksiya, T ; l - naqilin maqnit xətlərini kəsən aktiv hissəsi, m ; v - sahəyə nəzərən naqilin hərəkət sürəti, m/san ; α - sürət vektoru ilə induksiya vektoru arasındakı bucaqdır.

İnduksiyanmış e.h.q-nın istiqamətini bu halda Lensen prinsipinə əsaslanmış **sağ əl qaydası** ilə təyin etmək lazımdır.



Şəkil 12.5 Maqnit sahəsində hərəkət edən naqildə e.h.q-nın yaranması. Sağ əl qaydası

12.3. Elektrik generatorunun və mühərrikinin iş prinsipi

Elektrik maşınlarının (generatorların və mühərriklərin) iş prinsipi elektromaqnit induksiya və elektromaqnit qüvvələr qanununa əsaslanmışdır.

Naqilin mühərrik rejimində işləməsinə baxaq (şəkil 12.6). Əgər müntəzəm maqnit sahəsində yerləşdirilmiş naqilə kənardan U gərginliyi tətbiq etsək, naqildən I cərəyanı keçəcəkdir. Yaranmış elektromaqnit qüvvənin $F_{em} = BIl$ təsirindən naqil hərəkət edəcək və bu zaman onda e.h.q induksiyanacaq. Bu e.h.q əks-e.h.q adlanır. Əks-e.h.q-nın təsirindən naqilin hərəkəti müntəzəmləşəcək ($F_{em} = F_{mex}$ olacaq) və naqildən axan cərəyan belə ifadə olunacaq:

$$I = \frac{U - E}{r}$$

burada r – naqilin müqavimətidir.

Alınmış tənlikdən tapa bilərik ki:

$$U = Ir + E \quad (12.10)$$

Hər iki tərəfi I -yə vursaq, alarıq:

$$IU = I^2 r + IE \quad (12.11)$$

Əks-e.h.q –nın qiyməti $E = B l \vartheta$ olduğuna görə və yaxud

$$IU = I^2 r + IB l \vartheta \quad (12.12)$$

$$IU = I^2 r + F_{em} \vartheta$$

olur, çünki $B l$, F_{em} qüvvəsini ifadə edir.

(12.12) tənliyinə əsasən sabit cərəyan mənbəyindən verilən güc $IU = P_{el}$ istilik itgilərinin gücü $I^2 r = P$ ilə mexaniki gücün $P_{mex} = F_{em} \cdot \vartheta$ s cəminə bərabərdir. Mexaniki güc hərəkət edən naqili yaradır:

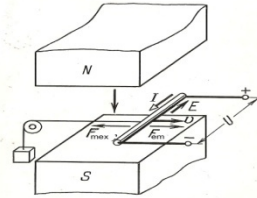
$$P_{em} = P + P_{mex} \quad (12.13)$$

(12.11) və (12.13) ifadələrinin müqaisəsindən görünür ki, hərəkət edən naqilin mexaniki gücü onda induksiyanmış əks-e.h.q ilə mütənəsibdir:

$$P_{mex} = F_{em} \cdot \vartheta = El \quad (12.14)$$

Axırıncı ifadə elektrik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi prosesində əks-e.h.q-nın əhəmiyyətini göstərir.

İndi isə naqilin generator rejimində işləməsinə baxaq (şəkil 12.7). Müqaviməti r olan və müntəzəm maqnit sahəsində sabit sürətlə hərəkət edən naqilin uclarına r_y müqavimətli yük qoşsaq, elektromaqnit



Şəkil 12.6 Elementar elektrik mühərrikinin sxemi

induksiya qanununa görə naqildə induksiyalanmış e.h.q belə dövrdə I cərəyanını yaradacaq.

Kirxhofun ikinci qanunu-na görə yazmaq olar:

$$E = Ir_y + Ir = U + Ir \quad (12.15)$$

Hər tərəfi I -yə vursaq, alarıq:

$$IE = IU + I^2r \quad (12.16)$$

E.h.q-nin ifadəsini $E = B l v$ yerinə yazsaq:

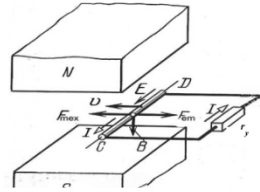
$$B l v = UI + I^2r \quad (12.17)$$

$B l v = F_{em}$ maqnit sahəsinin naqilə təsir etdiyi qüvvədir və bu qüvvə öz növbəsində F_{mex} mexaniki qüvvə ilə müvazinətləşdiyinə görə alır. q.

$$EI = F_{em} \cdot \vartheta = F_{mex} \cdot \vartheta \quad (12.18)$$

(12.18) tənliyindən görünür ki, kənardan naqili hərəkətə gətirmək üçün verilən güc ($P_{mex} = F_{mex} \cdot \vartheta$) generatorun yaratdığı elektrik gücünə çevrilir. ($P_{gen} = EI$); bu gücün bir hissəsi r müqavimətində istiliyə ($P = I^2r$) çevrilir, qalan hissəsi isə ($P_{el} = UI$) işlədiciyə sərf olunur:

$$P_{mex} = P_{gen} = P_{el} + P \quad (12.19)$$



Şəkil 12.7. Elementar elektrik generatorunun sxemi

12.4. Maqnit dövrləri

Elektrik maşınları və aparatlarında maqnit sahələri çox vaxt elektromaqnitlərlə, tək-tək hallarda sabit maqnitlərlə yaradılır.

Elektromaqnit, ferromaqnit nüvəli maqnitləşdirici cərəyanlı sarğacdən ibarətdir. Sabit maqnit hazırlamağın mürəkkəbliyi, bəhə başa gəlməsi və maqnit sahəsini tənzimləməyin çətinliyi elektromaqnitlərin geniş yayılmasına səbəb olmuşdur.

Maqnit sahəsinin gücləndirilməsi və maqnit xətlərinin fəzanın müəyyən hissəsində toplanması üçün elektrik maşın və aparatlarını elə hazırlayırlar ki, maqnit seli əsasən ferromaqnit materiallarından keçsin.

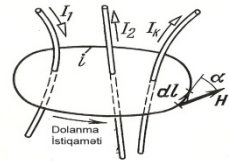
Maqnit selinin qapandığı bir neçə ferromaqnit (polad) və qeyri-ferromaqnit (hava) hissələrin vəhdətinə **maqnit dövrəsi** deyilir.

Tam cərəyan qanunu. Maqnit dövrlərinin hesabının əsasını tam cərəyan qanunu təşkil edir.

Tam cərəyan qanunu riyazi olaraq belə ifadə olunur (şəkil 12.8).

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \oint H \cos \alpha dl = \sum I_k \quad (12.20)$$

burada $\vec{H}$ - fəzanın verilmiş nöqtəsində maqnit sahəsinin intensivlik vektoru; $d\vec{l}$ - qapalı l konturunun uzunluq elementi; α - $\vec{H}$ və $d\vec{l}$ vektorları arasındakı bucaq; $\sum I$ - l konturundan keçən cərəyanların cəbri cəmidir.



Şəkil 12.8. Tam cərəyan qanunu

l konturundan keçən I_k cərəyanının işarəsi o vaxt müsbət olur ki, həmin cərəyanla konturu dolama istiqamətləri sağ gedişli burğu qaydasında olsun.

Maqnit dövrəsi üçün Om qanunu. Bir cinsli materialdan hazırlanmış qapalı üzükşəkilli (toroid) sadə maqnit sahəsinə baxaq (şəkil 12.9).

Maqnitləşdirici dolaq toroidin çevrəsi üzrə müntəzəm paylanmışdır. Üzüyün içərisində maqnit xətləri mərkəzi O nöqtəsində olan konsentrik çevrələrədən ibarətdir. Maqnit xətlərindən birini i_x qapalı kontur qəbul edib, onun üçün tam cərəyan qanununu tətbiq edək. Bu zaman $\vec{H}$ və $d\vec{l}$ vektorları istiqamətlərinin eyni ($\alpha=0$), konturun bütün nöqtələrində qurulmuş simmetriyaya görə H_x -in qiymətinin sabit və konturdan keçən cərəyanlar cəminin I_w -ə bərabər olduğunu nəzərə almaq lazımdır. Onda

$$\oint H_x \cos \alpha dl = H_x \oint dl = H_x l_x = I_w \quad (12.21)$$

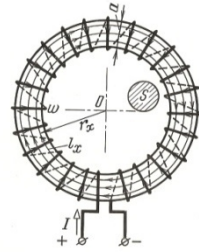
$$\oint H_x \cos \alpha dl = H_x \oint dl = H_x l_x = I_w \quad (12.22)$$

$$H_x = \frac{I_w}{l_x} = \frac{I_w}{2\pi r_x} \quad [A/m]$$

Bərabər paylanmış dolaqlı üzükvari maqnit keçricisinin maqnit sahəsi üzüyün daxilində toplanır. Üzükdən xaricdə maqnit sahəsi yoxdur ($H=0$).

Maqnit selini təyin edək. Bunun üçün maqnit sahə intensivliyinin orta qiymətindən istifadə edirik:

$$H_{or} = \frac{I_w}{l}$$



Şəkil 12.9 Toridal maqnit dövrəsi

burada l - orta maqnit xəttinin uzunluğudur, m.

$\Phi = \mathbf{B}_{or} \cdot \mathbf{S}$ və $\mathbf{B}_{or} = \mu_m \mathbf{H}_{or}$ ifadələrini nəzərə alsaq, tapırıq:

$$\Phi = \mathbf{B}_{or} \cdot \mathbf{S} = \mu_m \mathbf{H}_{or} \cdot \mathbf{S} \quad (12.23)$$

(12.22) ifadəsini nəzərə alsaq,

$$\Phi = \mu_m S \frac{I_w}{l} = \frac{I_w}{\frac{l}{\mu_m S}} = \frac{F}{R_m} \quad (12.24)$$

Bu ifadə **HOPKENSON** tərəfindən çıxarılmış və sonrandan elektrik dövrəsi üçün Om qanununun

$$I = \frac{E}{\frac{l}{\gamma S}} = \frac{E}{r}$$

ifadəsinə formal oxşaması səbəbindən Om qanunu adlandırılmışdır. Lakin fiziki proseslərin mahiyyətə fərqi isə çox dərinidir.

$F = I w$ kəmiyyətinə **maqnitləşdirici qüvvə**, $R = \frac{l}{\mu_m S}$ kəmiyyətinə isə maqnit keçicisinin **maqnit müqaviməti** deyilir.

Fəsil XIII

DƏYİŞƏN CƏRƏYAN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ

13.1. Əsas anlayışlar

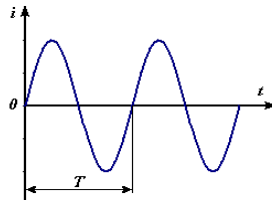
Müasir elektroenergetika sinusoidal dəyişən cərəyandan istifadə olunması üzərində qurulmuşdur. Elektrik enerjisi elektrik stansiyalarında yalnız üçfazlı sinusoidal dəyişən cərəyanda istehsal olunur. Tələbatçıların mütləq çoxluğu öz işi üçün sinusoidal dəyişən cərəyandan istifadə edir. Dəyişən cərəyandan belə geniş istifadə edilməsinin əsas səbəbi onun sadə elektromaqnit aparatla, yəni transformatorla transformasiya olunmasının mümkünlüyüdür. Bundan başqa periodik dəyişən cərəyanlar içərisində sinusoidal cərəyan ən sadəsidir. Sinusoidal cərəyan dövrlərinin hesabı nisbətən asandır. Sinusoidal kəmiyyətin zamana görə törəməsi sinusoidal kəmiyyətdir və bu səbəbdən də sinusoidal cərəyan dövrlərində xoşagəlməz kənar hadisələr baş vermir.

Dəyişən cərəyanı xarakterizə edən əsas kəmiyyətlərin təriflərinə baxaq.

Tezlik və period.

Dəyişən cərəyanın bir tam dəyişməsinə *dövr* deyilir. Bir dövrün davam etmə müddəti *period* (T) adlanır.

Bir saniyədəki periodların sayına (f) *tezlik* deyilir.



Şəkil 13.1. Dəyişən cərəyan qrafiki

Tezlik perioda tərs kəmiyyətdir (şəkil 13.1):

$$f = \frac{1}{T}.$$

Tezliyin ölçü vahidi **Hers (Hs)** adlanır:

$$1 \text{ Hs} = 1/\text{san}.$$

Cərəyanın periodu 1 san olarsa, onun tezliyi 1 Hs olar.

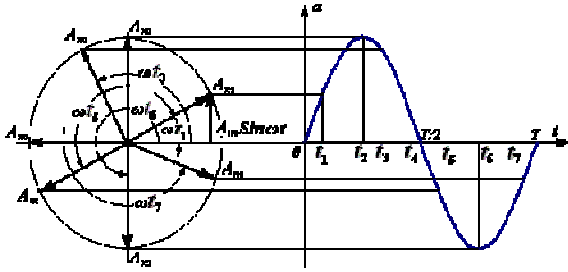
Postsovet və bir çox dünya ölkələrində sənaye cərəyanının tezliyi 50 Hs, ABŞ və Yaponiyada isə – 60 Hs qəbul edilmişdir.

Sənayedə xüsusi məqsədlər üçün müxtəlif tezlikli, 500 Hs-dən 50 MHs-ə qədər, cərəyanlardan istifadə olunur.

Sinusoidal kəmiyyətin bucaq tezliyi, fazı, başlanğıc fazı, ani və maksimal qiymətləri. Sinusoidal kəmiyyətin dəyişməsi qrafiki olaraq sinusodlə təsvir edilir. Sinusoidal əyrini qurmaq üçün uzunluğu seçilmiş miqyasda sinusoidal kəmiyyətin maksimal qiymətinə bərabər fırlanan vektor götürürük. Vektor $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ sabit bucaq sürətilə saat əqrəbinin əksi istiqamətində fırlanır. ω -nın ifadəsinə dəyişən cərəyanın tezliyi daxil olduğuna görə vektorun bucaq sürətinə cərəyanın ***bucaq tezliyi*** deyilir.

Vektorun üfüqi vəziyyətini, zamanın hesablanmağa başladığı $t = 0$ anı üçün, onun çıxış vəziyyəti kimi qəbul edirik. Hesablama başladıqdan t_1 müddət keçdikdə A_m vektoru ωt_1 bucağı qədər dönər (şəkil 13.2). Yeni vəziyyətdə olan vektorun şaquli ox üzərindəki proyeksiyası $A_m \sin \omega t_1$ olar. İxtiyari t zaman anı üçün $A_m \sin \omega t$ ifadəsi sinusoidal kəmiyyətin bu andakı ani qiymətini təyin edir.

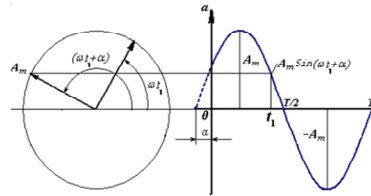
Fırlanan vektorun ucunun çekdiyi çevrənin yanında düzbucaqlı koordinat sisteminə $a = A_m \sin \omega t$ asılılığının əyrisi qurulmuşdur. Şəkil 13.2-dən göründüyü kimi fırlanan vektorun bir tam dövrü sinusoidal kəmiyyətin tam dəyişməsinin bir perioduna uyğundur. Bir period ərzində sinusoidal kəmiyyət iki dəfə *maksimal qiymət* alır (A_m).



Şəkil 13.2 Sinusoidal kəmiyyətin
ixtiyarı anı qiymətinin təytini

Əgər $t=0$ başlanğıc anında vektor üfüqi oxla hər hansı α bucağı təşkil edirsə, onda sinusoidal kəmiyyət hesablama başlanan anda sıfıra bərabər olmaz, $A_m \sin \alpha$ – a bərabər olar. α bucağı başlanğıc bucaq və ya *başlanğıc fəz* adlanır. $(\omega t + \alpha)$ ifadəsinə sinusoidal kəmiyyətin *fəzi* deyilir.

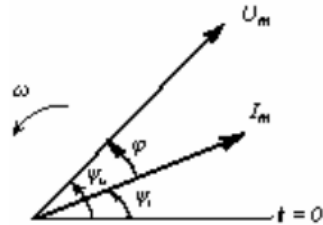
Yuxarıda izahatdan aydın olur ki, $a = A_m \sin \omega t$ sinusoidal kəmiyyəti sabit bucaq sürətilə fırlanan vektorla təsvir etmək olar. Bu zaman vektorun uzun-



Şəkil 13.3. Sinusoidal kəmiyyətin
maksimal qiyməti

luğu seçilmiş miqyasda kəmiyyətin maksimal qiymətini (amplitudunu), şaquli ox üzərindəki proyeksiyası isə sinusoidal kəmiyyətin ani qiymətini verir. Vektorla üfüqi oxun müsbət istiqaməti arasındakı bucaq sinusoidal kəmiyyətin başlanğıc fazını təyin edir. Sinusoidal kəmiyyəti təsvir edən vektora sinusoidal kəmiyyətin **vektor diaqramı** deyilir. Sinusoidal kəmiyyətin düzbucaqlı koordinat sistemindəki əyrisinə bəzən sinusoidal kəmiyyətin **dalğa diaqramı** deyilir.

Faz sürüşməsi. Eyni dövrəyə aid olan gərginlik u və cərəyan i sıfır və maksimal qiymətlərindən eyni anda keçmirsə, onlar fazca birbirinə nəzərən sürüşmüşdür. Fazların bu sürüşməsi sinusoidal gərginlik və cərəyanın başlanğıc fazlarının fərqinə bərabərdir (şəkil 13.4).



Şəkil 13.4 Sinusoidal kəmiyyətin faz sürüşməsi

Baxılan hal üçün yazı bilərik:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) ,$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) ,$$

$$\phi = \psi_u - \psi_i .$$

Şəkil 13.4-dən görünür ki, gərginlik cərəyandən fazca bucağı qədər irəlidedir. Əgər $\phi=0$ olarsa, gərginlik və cərəyan fazca üst-üstə düşür, $\phi=\pm \pi$ olduqda isə – fazca əksdirlər.

ϕ bucağına gərginlik və cərəyan arasında **fazlar fərqi** deyilir.

Sinusoidal kəmiyyətin təsiredici qiyməti.

Elektrotexnikada dəyişən cərəyanı xarakterizə edən əsas kəmiyyət onun *təsiredici qiymətidir*.

Dəyişən cərəyanın təsiredici və yaxud effektiv qiyməti onun istilik təsirini sabit cərəyanın istilik təsiri ilə müqayisə etməklə təyin edilir. Cərəyanın təsiredici qiymətini tapmaq üçün Coul-Lens qanununu tətbiq edib alırıq ki, o, cərəyanın ortakvadratik qiymətinə bərabərdir, yəni:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}.$$

Sinusoidal cərəyan $i = I_m \sin \omega t$ üçün təsiredici qiymət onun amplitud qiyməti ilə sadəcə ifadə olunur:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Coul-Lens qanununu aşağıdakı şəkildə yazaraq gərginliyin də istilik təsirindən danışmaq olar:

$$Q_{\text{ist}} = \int_0^T u^2 g dt = U^2 g t,$$

burada g – dövrənin keçiriciliyidir.

Beləliklə tapırıq ki,

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

E.h.q.-nin təsiredici qiyməti üçün oxşar ifadə alırıq:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}.$$

Təsiredici qiymət dəyişən cərəyanın əsas xarakteristikası kimi ona görə seçilmişdir ki, cərəyanın təsiri, çox halda, cərəyanın kvadratı ilə mütənasibdir, məsələn, cərəyanın istilik və cərəyanlı naqillərin mexaniki təsirləri. Buna görə də bir sıra sistemli elektrik cihazlar həm sabit, həm də dəyişən cərəyanlar üçün yararır. Dəyişən cərəyan dövrələrində onlar kəmiyyətlərin təsiredici qiymətlərini göstərir.

Təsiredici qiymətlər böyük hərflərlə indeksiz işarə edilir.

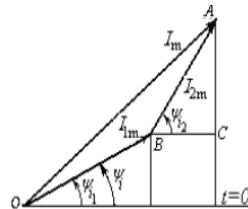
Sinusoidal kəmiyyətin orta qiyməti. Sinusoidal kəmiyyət və həm də əyrisi zaman oxuna simmetrik olan istənilən periodik dəyişən kəmiyyətin tam period ərzində orta qiyməti sıfıra bərabərdir, çünki müsbət və mənfi yarımdalğaların sahələri qiymətcə bərabər, işarəcə əksdirlər. Ona görə də belə kəmiyyətlərin orta qiymətini müsbət yarımpериод üçün təyin edirlər. Məsələn, sinusoidal cərəyan üçün:

$$I_{or} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m.$$

Gərginlik və e.h.q. üçün də oxşar ifadələr alırıq:

$$U_{or} = \frac{2}{\pi} U_m, \quad E_{or} = \frac{2}{\pi} E_m.$$

Sinusoidal cərəyan dövrlərinin analizində vektor diaqramından istifadə edilməsi. Sinusoidal cərəyan dövrlərini analiz edərkən kəmiyyətlər üzərində cəbri əməllər (toplama və



Şəkil 13.5. Eyni fazaları olan iki cərəyanın cəmi

çıxma) icra etmək lazım olur. Eyni tezlikli sinusoidal kəmiyyətlərin cəbri toplanması və çıxılması bunları təsvir edən vektorların həndəsi toplanması və çıxılmasına uyğun gəlir. Bu, kəmiyyətlərin vektor diaqramını qurmaqla sinusoidal cərəyan dövrlərinin hesabını sadələşdirməyə və onu əyani etməyə imkan yaradır. Tutaq ki, fazları eyni olmayan iki i_1 və i_2 cərəyanlarının cəminə bərabər olan i cərəyanını tapmaq lazımdır (şəkil 13.5):

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1),$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \psi_2).$$

i cərəyanının ani qiyməti:

$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{2m} \sin(\omega t + \psi_2) = \\ &= (I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2) \sin \omega t + \\ &\quad + (I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2) \cos \omega t \end{aligned}$$

Vektor diaqramından və sonuncu ifadədən görünür ki,

$$I_m \cos \psi = I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2,$$

$$I_m \sin \psi = I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2.$$

Beləliklə, cərəyanın ani qiyməti üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$i = I_m (\cos \psi \sin \omega t + \sin \psi \cos \omega t) = I_m \sin(\omega t + \psi).$$

Şəkil 13.5-dəki vektor diaqramından cəm cərəyanın amplitudunu və başlanğıc fazını aşağıdakı düsturlarla tapırıq:

$$I_m = \sqrt{(I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2)^2 + (I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2)^2},$$

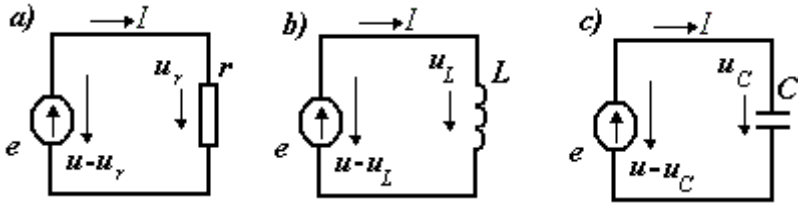
$$\psi = \arctg \frac{I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2}{I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2}.$$

Sinusoidal cərəyan dövrlərini analiz etdikdə vektor diaqramı kəmiyyətlərin təsiredici qiymətləri üçün qurulur, çünki, onların bu qiymətləri arasında münasibətlər təyin edilir.

Dəyişən cərəyan elektrik dövrlərinin əvəz sxemlərinin elementləri. Elektrik quruluşlarının ayrı-ayrı elementlərində dəyişən cərəyan dəyişən elektrik və maqnit sahələri yaradır. Bu sahələrin dəyişən olması səbəbindən elektrik dövrəsində özünəinduksiya, qarşılıqlı induksiya və cərəyanların sürüşməsi hadisələri baş verir və bunlar dövrədə gedən proseslərə xeyli təsir göstərir. Ona görə də bu dövrlərdəki proseslərin analizi mürəkkəbləşir.

Dəyişən cərəyan dövrlərinin analizi üçün ideal elementlərdən ibarət elektrik əvəz sxemi qurulur. İdeal elementlərə aiddir: ideal e.h.q. mənbəsi, rezistiv element (r), induktiv element (L), tutum elementi (C) və qarşılıqlı induksiya elementi (M). Bu elementlərdən hər biri müəyyən hadisəni təzahür etdirir və bu hadisəni nəzərə almaq istədikdə həmin element sxemə daxil edilir.

r , L , C ideal elementləri passivdirlər, yəni onların elektrik enerji mənbələri yoxdur. Onlarda cərəyan və gərginliklərin müsbət istiqamətləri eynidir. (şəkil 13.6,a,b,c). Enerji mənbələrində cərəyanın və e.h.q.-nin müsbət istiqamətləri eynidir. Mənbənin gərginliyinin müsbət istiqaməti onun e.h.q.-sinin müsbət istiqamətinə əksdir. İstiqamətlər belə olduqda işlədicinin $p = ui$ və mənbənin $p = ei$ ani güclərinin müsbət qiymətləri onu göstərir ki, birinci işlədici, ikinci isə mənbə kimi işləyir.



Şəkil 13.6. r, L, C ideal elementlər

Ani güclərinin mənfi qiymətlərində isə birinci mənbə rejimində, ikinci işlədici rejimində işləyir.

Elektrik dövrəsinin əvəz sxeminin rezistiv elementi. Rezistiv element (rezistor) real elektirik dövrəsində elektrik enerjisinin dönmədən başqa enerjiyə çevrilməsi prosesinin mövcudluğunu xarakterizə edir. Rezistiv elementin parametri onun aktiv müqavimətidir, hansındakı elektrik dövrəsinin real elementinin tələb etdiyi qədər elektrik enerjisi udulur.

Rezistiv element real naqilin ondan keçən cərəyana göstərdiyi müqaviməti xarakterizə edə bilər. Bu zaman naqildə ayrılan istilik enerjisi qədər enerji səpələnir. Belə naqilin aktiv müqaviməti onun sabit cərəyana göstərdiyi müqavimətindən böyükdür. Buna səbəb dəyişən cərəyanda səthi effekt hadisəsinin mövcud olmasıdır.

Rezistiv elementin gərginliyi u_r və cərəyanı i Om qanununa əsasən ani qiymətlər üçün yazılmış tənliklə bağlıdır:

$$u_r = i r$$

Bu tənlikdən aydın olur ki, cərəyan və gərcinliyin miqyasını lazımi şəkildə seçdikdə, $i(t)$ və $u_r(t)$ ayrıləri üst-üstə düşər.

Rezistiv elementin ani gücü

$$p_r = u_r i = i^2 r$$

həmişə müsbət işarəlidir, bu o deməkdir ki, rezistiv elementdə elektrik enerjisi dönmədən istiliyə çevrilir.

Elektrik dövrəsinin əvəz sxeminin induktiv elementi. İnduktiv element real elektrik dövrəsində nəzərə alınması lazım olan maqnit sahəsinin varlığını xarakterizə edir. Maqnit sahəsində enerji toplanan induktiv elementin parametri onun induktivliyidir (L). Bu enerjinin qiyməti cərəyanın kvadratı ilə düz mütənasibdir:

$$W_m = \frac{Li^2}{2}.$$

Maqnit sahəsi elektrik dövrəsinin cərəyan axan bütün hissələrində yaranır, deməli, elektrik dövrəsinin bütün real elementləri induktivliyə malikdir. Bəzi hallarda onun qiyməti nəzərdən atılacaq dərəcədə kiçik ola bilər. Başqa hallarda isə onu nəzərə almaq vacibdir, yoxsa hesablamaların nəticələri səhv olar. Güclü maqnit sahəsi almaq üçün induktiv sargılardan istifadə edilir, bunların induktivliyini nəzərə almamaq olmaz. Dövrənin hər hansı elementinin induktivliyi onunla ilişən maqnit seli ilə cərəyanı arasında mütənasiblik əmsalı kimi qəbul edilə bilər: $\Psi = Li$.

İnduktiv elementin gərginliyi və cərəyanı öz aralarında, elektromaqnit induksiya qanunundan çıxan, aşağıdakı ifadə ilə bağlıdır:

$$u_L = L \frac{di}{dt}.$$

Bu ifadədən məlum olur ki, cərəyan artarkən induktiv elementin gərginliyi $u_L > 0$, cərəyan azalarkən isə $u_L < 0$ olur.

İnduktiv elementin ani gücü:

$$p_L = u_L i = L i \frac{di}{dt}$$

cərəyan və gərginliyin işarəsindən asılıdır.

Gərginliyin müsbət ($u_L > 0$) halında müsbət cərəyan artanda ($\frac{di}{dt} > 0$) ani güc müsbət ($p_L > 0$) olur, enerji induktiv elementin maqnit sahəsində toplanır, yəni o, işlədici kimi işləyir. Müsbət cərəyan azalanda ($\frac{di}{dt} < 0$) isə $p_L < 0$ olur, induktiv element mənbə kimi işləyir və maqnit sahəsində topladığı enerjini dövrəyə qaytarır. Baxılan hallardan başqa daha iki hal vardır. $i < 0$ və $\frac{di}{dt} < 0$ olduqda $p_L < 0$ olur, induktiv element mənbə kimi işləyir. $i > 0$ və $\frac{di}{dt} > 0$ olduqda isə $p_L > 0$ olur, induktiv element işlədici kimi işləyir.

Elektrik dövrəsinin əvəz sxeminin tutum elementi. Tutum elementi real elektrik dövrəsində nəzərə alınması lazım olan elektrik sahəsinin varlığını xarakterizə edir. Tutum elementinin parametri onun tutumudur (C). Buna tutum elementinin yükü q ilə onun gərginliyi u_C arasında mütənasiblik əmsalı kimi baxmaq olar: $q = C u_C$.

Real dövrənin hər bir elementi tutuma malikdir. Onun təsirinin nəzərə alınması tutumun kəmiyyətini müəyyən edən bir çox amillərdən asılıdır.

Böyük tutum almaq üçün kondensatorlardan istifadə edilir ki, bunların tutumlarını nəzərə almaq vacibdir.

Tutum elementinin gərginliyi ilə cərəyanı aşağıdakı tənliklə bağlıdır:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}.$$

Bu ifadədən aydın olur ki, tutum elementinin gərginliyi artdıqda onun cərəyanı müsbət ($i > 0$), gərginlik azaldıqda isə mənfi ($i < 0$) olur.

Tutum elementinin ani gücü öz işarəsini gərginliyin və cərəyanın işarəsindən asılı olaraq dəyişir. Müsbət gərginliyin artdığı və mənfi gərginliyin azaldığı zamanda ani güc $p_C = u_C i$ müsbətdir. Enerji mənbədən tutum elementinə ötürülür və onun elektrik sahəsində toplanır. Element işlədici rejimdə işləyir. Müsbət gərginliyin azaldığı və mənfi gərginliyin artdığı zamanda ani güc $p_C = u_C i$ mənfidir. Elektrik sahəsində toplanmış enerji mənbəyə qaydır. Tutum elementi mənbə rejimində işləyir.

Tutum elementinin elektrik sahəsində toplanan enerji gərginliyin kvadratı ilə mütənəsbidir:

$$w_e = \frac{Cu_C^2}{2}.$$

Tutum elementinin cərəyanının dəyişmə qanunu verilmişdirsə onun gərginliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin oluna bilər:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt + \text{const} .$$

Dəyişən cərəyan dövrəsində çox vaxt

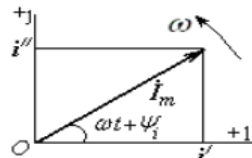
$$u_c(0) = \text{const} = 0.$$

Kirxhof qanunlarının dəyişən cərəyan dövrlərinin hesabında tətbiqi. Dəyişən cərəyan elektrik dövrlərinin hesabında Kirxhof qanunlarına görə tənlikləri qurmaq üçün sxemdə cərəyanların şərti müsbət istiqamətlərini və dövrənin qapalı konturlarını hərlənmə istiqamətlərini seçmək lazımdır. Kirxhof qanunları istənilən halda kəmiyyətlərin ani qiymətləri üçün doğrudur və belə ifadə edilir:

$$\text{Kirxhofun birinci qanunu:} \quad \sum i = 0 ,$$

$$\text{Kirxhofun ikinci qanunu:} \quad \sum e = \sum u .$$

Sinusoidal kəmiyyətlərin kompleks ədədlərlə ifadəsi. Vektor diaqramından istifadə olunması sinusoidal kəmiyyətlər üzərində cəbri toplama əməllərini sadələşdirir və əyani edir. Sinusoidal kəmiyyətlərin toplanması və çıxılmasına sinusoidal cərəyan elektrik dövrlərinin hesabında tez-tez rast gəlinir. Vektor diaqramından istifadə sadə və bir mənbəli dövrlərlə məhdudlaşır. Mürəkkəb sinusoidal cərəyan dövrlərinin analizi üçün kompleks ədədlərdən istifadə edilir ki, bu vektorlar üzərindəki həndəsi əməlləri kompleks ədədlər üzərində cəbri əməllərlə əvəz etməyə və belə dövrlərin hesabını xeyli sadələşdirməyə imkan verir.



Şəkil 13.7. Kompleks müstəvidə vektorun təsviri

Riyaziyyat kursundan məlumdur ki, kompleks müstəvidə hər bir vektora bir müəyyən kompleks ədəd uyğundur və bu ədəd cəbri, triqonometrik və üstlü formada yazıla bilər. Məsələn, şəkil 13.7-də vektor diaqramı təsvir edilmiş $\dot{i} = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ cərəyanına uyğun kompleks ədəd belə yazılır:

$$I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j I_m \sin(\omega t + \psi_i) = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}.$$

$\omega t + \psi_i$ faz bucağını vektorun $+1; +j$ koordinat oxlarındakı proyeksiyalarına görə təyin edirlər.

$$\omega t + \psi_i = \arctg \frac{i''}{i'}.$$

Şəkil 13.7-dən görünür ki, dekart koordinat müstəvisinin absis oxu kompleks müstəvinin həqiqi ədədlər oxu ilə ($+1$ oxu) üst-üstə düşür. Ona görə də sinusoidal kəmiyyətin ani qiyməti xəyali ədədlər oxu ($+j$ oxu) üzərində olur.

Kompleks müstəvidə cərəyan vektorunun kompleks ədədinin xəyali təşkiledicisi cərəyanın sinusoidal dəyişməsinə təyin edir və I_m simvolu ilə işarə edilir:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = \operatorname{Im}(I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}).$$

$I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$ kompleks ədədini iki kompleks ədədin hasili kimi göstərmək rahatdır:

$$I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = I_m e^{j\psi_i} \cdot e^{j\omega t} = \dot{I}_m e^{j\omega t}.$$

Birinci kompleks ədəd $\dot{I}_m$ (hərfin üstündə nöqtə var) vektorun başlanğıc zaman anındakı vəziyyətinə uyğundur və **kompleks amplitud** adlanır:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}.$$

İkinci kompleks ədəd $e^{j\omega t}$ vektoru başlanğıc vəziyyətə nisbətən ωt bucağı qədər **döndərici operator**dur.

Deməli, sinusoidal kəmiyyətin ani qiyməti $i_m e^{j\omega t}$ hasilinin j - sız xəyali hissəsinə bərabərdir:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) = \text{Im}(I_m e^{j(\omega t + \varphi_i)})$$

Sinusoidal kəmiyyətin bir yazı formasından digərinə keçməkdən ötrü Eyler düsturundan istifadə edilir:

$$e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha .$$

13.2. Birfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrləri

Rezistorlu sinusoidal cərəyan dövrəsi. Aktiv müqaviməti r olan rezistorun uclarına (şəkil 13.8) tətbiq edilmiş gərginlik istənilən anda Om qanununa görə belə təyin olunur: $u = ir$. Buradan

$$u = U_m \sin \omega t$$

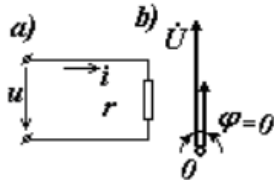
olarsa, alırıq:

$$i = \frac{u}{r} = \frac{U_m}{r} \sin \omega t = I_m \sin \omega t ,$$

burada $I_m = \frac{U_m}{r}$ - cərəyanın amplitududur.

Cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri üçün alırıq

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}r} = \frac{U}{r} .$$



Şəkil 13.8. Aktiv müqavimətli dövrə (a) və onunun vektor diaqramı (b)

Cərəyan və gərginliyin simvolik təsvirləri üçün analogi ifadə alınır:

$$\dot{\mathbf{i}} = \frac{\dot{\mathbf{U}}}{\mathbf{r}}.$$

Cərəyan və gərginliyin vektor diaqramı şəkil 13.8,b-də qurulmuşdur.

Alınmış ifadələrdən aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

a) rezistorun cərəyan və gərginliyi fazca üst-üstə düşür;

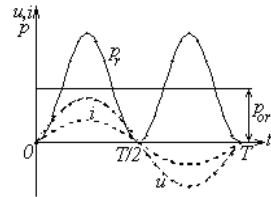
b) Om qanunu cərəyan və gərginliyin təkcə ani qiymətlər üçün deyil, həm də onların amplitud, təsiredici və kompleksləri üçün də doğrudur.

Rezistorlu dövrənin gücünü təyin edək. Rezistorun ani gücü həmişə müsbətdir:

$$p_r = ui = iri = i^2 r.$$

Baxılan halda $i = I_m \sin \omega t$, ona görə də

$$\begin{aligned} p_r &= (I_m \sin \omega t)^2 r = I_m^2 r \sin^2 \omega t = \\ &= \frac{1}{2} U_m I_m (1 - \cos 2\omega t) = \\ &= UI(1 - \cos 2\omega t). \end{aligned}$$



Şəkil 13.9 Aktiv müqavimətli dövrə üçün $i(t)$, $y(t)$ və $p(t)$ asılıqları

u , i və p_r -in qrafikləri şəkil 13.9-də göstərilmişdir. Ani gücün ifadəsindən və qrafikindən görünürki, o ikiqat bucaq tezliylə öz orta qiyməti ətrafında rəqs edir. Gücün period ərzində orta qiymətinə dövrənin **aktiv gücü** deyilir.

Baxılan halda rezistorlu dövrənin aktiv gücü

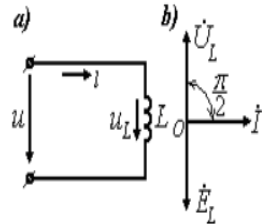
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_r dt = UI = I^2 r = U^2 / r$$

sabit cərəyanın gücü ilə eyni şəkildədir.

13.3. İnduktiv sarğacılı sinusoidal cərəyan dövrəsi

Elə real elektrik dövrəsi yoxdur ki, onun induktivliyi olmasın. Təkcə induktivliyə malik dövrlərə baxmaq süni şüasdur və bu, belə dövrəni maksimum tam öyrənməyə imkan verir.

Fərz edirik ki, sarğac yalnız induktivliyə malikdir. Tutaq ki, belə sarğacdən (şəkil 13.10) sinusoidal cərəyan axır:



Şəkil 13.10 induktivli dövrə(a) və onun vektor diaqramı (b)

$$i = I_m \sin \omega t .$$

İnduktiv element üçün $u_L = L \frac{di}{dt}$ olduğuna görə alırıq:

$$u = u_L = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \cos \omega t = U_{Lm} \sin (\omega t + 90^\circ) ,$$

burada $U_{Lm} = \omega L I_m$ - gərginliyinin amplitududur.

$$U_{Lm} = \omega L I_m , I_m = \frac{U_{Lm}}{\omega L} = \frac{U_{Lm}}{x_L}$$

Cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri üçün belə ifadələr alırıq:

$$U_L = \omega L I , I = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{x_L} .$$

$x_L = \omega L$ kəmiyyətinin ölçüsü müqavimət ölçüsüdür və ona dövrənin *induktiv müqaviməti*, yaxud induktivliyin *reaktiv müqaviməti* deyilir:

$$x_L = \omega L = 2\pi f L .$$

Sarğacın özünəinduksiya e.h.q.-si:

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = - u_L = E_{Lm} \sin(\omega t - 90^\circ) .$$

Şəkil 13.10,b-də dövrənin vektor diaqramı göstərilmişdir.

E.h.q., gərginlik və induktiv müqaviməti simvolik şəkildə təyin edək. Əgər cərəyanın kompleksi $\dot{I}_m = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$ şəklində ifadə edilibsə, onda gərginliyin kompleksi belə yazılar:

$$\dot{U}_{Lm} = L \frac{d\dot{I}_m}{dt} = j\omega L I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = jx_L \dot{I}_m .$$

Cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri üçün də analogi ifadələr yazı bilərik

$$\dot{U}_L = jx_L \dot{I} \quad \text{və} \quad \dot{I} = \frac{\dot{U}_L}{jx_L} ,$$

burada $jx_L = j\omega L$ - induktiv müqavimətin kompleksidir.

Bütün yuxarıda deyilənlərdən aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

a) əgər induktiv sarğacdən axan cərəyan sinusoidalırsa, onda sarğacın uclarındakı gərginlik də sinuoidal olacaq və fəzca cərəyanı $\pi/2=90^\circ$ bucaq qədər, yəni dördüdə bir period qədər ötəcək;

b) Om qanunu induktivlikli dövrədə kəmiyyətlərin təsiredici və amplitud qiymətləri üçün doğrudur. Bu zaman reaktiv müqavimət anlayışından

istifadə etməli və induktivliyin yaratdığı fazlar fərqlərini nəzərə almaq lazımdır.

Dövrənin ani gücünü təyin edək:

$$p_L = u_L i = U_{Lm} \cos \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_L I \sin 2\omega t.$$

Ani güc və həm də sarğacın maqnit sahəsinin enerjisi

$$W_m = \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \sin^2 \omega t = \frac{LI_m^2}{2} \cdot \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

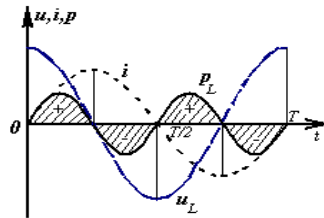
İkiqat bucaq tezliylə sinus qanunu ilə dəyişir, yəni maqnit sahəsinin dəyişmə sürəti dövrənin ani gücünə bərabərdir:

$$p_L = \frac{dW_m}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{Li^2}{2} \right) = Li \frac{di}{dt} = Lu_L = U_L I \sin 2\omega t$$

Gücün orta qiyməti sıfıra bərabərdir. Elektrik enerjisinin başqa növ enerjiyə çevrilməsi yoxdur.

Dövrədə fasiləsiz olaraq enerji mənbəsi ilə induktiv sarğacın maqnit sahəsi arasında enerji mübadiləsi gedir. Bu mübadilənin intensivliyi ani gücün maksimal qiyməti ilə xarakterizə olunur, buna sarğacın **induktiv gücü** və yaxud **induktivliyin reaktiv gücü** deyilir və Q_L ilə işarə edilir:

$$Q_L = U_L I = I^2 x_L = \frac{U_L^2}{x_L}.$$



Şəkil 13.11 Xalis induktiv yüklü dövrə üçün $i(t)$, $v(t)$ və $p(t)$ asılıqları

Reaktiv gücün ölçü vahidinə volt-ampere reaktiv (VAR) və yaxud kilovolt-ampere reaktiv (kVAR) deyilir.

Cərəyanın, gərginliyin və ani gücün əyriləri şəkil 13.11-də göstərilmişdir.

p_L sinusoidinin hər bir ştrixlənmiş dalğası mənbə ilə sarğac arasında mübadilədə iştirak edən enerjinin miqdarını ifadə edir.

13.4. Kondensatorlu sinusoidal cərəyan dövrəsi

İdeal kondensatorun yalnız tutumu olur. Sinusoidal gərginlik mənbəsinə qoşulmuş belə kondensatorlu dövrədəki prosesə baxaq:

$$u = U_m \sin \omega t$$

(şəkil 13.12). Tutum elementi üçün

$$i = C \frac{du_C}{dt} \quad \text{və} \quad u_C = u$$

olduğuna görə:

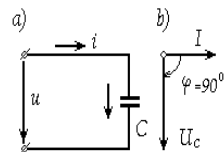
$$i = \omega C U_{cm} \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + 90^\circ),$$

burada $I_m = \omega C U_{cm}$ - cərəyanın amplitududur.

$\frac{1}{\omega C}$ kəmiyyətinin ölçüsü müqavimət ölçüsüdür

və kondensatorun *reaktiv müqaviməti*, yaxud elektrik dövrəsinin *tutum müqavimi* adlanır, x_C ilə işarə edilir:

$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$



Şəkil 13.12 Tutum yüklü dövrə (a) və onun vektor diaqramı (b)

Kondensatorun gərginlik və cərəyanının təsiredici qiymətləri üçün Om qanununun ifadəsi olan aşağıdakı düsturları alırıq:

$$U_C = \frac{1}{\omega C} I = x_C I \quad \text{və} \quad I = \omega C U_C = \frac{U_C}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_C}{x_C}.$$

Bu asılılıqları kompleks formada təyin edirik.
 $u_C = \text{Im}(\dot{U}_{Cm} e^{j\omega t})$ olduğuna görə yazı bilərik:

$$i = C \frac{du_C}{dt} = \text{Im}(j \omega C \dot{U}_{Cm} e^{j\omega t}) = \text{Im}(I_m e^{j\omega t}),$$

buradan cərəyan və gərginliyin amplitud və təsiredici qiymətləri üçün simvolik formada Om qanununun ifadələrini tapırıq:

$$I_m = j \omega C \dot{U}_{Cm} = \frac{\dot{U}_{Cm}}{\frac{1}{j \omega C}} = \frac{\dot{U}_{Cm}}{-j \frac{1}{\omega C}} = \frac{\dot{U}_{Cm}}{-j x_C},$$

$$i = \frac{\dot{U}_C}{-j x_C} \quad \text{və} \quad \dot{U}_C = -j x_C i = -j \omega C i.$$

burada $-j \frac{1}{\omega C} = -j x_C$ - tutum müqavimətinin kompleksidir.

Dövrənin cərəyanı və gərginliyinin vektor diaqramı şəkil 13.12,b-də qurulub.

Deyilənlərdən aşağıdakı nəticələrə gəlirik:

a) əgər tutum elementində gərginlik sinu-soidal dəyişirsə, onda cərəyan da sinusoidal dəyişir. Gərginlik fazca cərəyandan 90° , yəni dördə bir period geri qalır;

b) sinusoidal cərəyan dövrəsində tutum özünü müqavimət kimi aparır, bunun qiyməti cərəyanın tezliyi ilə tərs mütənasibdir: $x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$. Buna kondensatorun **tutum müqaviməti** və yaxud tutumun **reaktiv müqaviməti** deyilir;

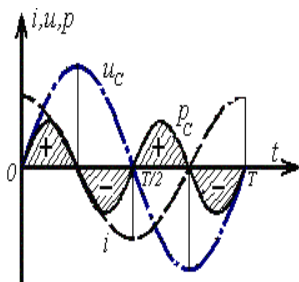
c) tutum müqaviməti anlayışından istifadə edib tutum elementli sinusoidal cərəyan dövrəsinə Ohm qanununu tətbiq etmək olar. Bu zaman yadda saxlanmalıdır ki, tutum müqaviməti cərəyanla gərginlik arasında dördüdə bir period (90°) faz fərqi yaradır.

Ani gücün ifadəsini təyin edirik. Kondensatorun ani gücü:

$$p_C = u_C i = U_C I \sin 2\omega t$$

ikiqat tezliklə dəyişir, period ərzində orta qiyməti sıfıra bərabərdir. Deməli, induktiv sarğacda olduğu kimi kondensatorlu dövrədə mənbə ilə kondensatorun elektrik sahəsi arasında enerji mübadiləsi baş verir. Kondensator periodik olaraq ikiqat tezliklə dolur-boşalır. Bu mübadilənin intensivliyi ani gücün maksimal qiymətilə xarakterizə olunur. Gücün bu qiymətinə kondensatorun **tutum gücü** və yaxud **tutumun reaktiv gücü** deyilir və Q_C ilə işarə olunur:

$$Q_C = U_C I = I^2 x_C = \frac{U_C}{x_C}.$$



Şəkil 13.13 Tütüm yüklü dövrə üçün $i(t)$, $u(t)$ və $p(t)$

Reaktiv gücün ölçü vahidi voltamper reaktiv, yaxud kilovoltamper reaktiv adlanır. Cərəyan, gərginlik və gücün ayrılması şəkil 13.13-də göstərilmişdir. Bu şəkildə güc sinusoidinin hər bir ştrixlənmiş yarımdalğası mənbə ilə kondensator arasında mübadilə edilən enerjinin miqdarını təsvir edir.

13.5. Elementləri ardıcıl birləşdirilmiş sinusoidal cərəyan dövrəsi

Dövrənin hər bir real elementi bir yox, iki və ya üç xassəyə malik ola bilər. Məsələn, induktivlik sarğacının aktiv müqaviməti və induktivliyi vardır. Mühərriklər, hesablamalarda, ekvivalent aktiv müqavimət və induktivliklə təsvir edilir. Bəzi hesablamalarda təkcə kondensatorun deyil, elektrik ötürücü xətlərin və başqa quruluşların elektrik tutumunu nəzərə almaq vacib olur.

Əvəz sxemində dövrə ideallaşdırılmış halda toplu parametrlə təsvir olunur. Bu zaman dövrənin hesabı xeyli sadələşir.

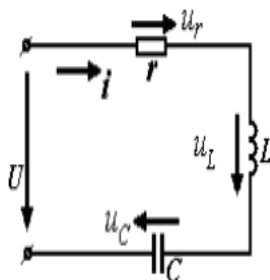
Şəkil 13.14-də rezistiv, induktiv və tutum elementləri ardıcıl birləşmiş dövrənin sxemi təsvir edilmişdir.

Əgər dövrənin sıxaclarında gərginlik sinusoidaldirsə, yəni

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

onda dövrədən sinusoidal cərəyan axacaq:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$



Şəkil 13.14. r, L, C -dən ibarət ardıcıl dövrə

Kirxhofun ikinci qanununa əsasən dövrə üçün aşağıdakı tənliyi yazırıq:

$$u = u_a + u_L + u_C = ir + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt .$$

Sinusoidal kəmiyyətlərin ani qiymətlərinin cəbri cəmini onların təsiedici qiymətlərinin vektor tənliyi ilə əvəz etmək olar:

$$\dot{U} = \dot{U}_a + \dot{U}_L + \dot{U}_C .$$

Sadə dövrlər üçün Om qanununun kompleks ifadələrindən

$$\dot{U}_a = i r , \quad \dot{U}_L = j x_L i$$

və

$$\dot{U}_C = -j x_C i .$$

istifadə edib alırıq:

$$\dot{U} = ir + j x_L i - j x_C i = (r + j(x_L - x_C)) i = Z i .$$

Buradan cərəyanın kompleksi üçün alırıq:

$$i = \frac{\dot{U}}{Z} .$$

Bu, tam sinusoidal cərəyan dövrəsi üçün Om qanununun ifadəsidir.

$$\dot{Z} = r + j(x_L - x_C) = Z e^{j\varphi}$$

kəmiyyəti tam müqavimətin kompleksidir. Buna dövrənin ***tam və yaxud zahiri müqaviməti*** deyilir.

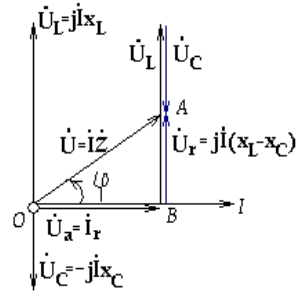
Tam müqavimətin kompleksinin modulu və argumenti məlum düsturlarla hesablanır:

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} , \quad \varphi = \frac{x_L - x_C}{r} .$$

Tam müqavimətin kompleksinin argumenti dövrənin gərginliyi və cərəyanı arasında faz fərqlərini təyin edir. Əgər $\varphi > 0$ olarsa, onda induktiv müqavimət üstündür və reaktiv müqavimət müsbət ədədlə ifadə olunur, gərginlik fazca cərəyandan irəli düşür.

Əgər $\varphi < 0$ olarsa, onda tutum müqavimət üstündür və reaktiv müqavimət mənfi ədədlə ifadə olunur, gərginlik fazca cərəyandan geri düşür.

Şəkil 13.15-da cərəyan və gərginliyin vektor diaqramı göstərilmişdir. Vektor diaqramında OAB üçbucağı **gərginliklər üçbucağı** adlanır. Bu üçbucağın hipotenuzu dövrənin tam gərginliyini təsvir edir. Cərəyan vektoru ilə üst-üstə düşən OB kateti gərginliyin **aktiv**, cərəyan vektoruna perpendikulyar olan AB kateti isə – **reaktiv** mürəkkəbəsi adlanır.



Şəkil 13.15. r, L, C-dən ibarət ardıcıl dövrənin vektor diaqramı

Buradan gərginlik üçün kompleks formada aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\dot{U} = \dot{U}_a + j\dot{U}_r = \dot{U}_a + j(\dot{U}_L - \dot{U}_C).$$

Əgər $\psi_i = 0$ ($\dot{I} = I$) qəbul etsək, onda:

$$\dot{U} = U_a + j(U_L - U_C) = I[r + j(x_L - x_C)].$$

Şəkil 13.15-da vektor diaqramı bu hal üçün qurulmuşdur.

13.6. Sinusoidal dəyişən cərəyan dövrəsinin gücü

Dəyişən cərəyan dövrəsi üçün ani güc cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərinin vurma hasilinə bərabərdir:

$$p = ui.$$

Əgər cərəyan və gərginlik sinusoidaldirsə, yəni

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \text{ və } u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

ani güc üçün aşağıdakı ifadəni tapırıq:

$$\begin{aligned} p &= U_m \sin(\omega t + \psi_u) I_m \sin(\omega t + \psi_i) = \\ &= \frac{U_m I_m}{2} [\cos(\psi_u - \psi_i) - \cos(2\omega t + \psi_u + \psi_i)]. \end{aligned}$$

Cərəyan və gərginliyin başlanğıc fazlarının fərqi φ ilə işarə edilir, yəni $\varphi = \psi_u - \psi_i$, onda:

$$\begin{aligned} p &= UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t + 2\psi_u - \varphi)] = \\ &= UI \cos \varphi [1 - \cos 2(\omega t + \psi_u)] - UI \sin \varphi \sin 2(\omega t + \psi_u). \end{aligned}$$

UI hasili dəyişən cərəyan dövrəsinin *tam, yaxud zahiri güc* adlanır və S ilə işarə olunur. Bu güc elektrik qurğusunun tələbatçı ilə mənbə arasında enerji prosesinin intensivliyini xarakterizə edir, lakin elektrik enerjisinin dönmədən başqa enerjiyə çevrilməsini xarakterizə edə bilməz. Tam gücün ölçü vahidi volt-ampere (VA), kilovolt-ampere (kVA) adlanır.

$S = UI$ nəzərə alıb ani gücü belə yazmaq:

$$p = S \cos \varphi [1 - \cos 2(\omega t + \psi_u)] - S \sin \varphi \sin 2(\omega t + \psi_u).$$

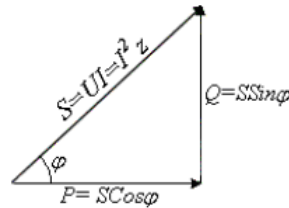
Ani güc sinus qanunu ilə dəyişən iki hissədən ibarətdir. Birinci hissə həmişə müsbət işarəli olub özünün orta qiyməti ətrafında ikiqat tezliklə rəqs edir və elektrik enerjisini dönmədən başqa enerjiyə çevrilməsinin intesivliyini təyin edir. Period ərzində gücün orta qiyməti, yəni dövrənin aktiv gücü:

$$P = UI\cos\varphi = S\cos\varphi = I^2 R .$$

Ani gücün ikinci hissəsi özünün sıfır qiyməti ətrafında ikiqat tezliklə dəyişir. Onun amplitud qiyməti dövrənin reaktiv gücünü təyin edir:

$$Q = Q_L - Q_C = S\sin\varphi = UI\sin\varphi = I^2 (x_L - x_C) .$$

Biz artıq bilirik ki, aktiv gücün vahidi vatt (Vt), kilovatt (kVt), reaktiv gücün vahidi isə voltamper reaktiv (VAr), kilo-voltamper reaktiv (kVAr) adlanır. Güclərin



Şəkil 13.16. Güclər

$$S = UI ,$$

$$P = S\cos\varphi ; \quad Q = S\sin\varphi$$

ifadələrindən aydın olur ki, onlar düzbucaqlı üçbucaq təşkil edir (şəkil 13.16). Buna **güclər üçbucağı** deyilir.

Güc vektorial kəmiyyətdir, buna görə də onu kompleks müstəvidə kompleks ədədlə ifadə etmək olar:

$$\tilde{S} = P + jQ = UI(\cos\varphi + j\sin\varphi) = UIe^{j\varphi}$$

Tam gücün $\tilde{S}$ kompleksini gərginliyin kompleksini cərəyanın qoşma kompleksinə vurmaqla da almaq olar:

$$\tilde{S} = \dot{U}I = Ue^{j\psi_u} Ie^{-j\psi_i} = UIe^{j\varphi} = P + jQ = UI(\cos\varphi + j\sin\varphi)$$

Güc əmsalı. Dövrənin cərəyan və gərginliyinin fazlar fərqi bucağının kosinusuna **güc əmsalı** deyilir, çünki o, dövrənin aktiv gücünün tam gücünə olan nisbətinə bərabər olub gücün hansı hissəsinin elektrik enerjisinin dönmədən başqa enerjiyə çevrilməsində iştirak etdiyini göstərir:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}.$$

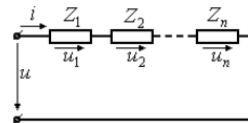
Dövrənin güc əmsalını həm də aktiv müqavimətin tam müqavimətə nisbəti kimi təyin etmək olar:

$$\cos\varphi = \frac{r}{z} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + x^2}}.$$

Dövrənin reaktiv müqaviməti sıfıra bərabər olanda (ideal hal), yəni $x = x_L - x_C = 0$ olduqda güc əmsalı birə bərabərdir: $\cos\varphi = 1$. Bu halda mənbə ilə işlədicini birləşdirən məfəillərdə reaktiv gücün pulsasiyası yoxdur. Nəticədə birləşdirici məfəillərdə elektrik enerji itgiləri azalır. Buna görə də güc əmsalına elektrik qurğusunun **energetik göstəricisi** kimi baxılır.

13.7. Sinusoidal cərəyan dövrəsində elementlərin ardıcıl birləşdirilməsinin ümumi hali.

Tutaq ki, sıxacları $u = U_m \sin\omega t$ sinusoidal gərginlik mənbəsinə qoşulmuş dövrə $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dots, \dot{Z}_n$ müqavimətlərinin ardıcıl birləşməsindən ibarətdir (şəkil 13.17).



Şəkil 13.17. $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ müqavimətlərinin ardıcıl birləşməsi

Kirxhofun ikinci qanununa əsasən yazmaq olar ki:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2 + \dots + \mathbf{u}_n$$

Sinusoidal kəmiyyətlərin ani qiymətlərinin cəmindən onların komplekslərinin cəminə keçmək olar:

$$\dot{\mathbf{U}} = \dot{\mathbf{U}}_1 + \dot{\mathbf{U}}_2 + \dots + \dot{\mathbf{U}}_n. \quad (\text{a})$$

Bu tənlikdə hər bir toplanan dövrə hissəsi üçün Om qanununa görə təyin edilir:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{U}}_1 &= i\dot{\mathbf{Z}}_1 = i\left[\mathbf{r}_1 + j(x_{L_1} - x_{C_1})\right], \\ \dot{\mathbf{U}}_2 &= i\dot{\mathbf{Z}}_2 = i\left[\mathbf{r}_2 + j(x_{L_2} - x_{C_2})\right], \dots, \\ \dot{\mathbf{U}}_n &= i\dot{\mathbf{Z}}_n = i\left[\mathbf{r}_n + j(x_{L_n} - x_{C_n})\right]. \end{aligned}$$

Bu ifadələri (a) tənliyində yerinə yazsaq, alırıq:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{U}} &= i(\dot{\mathbf{Z}}_1 + \dot{\mathbf{Z}}_2 + \dots + \dot{\mathbf{Z}}_n) = \\ &= i\left[(\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2 + \dots + \mathbf{r}_n) + j(x_{L_1} + x_{L_2} + \dots + x_{L_n}) - (x_{C_1} + x_{C_2} + \dots + x_{C_n})\right] = \\ &= i\left[\mathbf{r} + j(x_L - x_C)\right] = i\dot{\mathbf{Z}} = i(\mathbf{r} + j\mathbf{x}), \end{aligned}$$

burada: $\mathbf{r} = \sum_1^n \mathbf{r}_k$, $\mathbf{x}_L = \sum_1^n \mathbf{x}_{L_k}$, $\mathbf{x}_C = \sum_1^n \mathbf{x}_{C_k}$ - dövrənin ekviva-

lent aktiv, induktiv və tutum müqavimətləridir; $\dot{\mathbf{Z}}$ - dövrənin ekvivalent tam müqavimətidir:

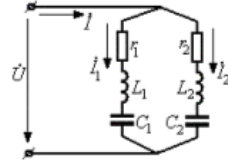
$$\dot{\mathbf{Z}} = \sum_1^n \mathbf{r}_k + j\left(\sum_1^n \mathbf{x}_{L_k} - \sum_1^n \mathbf{x}_{C_k}\right) = \sum_1^n \mathbf{Z}_k.$$

Om qanunu üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\dot{\mathbf{I}} = \frac{\dot{\mathbf{U}}}{\sum_1^n \mathbf{Z}_k} = \frac{\dot{\mathbf{U}}}{\sum_1^n \mathbf{r}_k + j\sum_1^n \mathbf{x}_{L_k} - j\sum_1^n \mathbf{x}_{C_k}}.$$

13.8. Sinusoidal cərəyan dövrəsində elementlərin paralel birləşdirilməsi

Kompleks müqavimətlərin paralel birləşməsinin ümumi halına baxaq (şəkil 13.18). Kompleks şəkildə Om qanununa görə sxemin budaqlarındakı cərəyanların kompleks ifadələrini yazaq:



Şəkil 13.18 Budqalana dövrə

$$i_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1} = \dot{Y}_1 \dot{U},$$

$$i_2 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_2} = \dot{Y}_2 \dot{U}$$

burada Y_1 və Y_2 - budaqların tam kompleks keçiricilikləridir. Ümumi halda tam keçiriciliyin kompleksi belə şəkildə yazılır:

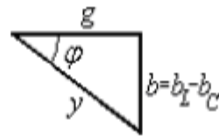
$$\begin{aligned} \dot{Y} = \frac{1}{\dot{Z}} &= \frac{1}{r + j(x_L - x_C)} = \frac{r}{z^2} - j\left(\frac{x_L}{z^2} - \frac{x_C}{z^2}\right) = \\ &= g - j(b_L - b_C) = ye^{-j\varphi} \quad \text{Sim,} \end{aligned}$$

burada $g = \frac{r}{z^2}$ - budağın aktiv keçi-

riciliyi; $b_L = \frac{x_L}{z^2}$ və $b_C = \frac{x_C}{z^2}$ - buda-

ğın induktiv və tutum keçiricilikləridir; $b = b_L - b_C$ - budağın reaktiv

keçiriciliyi; $y = \frac{1}{z}$ - budağın tam keçiriciliyinin moduludur.



Şəkil 13.19 Keçiriciliklər üçbucağı

Kompleks müstəvidə tam keçiriciliyinin kompleksi düzbucaqlı üçbucaq şəklində təsvir olunur

və **keçiriciliklər üçbucağı** adlanır (şəkil 13.19). Üçbucaqdan alırıq:

$$y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = \sqrt{g^2 + b^2},$$

$$g = y \cos \varphi, \quad b = y \sin \varphi,$$

$$\cos \varphi = \frac{g}{y}, \quad \sin \varphi = \frac{b}{y}.$$

Dövrənin budaqlanmayan hissəsindən axan cərəyanı (şəkil 13.18) Kirxhofun birinci qanununa görə tapırıq:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{U}(\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2) = \dot{U}\dot{Y} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}}.$$

burada $\dot{Y} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2$ - budaqlanmış dövrənin ekvivalent tam kompleks keçiriciliyidir və paralel budaqların kompleks keçiriciliklərinin cəminə bərabərdir.

Ümumi halda:

$$\dot{Y} = \sum_1^n \dot{Y}_k$$

Tam ekvivalent keçiriciliyin mürəkkəbələri:

$$g = \sum_1^n g_k, \quad b = \sum_1^n (b_{L_k} - b_{C_k}).$$

Cərəyanları mürəkkəbələrə ayıraq. Cərəyanın gərginlik istiqamətindəki proyeksiyasına **cərəyanın aktiv mürəkkəbəsi**, buna perpendikulyar istiqamətdə proyeksiyasına isə **cərəyanın reaktiv mürəkkəbəsi** deyilir (şəkil 13.20):

$$I_a = I_{1a} + I_{2a} = (g_1 + g_2)U = gU \quad I_r = I_{1r} + I_{2r} = (b_1 + b_2)U = bU,$$

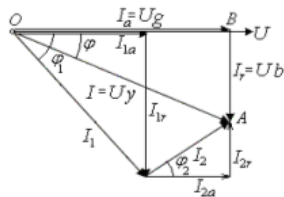
$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = U \sqrt{g^2 + b^2} = yU = \frac{U}{Z}$$

Cərəyanın kompleksi:

$$\dot{\mathbf{I}} = \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{a}} - j\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{r}} = \dot{U}(\mathbf{g} - j\mathbf{b}) = \dot{\mathbf{I}}_e e^{j(\psi_u - \varphi)}$$

vektor diaqramında OAB üç-bucağına *cərəyanlar üçbucağı* deyilir.

Bu üçbucağı keçiriciliklər üçbucağının gərginliyin moduluna vurmaqla da almaq olar və əksinə, cərəyanlar üçbucağını gərginliyin moduluna bölməklə keçiriciliklər üçbucağını almaq olar.



Şəkil 13.20. Budaqlanan dövrə üçün vektor diaqramı

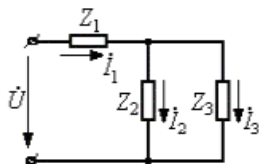
13.9. Sinusoidal cərəyan dövrəsində elementlərin qarışıq birləşdirilməsi

Şəkil 13.21 - də təsvir edilmiş dövrə qarışıq birləşdirilmiş üç kompleks müqavimətdən ibarətdir. Belə dövrənin hesabı, adətən, simvolik üsulla aparıla bilər. Adi üsulla hesablama paralel budaqlı hissəsinin müqavimətini tapmaqdan başlayır:

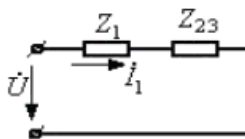
$$r_{23} = \frac{g_2 + g_3}{(g_2 + g_3)^2 + (b_2 + b_3)^2}, x_{23} = \frac{b_2 + b_3}{(g_2 + g_3)^2 + (b_2 + b_3)^2},$$

$$z_{23} = \frac{1}{y_{23}} = \frac{1}{\sqrt{(g_2 + g_3)^2 + (b_2 + b_3)^2}}$$

burada $\mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3$ - budaqların aktiv keçiricilikləri; $\mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3$ - budaqların reaktiv keçiricilikləridir.



Şəkil 13.21 Qarışıq birləşmə



Şəkil 13.22 Qarışıq birləşmədə alınan ekvivalent çevrilmə

Belə ekvivalent çevirmədən sonra verilmiş dövrəni $\dot{Z}_1$ və $\dot{Z}_{23}$ kompleks müqavimətlərin ardıcıl birləşməsindən ibarət təsvir etmək olar (şəkil 13.22).

I_1 cərəyanını Om qanununa görə tapırıq:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{(r_1 + r_{23})^2 + (x_1 + x_{23})^2}}; \quad \varphi = \arctg \frac{x_1 + x_{23}}{r_1 + r_{23}}.$$

Paralel budaqların sıxaclarındakı gərginlik:

$$U_{23} = I_1 z_{23}.$$

İndi isə paralel budaqlardan keçən cərəyanları təyin edirik:

$$I_2 = \frac{U_{23}}{z_2}, \quad I_3 = \frac{U_{23}}{z_3}.$$

Bir qayda olaraq kompleks müqavimətləri qarışıq birləşmiş dövrələrin hesabını simvolik üsulla aparırlar. Bu metodla əvvəlcə dövrənin ekvivalent tam müqaviməti, sabit cərəyan dövrələrində olduğu kimi, təyin edilir:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}.$$

İndi isə budaqlardan axan cərəyanlar tapıla bilər:

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}}, \quad \dot{i}_2 = \frac{\dot{U} - \dot{i}_1 \dot{Z}_1}{\dot{Z}_2}, \quad \dot{i}_3 = \frac{\dot{U} - \dot{i}_1 \dot{Z}_1}{\dot{Z}_3}.$$

13.10. Sinusoidal cərəyan dövrlərində rezonans hadisələri

Hər bir fiziki sistem məxsusi sərbəst rəqs tezliyinə malikdir. Məcburi rəqslərin tezliyi sistemin məxsusi rəqs tezliyinə bərabər olduqda, buna **rezonans** hadisəsi deyilir.

İnduktivlik və tutum olan elektrik dövrəsində dolmuş kondensatoru induktiv sargıya qoşduqda kondensatoru sərbəst rəqsi boşalma prosesi baş verir. İnduktivlik, tutumlu dövrədə, mexaniki sistemdə kütlə kimi, cərəyanın dəyişməsinə ətalət göstərərək kondensatorun rəqsi boşalmasına səbəb olur.

Bu rəqsin tezliyinə **LC** konturunun **məxsusi tezliyi** deyilir. Dövrədə aktiv müqavimət olmadıqda rəqsi proses sonsuz uzun müddət davam edə bilər. Belə dövrəyə **itgisiz kontur** deyilir.

Konturun məxsusi rəqs tezliyini təyin etmək üçün **U** gərginliyinə qədər dolmuş kondensatorun induktivliyə boşalma prosesi gedən kontura baxaq (şəkil 13.23).

Dövrə üçün, kondensator qoşulduqdan sonra, Kirxhofun ikinci qanun tənliyini yazırıq:

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = 0.$$

Bu tənliyi zamana görə differensiallasaq, alırıq:

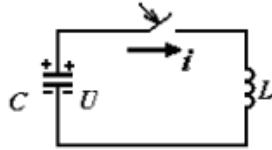
$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{LC} i = 0.$$

İkinci tərtibdən bircins xətti differensial tənlik olan bu tənliyin həlli belədir:

$$i = A_1 e^{j\omega \sqrt{LC}} + A_2 e^{-j\omega \sqrt{LC}},$$

burada A_1 və A_2 - integrallama sabitləridir, başlanğıc şərtlərdən tapılır:

$t=0$ olanda:



Şəkil 13.23. Kondensatorun U gərginliyinin L konturuna boşalması

$$i = 0, \left(\frac{di}{dt} \right)_{i=0} = \left(-\frac{u_C}{L} \right)_{i=0} = -\frac{U}{L}.$$

Buna görə də alırıq ki:

$$A_1 + A_2 = 0,$$

$$A_1 - A_2 = \frac{U}{j\sqrt{L/C}}.$$

Buradan tapırıq:

$$A_1 = -\frac{U}{j\sqrt{L/C}}; \quad A_2 = \frac{U}{j\sqrt{L/C}}$$

Beləliklə, cərəyan üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$i = \frac{U}{\sqrt{L/C}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t.$$

$\sqrt{\frac{L}{C}}$ kəmiyyəti müqavimət ölçüsünə malikdir və rəqs konturunun *xarakteristik dalğa müqaviməti* adlanır, ρ ilə işarə olunur. $1/\sqrt{LC}$ kəmiyyəti bucaq tezliyi ölçüsündədir, konturun *məxsusi rəqs tezliyi* adlanır və ω_0 ilə işarə olunur:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

İtgisiz konturda sərbəst cərəyan aşağıdakı qanunla dəyişir:

$$i = \frac{U}{\rho} \sin \omega_0 t.$$

Mənbənin tezliyi ω konturun məxsusi rəqs tezliyinə ω_0 bərabər olduqda elektrik dövrəsində rezonans hadisəsi yaranır.

Real konturun aktiv müqaviməti olduğuna görə kondensatorun rəqsi boşalma prosesi sönən olur. Rəqs konturunun

keyfiyyəti xoşhallıq adlanan Q kəmiyyətilə (keyfiyyət əmsalı) xarakterizə edilir,

$$Q = \rho/r.$$

Gərginliklər rezonansı. Budaqlanmayan r , L , C elementlərinə malik olan düvrədə, induktiv məqavimət X_L tutum məqavimətinə X_C bərabər olduqda gərginliklər rezonansı baş verir. Bu şərt daxilində düvrənin məqaviməti

$$z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} = r; \quad \cos \varphi = \frac{r}{z} = 1; \quad I_{rez} = \frac{U}{r}$$

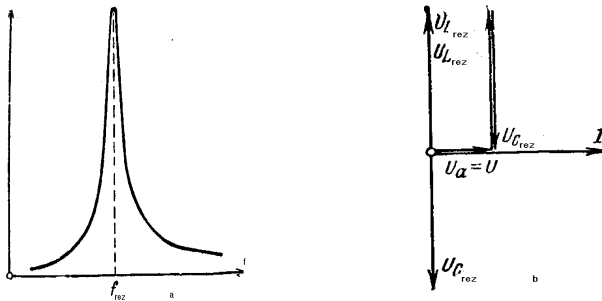
L və C qiymətləri məlumdursa, tezliyin f_{rez} rezonans qiymətini tapmaq olar:

$$X_{L_{rez}} = 2\pi f_{rez} \cdot L = X_{C_{rez}} = \frac{1}{2\pi f_{rez} C}$$

Buradan

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2C}}$$

Əgər baxılan dövrənin sıxaclarında gərginliyi V sabit saxlayıb, tezliyi tədricən dəyişsək, cərəyanın qiyməti I dəyişəcəkdir. Rezonans zamanı dövrənin cərəyanı isə maksimal olur (şəkil 13.24)



Şəkil 13.24. Gərginliklər rezonansı üçün cərəyan əyrisi (a) və vektor diaqramı (b)

Rezonans zamanı r müqavimətindəki gərginlik dövrəyə tətbiq edilmiş gərginliyə bərabər olur.

$$U = IZ_{rez} = Ir = U$$

İnduktivlikdə U_{Lrez} və tutumda U_{Crez} gərginliklər qiymətcə bərabər, fazaca əksdir.

Gərginliklər rezonansı yarandıqda reaktiv elementlərdə gərginliklər mənbənin gərginliyindən Q dəfə böyük olur ki, bu da çox təhlükəlidir. Buna görə də güclü cərəyan elektrik qurğularında gərginliklər rezonansı yarandıqda reaktiv elementlərdə gərginliklər mənbənin gərginliyindən Q dəfə böyük olur ki, bu da çox təhlükəlidir. Buna görə də güclü cərəyanlı elektrik qurğularında gərginliklər rezonansı yolverilməzdir. Radiotexniki zəif cərəyanlı dövrlərdə gərginliklər rezonansı lazım olan tezlikli cərəyanları seçib ayırmaq üçün istifadə edilir.

Cərəyanlar rezonansı. İnduktiv sarğacla kondensator paralel birləşmiş dövrlərdə cərəyanlar rezonansı yarana bilər.

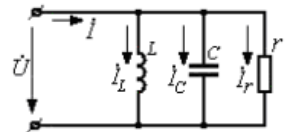
Şəkil 13.25-də verilmiş dövrəyə baxaq. Tutaq ki, cərəyanın tezliyi:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

yəni, LC konturunda rezonans yaranıb. Dövrənin budaqlarının keçiriciliklərini təyin edirik:

$$b_C = \frac{1}{x_C} = \omega_0 C = \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{\rho},$$

$$b_L = \frac{1}{x_L} = \frac{1}{\omega_0 L} = \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{\rho}, \quad g = \frac{1}{r}$$



Şəkil 13.25. L, C və r paralel birləşməsi

Buradan aydın olur ki, induktiv sarğac və kondensator paralel qoşulmuş dövrədə rezonans zamanı reaktiv keçiriciliklər bir-birinə bərabər olur, yəni:

$$b_L = b_C = \frac{1}{\rho} = \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Dövrənin tam keçiriciliyi minimal, müqaviməti maksimal qiymət alır:

$$y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = g, \quad z = \frac{1}{y} = \frac{1}{g} = r.$$

Güc əmsalı birə bərabər olur:

$$\cos \varphi = \frac{g}{y} = 1.$$

İnduktivlikli və tutumlu budaqlardakı cərəyanlar bir-birinə bərabərdir. Buna görə də bu rezonans **cərəyanlar rezonansı** adlanır.

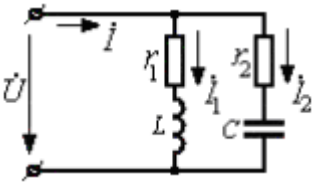
Əgər istənilən elemenlərə malik budaqlanan dövrəni xalis reaktiv elementli və ayrıca aktiv budaqlı sxemlə (şəkil 13.24) əvəz etmək olsa, onda bu halda $b_C = \omega C$, $b_L = \frac{1}{\omega L}$ olar və $b_L = b_C$

şərtindən $\omega = \omega_0$ alınar və biz əvvəlki nəticəyə gəlirik.

Şəkil 13.26-də verilmiş budaqlanan dövrə üçün, cərəyanların reaktiv mürəkkəbələrinin bərabərlik şərtindən istifadə edərək, rezonans tezliyini təyin edək:

$$I_L = b_L U = \frac{\omega L}{r_1^2 + (\omega L)^2} U = I_1 \sin \varphi_1,$$

$$I_C = b_C U = \frac{1}{\frac{r_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}{\omega C}} U = I_2 \sin \varphi_2.$$



Şəkil 13.26. Budaqlanan dəyişən cərəyan dövrəsi

Rezonans zamanı $I_L = I_C$, onda $b_L = b_C$ və

$$\frac{\omega_0 L}{r_1^2 + (\omega_0 L)^2} = \frac{\omega_0 C}{(\omega_0 r_2 C)^2 + 1}.$$

Buradan iki paralel budaqlı dövrə üçün ümumi halda rezonans tezliyinin ifadəsini alırıq:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{r_1^2 C - L}{r_2^2 C - L}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{r_1^2 - \rho^2}{r_2^2 - \rho^2}}.$$

$r_1 = r_2$ olduqda $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ alırıq. Burada $\rho = \sqrt{L/C}$ rəqs konturun dalğa müqavimətidir.

Qeyd etməliyik ki, gərginliklər rezonansından fərqli olaraq cərəyanlar rezonansı elektrik qurğusu üçün təhlükəsiz hadisədir. Budaqlardakı cərəyanlar onların keçiriciliklərindən asılıdır və qarşılıqlı müstəqildir.

13.11. Güc əmsalının artırılması

Güc əmsalının ($\cos\varphi$) qiymətinin kiçik olması generatorların, ötürücü xətlərin və transformatorların gücündən natamam istifadəsinə səbəb olur və bunu aktiv gücün ifadəsindən görmək çətin deyil:

$$P = UI\cos\varphi.$$

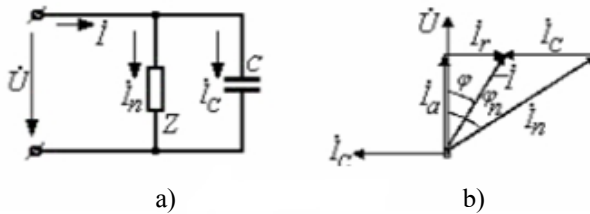
İstənilən elektrik qurğusu (generator, transformator, ötürücü xətt) nominal gərginliyə (izolyasiyası) və nominal cərəyana (naqillərin en kəsikləri) hesablanır. Buna görə də bu qurğulardan ən tam istifadə $\cos\varphi = 1$ olduqda mümkündür, çünki bu zaman:

$$P_{\text{maks}} = UI.$$

Bundan başqa, $\cos\varphi$ -nin kiçik qiymətlərində dövrənin elementləri faydasız olaraq reaktiv cərəyanla yüklənir, nəticədə dövrənin birləşdirici məftillərində (ötürücü xətlərdə) enerji itgisi artır. Bu itgilərin xəttin sonunda qoşulmuş elektrik qurğusunun güc əmsalının kvadratı ilə tərs mütənasib, yəni

$$\Delta P = I^2 r_x = \left(\frac{P}{UI\cos\varphi} \right)^2 r_x = \frac{A}{\cos^2\varphi}$$

olduğunu nəzərə alsaq, onda güc əmsalının iqtisadi əhəmiyyətini anlamaq olar.



Şəkil 13.27. Statik kondensator batareyasının qoşulması (a) güc əmsalının vektor diaqramı (b)

Enerji mənbəsini, ötürücü quruluşları reaktiv enerjinin (reaktiv cərəyanın) faydasız rəqslərindən azad etmək üçün yükə paralel olaraq statik kondensator batareyası qoşurlar (şəkil 13.27) ki, onun tutum cərəyanı yükün induktiv cərəyanını kompensasiya edir. Vektor diaqramı (şəkil 13.27,b) güc əmsalını artırmaq üçün lazım olan kondensatorların tutumunu hesablamağı mümkün edir. Güc əmsalını $\cos\varphi_n$ qiymətindən $\cos\varphi$ qiymətinə qədər artırmaq üçün lazım olan tutum cərəyanını və kondensatorun tutumunu tapa bilərik:

$$I_C = I_a (\operatorname{tg}\varphi_n - \operatorname{tg}\varphi) = I_n \cos\varphi_n (\operatorname{tg}\varphi_n - \operatorname{tg}\varphi) = \frac{P}{U} (\operatorname{tg}\varphi_n - \operatorname{tg}\varphi).$$

$$I_C = \frac{U}{x_C} = \omega C U \quad \text{olduğuna görə kondensatorun}$$

lazım olan tutumu belə tapılır:

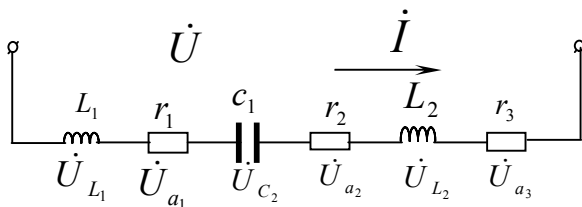
$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg}\varphi_n - \operatorname{tg}\varphi).$$

13.12. Bir fazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrələrinə aid sərbəst işlər üçün məsələlərin həlli metodikası

Məsələ 13.12.1

Şəkil 13.12.1.-də verilmiş budaqlanmayan dəyişən cərəyan dövrəsində məlum qiymətlər əsasında tam müqaviməti, gərginlik düşgülərini və s. hesablamalı. Dövrənin güclər balansını tərtib etməklə, cərəyan və gərginliyə görə kompleks ədədlərə uyğun vektor diaqramını qurmalı.

Verilir: $\dot{U} = 120 \text{ V}$, $r_1 = 10 \text{ Om}$, $r_2 = 24 \text{ Om}$, $r_3 = 15 \text{ m}$, $L_1 = 19 \text{ mHn}$, $L_2 = 60 \text{ mHn}$, $C_1 = 450 \text{ mkF}$, $f = 50 \text{ Hz}$.



Şəkil 13.12.1. Budaqlanmayan dəyişən cərəyan dövrəsi

Həlli:

- 1) Dövrənin tam kompleks müqavimətini təyin edək.

Əvvəl induktiv və tutum müqavimətlərini hesablayaq.

$$X_{L_1} = \omega L_1 = 2 \pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 5,966 \text{ Om} \approx 6 \text{ Om}$$

$$X_{L_2} = \omega L_2 = 2 \pi f L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 18,84 \text{ Om} \approx 19 \text{ Om}$$

$$\begin{aligned} X_{C_1} &= \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{2 \pi f C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 450 \cdot 10^{-6}} = \\ &= \frac{10^6}{314 \cdot 450} = \frac{1000000}{141300} = 7,077 \text{ Om} \approx 7,1 \text{ Om} \end{aligned}$$

Müqavimətin $\dot{Z} = r \pm jX = Z e^{\pm j\varphi}$ düsturunu nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} Z &= r_1 + r_2 + r_3 + jX_{L_1} + jX_{L_2} - jX_{C_1} = 10 + 24 + 25 + j6 + \\ &+ j19 - j7,1 = 49 + j25 - j7,1 = 49 + j17,9 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$Z = \sqrt{49^2 + 17,9^2} = \sqrt{2401 + 320,41} = \sqrt{2721,41} = 52,17 \text{ Om}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{17,9}{49} = 0,3653; \quad \varphi = 20,07^\circ$$

$$\dot{Z} = 52,17e^{+j20,07^\circ} \text{ Om}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= 52,17(\cos 20,07^\circ + j\sin 20,07^\circ) = 52,17 \cdot 0,9393 + \\ &+ j52,17 \cdot 0,3432 = 49 + j17,9 \text{ Om} \end{aligned}$$

Cərəyanı hesablayaq

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}} = \frac{120}{52,17e^{+j20,07^\circ}} = 2,3e^{-j20,07^\circ} \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \dot{I} &= 2,3e^{-j20,07^\circ} = 2,3(\cos 20,07^\circ - j\sin 20,07^\circ) = \\ &= 2,3 \cdot 0,9393 - j2,3 \cdot 0,3432 = 2,16 - j0,79 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Ayrı-ayrı işlədiciyərdə gərginlik düşgünlərini təyin edək

$$\begin{aligned} \dot{U}_{L1} &= X_{L1} \cdot \dot{I} = j6 \cdot 2,3e^{-j20,07^\circ} = 6e^{j90^\circ} \cdot 2,3e^{-j20,07^\circ} = \\ &= 13,8e^{j69,93^\circ} = 13,8(\cos 69,93^\circ + j\sin 69,93^\circ) = \\ &= 13,8 \cdot 0,3432 + j13,8 \cdot 0,9393 = 4,74 + j12,96 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{a1} &= r_1 \cdot \dot{I} = 10 \cdot 2,3e^{-j20,07^\circ} = 23e^{-j20,07^\circ} = 23(\cos 20,07^\circ - j\sin 20,07^\circ) = \\ &= 23 \cdot 0,9393 - j23 \cdot 0,3432 = 21,6 - j7,89 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{C1} &= X_{C1} \cdot \dot{I} = 7,1e^{-j90^\circ} \cdot 2,3e^{-j20,07^\circ} = 16,33e^{-j110,07^\circ} = \\ &= 16,33(\cos 110,07^\circ - j\sin 110,07^\circ) = \\ &= -16,33 \cdot 0,3432 - j16,33 \cdot 0,9393 = -5,6 - j15,34 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{a2} &= r_2 \cdot \dot{I} = 24 \cdot 2,3e^{-j20,07^\circ} = 55,2e^{-j20,07^\circ} = \\ &= 55,2(\cos 20,07^\circ - j\sin 20,07^\circ) = \\ &= 55,2 \cdot 0,9393 - j55,2 \cdot 0,3432 = 51,85 - j18,94 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{L2} &= X_{L2} \cdot \dot{I} = 19e^{j90^\circ} \cdot 2,3e^{-j20,07^\circ} = 43,7e^{j69,93^\circ} = 43,7 \\ &(\cos 69,93^\circ + j\sin 69,93^\circ) = 43,7 \cdot 0,3432 + j43,7 \cdot 0,9393 = 15 + j41,05 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{a3} &= r_3 \cdot \dot{I} = 15 \cdot 2,3e^{-j20,07^0} = 34,5e^{-j20,07^0} = \\ &= 34,5(\cos 20,07^0 - j\sin 20,07^0) = \\ &= 34,5 \cdot 0,9393 - j34,5 \cdot 0,3432 = 32,41 - j11,84 \text{ V} \end{aligned}$$

Kirxhofun ikinci qanununa əsasən

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{a1} + \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{a2} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{a3} = \\ &= 4,74 + j12,96 + 21,6 - j7,89 - 5,6 - j15,34 + \\ &+ 51,85 - j18,94 + 15 + j41,05 + 32,41 - j11,84; \\ &120 \text{ V} \approx 124 \text{ V} \end{aligned}$$

alınır.

3) Dövrənin güclər balansı tənliyini tərtib edək.

$$\begin{aligned} \sim \dot{S} &= \dot{U} \cdot \dot{I}^* = 120 \cdot 2,3e^{j20,07^0} = 276e^{j20,07^0} = \\ &= 276(\cos 20,07^0 + j\sin 20,07^0) = \\ &= 276 \cdot 0,9393 + j276 \cdot 0,3432 = 259,25 + j94,72 \text{ VA} \end{aligned}$$

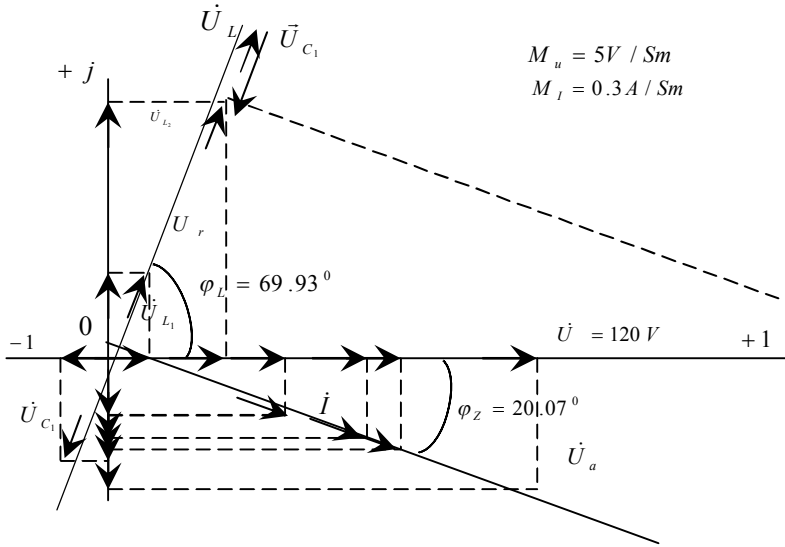
burada **P=259,25 Vt** - aktiv güc; **Q=94,72 VAr** - reaktiv güc

Dövrənin aktiv və reaktiv güclərini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\begin{aligned} P &= \operatorname{Re} \left[\begin{matrix} \dot{U} \cdot \dot{I}^* \\ \dot{U} \dot{I} \end{matrix} \right] = \operatorname{Re} \left[120 \cdot 2,3e^{j20,07^0} \right] = \\ &= 120 \cdot 2,3\cos 20,07^0 = 259,25 \text{ Vt} \end{aligned}$$

və ya

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = r_1 I^2 + r_2 I^2 + r_3 I^2 = I^2 (r_1 + r_2 + r_3) = (2,3^2) \cdot (10 + 24 + 15) = 5,29 \cdot 49 = 259,21 \text{ W}$$



Şəkil 13.12.2 Hesablanmış qiymətlərə uyğun vektor

$$Q = \text{Im} \begin{bmatrix} \bullet & \bullet \\ U & I \end{bmatrix} = \text{Im} \begin{bmatrix} 120 \cdot 2,3 e^{j20,07^\circ} \end{bmatrix} = 120 \cdot 2,3 \sin 20,07^\circ = 94,72 \text{ VAr}$$

və ya

$$\begin{aligned} Q &= (Q_{L1} + Q_{L2}) - Q_{C1} = (x_{L1} I^2 + x_{L2} I^2) - x_{C1} I^2 = \\ &= [6(2,3)^2 + 19(2,3)^2] - 7,1(2,3)^2 = (31,74 + 100,51) - \\ &\quad - 37,559 = 132,25 - 37,559 = 94,691 \text{ VAr} \\ &\quad 94,72 \text{ VAr} \approx 94,691 \text{ VAr} \end{aligned}$$

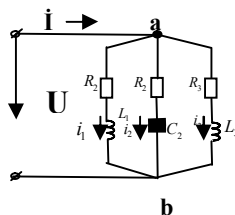
Hesablanmış qiymətlərə uyğun cərəyan və gərginliklərə görə kompleks müstəvidə miqyasla dövrənin vektor diaqramını quraq (şəkil 13.12.2).

Burada

$$\begin{aligned} \bullet & \quad \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ U_L &= U_{L1} + U_{L2}; U_a = U_{a1} + U_{a2} + U_{a3}; & U &= U_a + U_r \\ U &= \sqrt{U_a^2 + U_r^2} = \sqrt{(120)^2 + (54,01 - 54,01)^2} = \sqrt{(120)^2} = 120 \text{ V} \end{aligned}$$

Məsələ 13.12.2

Şəkil 13.12.3-də göstərilmiş və məlum qiymətlərə əsasən ayrı-ayrı qollardan keçən cərəyanları təyin etməli. Dövrənin güclər balansını tənzimləyərək cərəyan və gərginliyə görə vektor diaqramını qurmalı.



Şəkil 13.12.3

Verilir: $R_1 = 40 \text{ Om}$, $R_2 = 20 \text{ Om}$, $R_3 = 10 \text{ Om}$, $L_1 = 31,8 \text{ mH}$, $C_2 = 100 \text{ mkF}$, $L_3 = 95 \text{ mH}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $U = 220 \text{ V}$.

Həlli

1) Budaqların tam müqavimətlərini təyin edək

$$\begin{aligned} x_{L1} &= \omega L_1 = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 31,8 \cdot 10^{-3} = 314 \cdot 31,8 \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,314 \cdot 31,8 = 9,9852 \text{ Om} \approx 10 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet & \\ Z_1 &= R_1 + jx_{L1} = 40 + j10 = 41,23 e^{j14,04^\circ} = \\ 41,23 &\left(\cos 14,04^\circ + j \sin 14,04^\circ \right) = 39,99 + j10 \text{ Om} \approx 40 + j10 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet & \\ Z_2 &= R_2 - jx_{C2} = 20 - j \frac{1}{\omega C_2} = 20 - j \frac{10^6}{31400} = \\ 20 - j31,85 &= 37,61 e^{-j57,87^\circ} = 37,61 \left(\cos 57,87^\circ - j \sin 57,87^\circ \right) \\ &= 20 - j31,85 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$x_{L3} = \omega L_3 = 2\pi f L_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 0,314 \cdot 95 = 29,83 \text{ Om}$$

$$\begin{aligned} \bullet & \\ Z_3 &= R_3 + jx_{L3} = 10 + j29,83 = 31,46 e^{j71,47^\circ} = \\ &= 31,46 \left(\cos 71,47^\circ + j \sin 71,47^\circ \right) = \\ &= 9,998 + j29,829 \text{ Om} \approx 10 + j29,83 \text{ Om} \end{aligned}$$

2) Om qanununa uyğun qollardan keçən cərəyanları təyin edək

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1} = \frac{220}{41,23 e^{j14,04^0}} = 5,336 e^{-j14,04^0} = \\ &= 5,336 (\cos 14,04^0 - j \sin 14,04^0) = 5,18 - j1,29 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_2} = \frac{220}{37,61 e^{-j57,87^0}} = 5,85 e^{j57,87^0} = \\ &= 5,85 (\cos 57,87^0 + j \sin 57,87^0) = 3,11 + j4,95 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_3 &= \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_3} = \frac{220}{31,46 e^{j71,47^0}} = 6,99 e^{-j71,47^0} = \\ &= 6,99 (\cos 71,47^0 - j \sin 71,47^0) = 2,22 - j6,63 \text{ A} \end{aligned}$$

- 3) Kirxhofun birinci qanunu əsasında dövrənin budaqlanmayan hissəsindən keçən cərəyanı təyin edək:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = (5,18 - j1,29) + (3,11 + j4,95) + (2,22 - j6,63) = \\ &= 10,51 - j2,97 = 10,92 e^{-j15,78^0} \\ \dot{I} &= 10,92 e^{-j15,78^0} \text{ A} \end{aligned}$$

Yoxlama

$$\begin{aligned} \dot{Y}_1 &= \frac{1}{\dot{Z}_1} = \frac{1}{41,23 e^{j14,04^0}} = 0,024 e^{-j14,04^0} = \\ &= 0,024 (\cos 14,04^0 - j \sin 14,04^0) = 0,0233 - j0,0058 \text{ Sim} \\ \dot{Y}_2 &= \frac{1}{\dot{Z}_2} = \frac{1}{37,61 e^{-j57,87^0}} = 0,0266 e^{j57,87^0} = \\ &= 0,0266 (\cos 57,87^0 + j \sin 57,87^0) = 0,014 + j0,0225 \text{ Sim} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Y}_3 &= \frac{1}{\dot{Z}_3} = \frac{1}{31,46 e^{j71,47^0}} = 0,0318 e^{-j71,47^0} = \\ &= 0,0318 (\cos 71,47^0 - j \sin 71,47^0) = 0,01 - j0,03 \text{ Sim}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Y}_{um} &= \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 = 0,0233 - j0,0058 + 0,014 + j0,0255 + 0,01 - j0,03 = \\ &= 0,0473 - j0,0133 = 0,0492 e^{-j15,73^0}\end{aligned}$$

$$\dot{I} = U \dot{Y}_{um} = 220 \cdot 0,0492 e^{-j15,73^0} = 10,824 e^{-j15,73^0} \text{ A}$$

yəni

$$10,92 e^{-j15,78^0} \text{ A} \approx 10,824 e^{-j15,73^0} \text{ A}$$

- 4) hesablanmış qiymətlər əsasında qollardan keçən cərəyanların aktiv, reaktiv təşkiledicilərini və keçiriciliklərin aktiv, reaktiv mürəkkəbələrini qeyd edək

$$I_{1a} = I_1 \cos \varphi_1 = 5,335 \frac{R_1}{Z_1} = 5,336 \frac{40}{41,23} = 5,1768 \approx 5,18$$

$$I_{1r} = I_1 \sin \varphi_1 = 5,336 \frac{x_{L1}}{Z_1} = 5,336 \frac{10}{41,23} = 1,2942 \approx 1,29 \text{ A}$$

onda

$$\begin{aligned}I_{2a} &= 3,11 \text{ A}; \quad I_{2r} = 4,95 \text{ A}; \quad I_{3a} = 2,22 \text{ A}; \quad I_{3r} = 6,63 \text{ A} \\ g_{1a} &= g_1 = 0,0233 \text{ Sim}; \quad b_{1l} = 0,0058 \text{ Sim}; \\ g_2 &= 0,014 \text{ Sim}; \quad b_{C2} = b_2 = 0,0225 \text{ Sim}; \\ g_3 &= 0,01 \text{ Sim}; \quad b_{L3} = b_3 = 0,03 \text{ Sim};\end{aligned}$$

$$g_{\dot{u}m} = \dot{Y}_{\dot{u}m} \cos \varphi_{\dot{u}m} = \dot{Y}_{\dot{u}m} \frac{\dot{I}_{a\dot{u}m}}{\dot{I}} = 0,0492 \frac{10,51}{10,92} = 0,0473 \quad \text{Sim}$$

$$b_{\dot{u}m} = \dot{Y}_{\dot{u}m} \sin \varphi_{\dot{u}m} = \dot{Y}_{\dot{u}m} \frac{\dot{I}_{r\dot{u}m}}{\dot{I}} = 0,0492 \frac{2,97}{10,92} = 0,0134 \quad \text{Sim}$$

5) Dövrənin güclər balansını tərtib edək

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= \dot{U} \dot{I}^* = 220 \cdot 10,92 e^{j15,78^0} = 2402,4 e^{j15,78^0} = \\ &= 2402,4 (\cos 15,78^0 + j \sin 15,78^0) = 2311,86 + j653,32 \quad \text{VA} \end{aligned}$$

burada $P_{\dot{u}m} = 2311,86 \text{ Vt}$, $Q_{\dot{u}m} = 653,32 \text{ VAr}$ (induktiv xarakterli).

Yoxlama

$$\begin{aligned} P_{\dot{u}m} &= \text{Re} \left[\dot{U} \dot{I}^* \right] = \text{Re} \left[220 \cdot 10,92 e^{j15,78^0} \right] = \\ &= 220 \cdot 10,92 \cdot \cos 15,78^0 = 2311,86 \quad \text{Vt} \\ Q_{\dot{u}m} &= \text{Im} \left[\dot{U} \dot{I}^* \right] = \text{Im} \left[220 \cdot 10,92 e^{j15,78^0} \right] = \\ &= 220 \cdot 10,92 \cdot \sin 15,78^0 = 653,32 \quad \text{VAr} \end{aligned}$$

yaxud

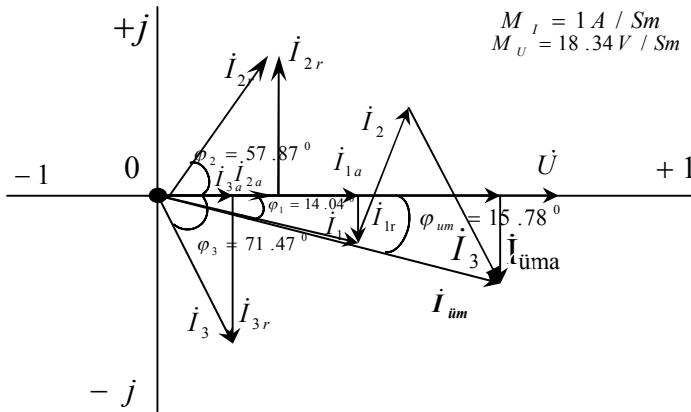
$$\begin{aligned} P_{\dot{u}m} &= P_1 + P_2 + P_3 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 = 40(5,336)^2 + 20(5,85)^2 + \\ &+ 10(6,99)^2 = 1138,916 + 684,45 + 488,6 = 2311,97 \quad \text{V} \end{aligned}$$

$$2311,86 \text{ Vt} \approx 2311,97 \text{ Vt}$$

$$\begin{aligned} Q_{\dot{u}m} &= Q_1 - Q_2 + Q_3 = x_{L1} I_1^2 - x_{C2} I_2^2 + x_{L3} I_3^2 = \\ &= 10(5,336)^2 - 31,85(5,85)^2 + 29,83(6,99)^2 = \\ &= 284,73 - 1089,99 + 1458,497 = 653,24 \quad \text{VAr} \\ 653,32 \text{ VAr} &\approx 653,24 \text{ VAr} \end{aligned}$$

6) Dövrənin gərginlik və cərəyana uyğun miqyasla vektor

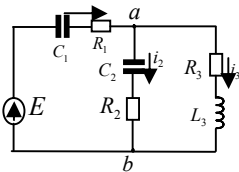
diaqramını quraq (şəkil 13.12.4).



Şəkil 13.12.4 Hesablanmış qiymətlərə uyğun budaqlanan dəyişən cərəyan dövrəsi üçün vektor diaqramı

Məsələ 13.12.3. Şəkil 13.12.5-da göstərilmiş və işlədiciləri qarışıq birləşdirilmiş bir fazalı dəyişən cərəyan dövrəsində məlum qiymətlər əsasında ayrı-ayrı qollardan keçən cərəyanları hesablayın. Dövrənin güclər balansını tərtib etmək, gərginlik və cərəyanı uyğun vektor diaqramını qurun.

Verilir: $E = 120 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $C_1 = 637 \text{ mF}$, $C_2 = 300 \text{ mF}$, $L_3 = 15,9 \text{ mH}$, $R_1 = 8 \text{ Om}$, $R_2 = 3 \text{ Om}$, $R_3 = 4 \text{ Om}$.



Şəkil 13.12.5 Qarışıq birləşmiş dəyişən cərəyan dövrəsi

Həlli:

- 1) Dövrənin ayrı-ayrı qollarının kompleks tam müqavimətlərini hesablayaq:

$$\dot{Z}_1 = R_1 - jx_{C1} = R_1 - j \frac{1}{\omega C_1} = R_1 - j \frac{1}{2\pi f C_1}$$

burada

$$x_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 637 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{314 \cdot 637} = \frac{1000000}{200018} \approx 5 \text{ Om}$$

Onda

$$\dot{Z}_1 = 8 - j5 \text{ Om}; \quad Z_1 = \sqrt{R_1^2 + x_{C1}^2} = \sqrt{8^2 + 5^2} = \sqrt{89} = 9,4 \text{ Om}$$

tam müqavimətin modulu adlanır; $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{x_{C1}}{R_1} = \frac{5}{8} = 0,625$;

$\varphi_1 = \arctg 0,625 = 32^\circ$ arqument adlanır.

Dövrənin budaqlanmayan hissəsinin $\dot{Z}_1$ tam kompleks müqavimətini üstlü və triqonometrik şəkildə ifadə edək:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= Z_1 e^{-j \operatorname{tg} \varphi_1} = 9,4 e^{-j 32^\circ} = 9,4 (\cos \varphi_1 - j \sin \varphi_1) = \\ &= 9,4 (\cos 32^\circ - j \sin 32^\circ) = 7,972 - j 4,981 \approx 8 - j5 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$x_{C2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{2\pi f 300 \cdot 10^{-6}} = \frac{1000000}{314 \cdot 300} = \frac{10000}{942} = 10,61 \text{ Om}$$

$$x_{L3} = \omega L_3 = 2\pi f L_3 = 314 \cdot 15,9 \cdot 10^{-3} = 0,314 \cdot 15,9 = 4,99 \text{ Om}$$

$$\dot{Z}_2 = r_2 - j x_{C2} = 3 - j 10,61 = 11 e^{-j 74,21^\circ} \text{ Om}$$

$$\dot{Z}_3 = r_2 + j x_{L3} = 4 + j 4,99 = 6,4 e^{j 51,28^\circ} \text{ Om}$$

2) Dövrənin tam kompleks müqavimətini təyin edək

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{\text{üm}} &= \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = 8 - j5 + \frac{11 e^{-j 74,21^\circ} \cdot 6,4 e^{j 51,28^\circ}}{3 - j 10,61 + 4 + j 4,99} = \\ &= 8 - j5 + \frac{70,4 e^{-j 22,93^\circ}}{7 - j 5,63} = 8 - j5 + \frac{70,4 e^{-j 22,93^\circ}}{8,98 e^{-j 38,81^\circ}} = \\ &= 8 - j5 + 7,83 e^{j 15,88^\circ} = 8 - j5 + 7,83 (\cos 15,88^\circ + j \sin 15,88^\circ) = \\ &= 8 - j5 + 7,53 + j 2,14 = 15,53 - j 2,86 = 15,79 e^{-j 10,43^\circ} \end{aligned}$$

3) Dövrəyə, tam dövrə üçün Om qanununu tətbiq edərək budaqlanmayan hissədən keçən $\dot{I}_1$ cərəyanını təyin edək:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_{\text{um}}} = \frac{120}{15,79e^{j-10,43^0}} = 7,6e^{j10,43^0} = 7,6 \left(\cos 10,43^0 + j \sin 10,43^0 \right) = 7,47 + j1,38 \text{ Om}$$

4) budaqlardan keçən $\dot{I}_2$ və $\dot{I}_3$ cərəyanlarını hesablamaq üçün $\dot{U}_{ab}$ gərgnliyini hesablayaq:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ab} &= \dot{Z}_{ab} \dot{I}_1 = \dot{Z}_{2,3} \dot{I}_1 = \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} \dot{I}_1 = \frac{11e^{-j74,21^0} \cdot 6,4e^{j51,28^0}}{8,98e^{-j38,81^0}} \\ 7,6e^{j10,43} &= 7,83e^{j15,88^0} \cdot 7,6e^{j10,43^0} = 59,51e^{j26,31^0} = \\ &= 59,51 \left(\cos 26,31^0 + j \sin 26,31^0 \right) = 53,34 + j26,38 \text{ V} \end{aligned}$$

Onda

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}_{ab}}{\dot{Z}_2} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{Z}_2} = \frac{59,51e^{j26,31^0}}{11e^{-j74,21^0}} = 5,41e^{j100,52^0} = \\ &= 5,41 \left(\cos 100,52^0 + j \sin 100,52^0 \right) = -0,99 + j5,32 \text{ A} \\ \dot{I}_3 &= \frac{\dot{U}_{ab}}{\dot{Z}_3} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{Z}_3} = \frac{59,51e^{j26,31^0}}{6,4e^{j51,28^0}} = 9,3e^{-j24,97^0} = \\ &= 9,3 \left(\cos 24,97^0 - j \sin 24,97^0 \right) = 8,43 - j3,92 \text{ A} \end{aligned}$$

Kirxhofun birinci qanununa əsasən

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = -0,99 + j5,32 + 8,43 - j3,92 = 7,44 + j1,4 \text{ A}$$

yəni

$$(7,47 + j1,38) \text{ A} \approx (7,44 + j1,4) \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = 9,4e^{-j32^0} \cdot 7,6e^{j10,43^0} = 71,44e^{-j21,57^0} = \\ &= 71,44 \left(\cos 21,57^0 - j \sin 21,57^0 \right) = 66,44 - j26,26 \text{ V} \end{aligned}$$

Kirxhofun ikinci qanununa əsasən

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \\ E = U_1 + U_{ab} = 66,44 - j26,26 + 53,34 - j26,38 = 119,78 - j0,12 \text{ A}$$

$$E = \sqrt{(119,78)^2 + (0,12)^2} = 119,78 \approx 120 \text{ V}$$

Qeyd: hesabatda kiçik fərqlin olması hesabatın bir qədər təqribi yerinə yetirildiyini göstərir.

5) Dövrənin güclər balansı tənliyini tərtib edək

$$\begin{array}{c} \sim \\ \bullet \bullet \end{array} \\ S = E I_1 = 120 \cdot 7,6e^{-j10,43^\circ} = 912e^{-j10,43^\circ} = \\ = 912 \left(\cos 10,43^\circ - j \sin 10,43^\circ \right) = 896,93 - j165,1 \text{ VA}$$

burada $P = 896,93 \text{ Vt}$ – aktiv güc; $Q = 165,1 \text{ VAr}$ – reaktiv güc (tutum xarakterli), yaxud

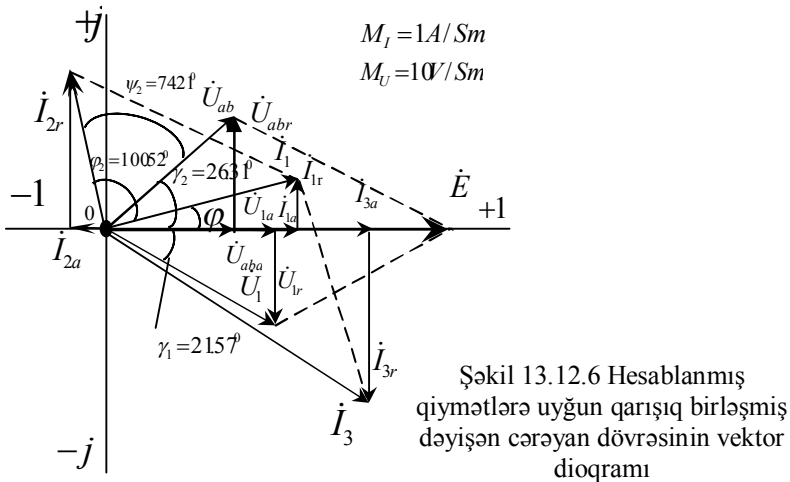
$$\begin{aligned} P &= \operatorname{Re} \left[\begin{array}{c} \bullet \bullet \\ E I_1 \end{array} \right] = \operatorname{Re} \left[120 \cdot 7,6e^{-j10,43^\circ} \right] = 120 \cdot 7,6 \cos 10,43^\circ = \\ &= 912 \cos 10,43^\circ = 912 \cdot 0,9835 = 896,93 \text{ Bt} \\ Q &= \operatorname{Im} \left[\begin{array}{c} \bullet \bullet \\ E I_1 \end{array} \right] = \operatorname{Im} \left[120 \cdot 7,6e^{-j10,43^\circ} \right] = 120 \cdot 7,6 \sin 10,43^\circ = \\ &= 912 \sin 10,43^\circ = 912 \cdot 0,1810 = 165,1 \text{ VAr} \end{aligned}$$

Dövrənin tələb etdiyi aktiv və reaktiv gücü aşağıdakı kimi də təyin etmək olar

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 = \\ &= 8(7,6)^2 + 3(5,41)^2 + (9,3)^2 = 462,08 + 87,8 + 345,96 = 895,76 \text{ Vt} \\ &896,93 \text{ Vt} \approx 895,76 \text{ Vt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_3 - (Q_1 + Q_2) = x_{L3} (I_3)^2 - [x_{C1} (I_1)^2 + x_{C2} (I_2)^2] = \\
 &= 4,99(9,3)^2 - [5(7,6)^2 + 10,61(5,41)^2] = 431,58 - \\
 &- (288,8 + 310,53) = 431,58 - 599,33 = -167,75 \text{ VAr} \\
 &165,1 \text{ VAr} \approx 167,75 \text{ VAr}
 \end{aligned}$$

mənfi işarəsi reaktiv gücün tutum xarakterli olduğunu göstərir.



6) Hesabatdan alınmış qiymətlər əsasında kompleks müstəvidə miqyasla gərginlik və cərəyanı görə dövrənin vektor diaqramını quraq (şəkil 13.12.6).

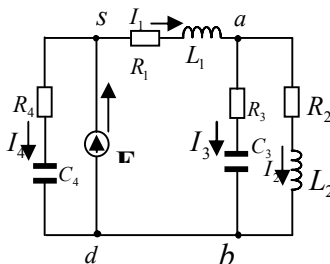
Məsələ 13.12.3. Şəkil 13.12.7-da göstərilmiş və işlədici-ləri qarışıq birləşdirilmiş bir fazalı dəyişən cərəyan dövrəsində məlum qiymətlər əsasında ayrı-ayrı qollardan keçən cərəyanları hesablayın dövrənin güclər balansını tənzimləyən tərtib etməklə gərginlik və cərəyanı uyğun vektor diaqramını qurun.

Verilir: $E=220 \text{ V}$, $f=50 \text{ Hz}$, $R_1=6 \text{ Om}$, $R_2=4 \text{ Om}$, $R_3=10 \text{ Om}$, $R_4=20 \text{ Om}$, $C_3=637 \text{ mkF}$, $C_4=159 \text{ mkF}$, $L_1=25 \text{ mHn}$, $L_2=9 \text{ mHn}$.

Həlli:

- 1) Dövrənin kompleks tam müqavimətini hesablayaq:

$$\dot{Z}_{\text{üm}} = \frac{\left(\dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} \right) \cdot \dot{Z}_4}{\dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} + \dot{Z}_4}$$



Şəkil 13.12.7. Qarışıq birləşmiş dəyişən cərəyan dövrəsi

- 2) Ayrı-ayrı qolların kompleks tam müqavimətlərini təyin edək

$$\begin{aligned} x_{L1} &= \omega L_1 = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = \\ &= 314 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,314 \cdot 25 = 7,85 \text{ Om} \end{aligned}$$

Onda

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= R_1 + jx_{L1} = 6 + j7,85 = 9,88e^{j52,61^0} = \\ &= 9,88(\cos 52,61^0 + j \sin 52,61^0) = \\ &= 5,999 + j7,8495 \approx 6 + j7,85 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{L2} &= \omega L_2 = 2\pi f L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = \\ &= 314 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,314 \cdot 9 = 2,83 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_2 &= R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jx_{L2} = 4 + j2,83 = \\ &= 4,9e^{j35,28^0} = 4,9(\cos 35,28^0 + j \sin 35,28^0) = 4 + j2,83 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$x_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{2\pi f C_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 637 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= \frac{1000000}{314 \cdot 637} = \frac{1000000}{200018} = 4,99955 \approx 5 \text{ Om}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_3 &= R_3 - j \frac{1}{\omega C_3} = R_3 - jx_{C3} = 10 - j5 = 11,18e^{-j26,56^0} = \\ &= 11,18 \left(\cos 26,56^0 - j \sin 26,56^0 \right) = 10 - j4,99897 \approx 10 - j5 \text{ Om} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{C4} &= \frac{1}{\omega C_4} = \frac{1}{2\pi f C_4} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 159 \cdot 10^{-6}} = \\ &= \frac{1000000}{314 \cdot 159} = \frac{1000000}{49926} = 20,03 \text{ Om} \end{aligned}$$

Əgər $R_4 = 0$ olarsa:

$$\dot{Z}_4 = x_{C4} = 20,03e^{-j90^0} \text{ Om}$$

və $R_4 = 20 \text{ Om}$ olarsa :

$$\dot{Z}_4 = R_4 + jx_{C4} = 20 - j20,03 = 28,3e^{-j45,09^0}$$

3) $\dot{Z}_{ab}$, yəni $\dot{Z}_{2,3}$ kompleks tam müqaviməti hesablayaq:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{ab} = \dot{Z}_{2,3} &= \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \frac{4,9e^{j35,28^0} \cdot 11,18e^{-j26,56^0}}{4 + j2,83 + 10 - j5} = \\ &= \frac{54,782e^{j8,72^0}}{14 - j2,17} = \frac{54,782e^{j8,72^0}}{14,17e^{-j8,81^0}} = 3,87e^{j17,53^0} = \\ &= 3,87 \left(\cos 17,53^0 + j \sin 17,53^0 \right) = 3,69 + j1,16 \text{ Om} \end{aligned}$$

Onda dövrənin ümumi, yəni ekvivalent kompleks tam müqaviməti

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{um} &= \frac{(6 + j7,85 + 3,69 + j1,16) \cdot (R_4 - jx_{C4})}{(6 + j7,85 + 3,69 + j1,16 + 20 - j20,03)} = \frac{(9,69 + j9,01)28,3e^{-j45,04^0}}{29,69 - j11,02} = \\ &= \frac{13,23e^{j42,92^0} \cdot 28,3e^{-j45,04^0}}{31,67e^{-j20,36^0}} = \frac{374,41e^{-j2,12^0}}{31,67e^{-j20,36^0}} = \\ &= 11,82e^{j18,24^0} = 11,82 \left(\cos 18,24^0 + j \sin 18,24^0 \right) = 11,23 + j3,7 \text{ Om} \end{aligned}$$

4) Dövrənin budaqlanmayan hissəsindən keçən cərəyanı təyin etmək

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_{\text{üm}}} = \frac{220}{11,82e^{j18,24^0}} = 18,61e^{-j18,24^0} = \\ &= 18,61(\cos 18,24^0 - j\sin 18,24^0) = 17,67 - j5,82 \text{ A} \end{aligned}$$

Dövrənin ayrı-ayrı qollarından (budaqlarından) keçən kompleks cərəyanları hesablayaq:

$$\begin{aligned} \dot{I}_4 &= \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_4} = \frac{220}{28,3e^{-j45,04^0}} = 7,774e^{j45,04^0} = \\ &= 7,774(\cos 45,04^0 + j\sin 45,04^0) = 5,49 + j5,5 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_{2,3}} = \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_{ab}} = \frac{220}{6 + j7,85 + 3,69 + j1,16} = \\ &= \frac{220}{9,69 + j9,01} = \frac{220}{13,23e^{j42,92^0}} = 16,63e^{-j42,92^0} = \\ &= 16,63(\cos 42,92^0 - j\sin 42,92^0) = 12,18 - j11,32 \text{ A} \end{aligned}$$

Kirxhofun 1-ci qanununa əsasən

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_4 \\ 17,67 - j5,82 &= 12,18 - j11,32 + 5,49 + j5,5 \\ 17,67 - j5,82 \text{ A} &= 17,67 - j5,82 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{ab}}{\dot{Z}_2}$$

$\dot{U}_{ab}$ gərginliyini təyin edək

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ab} &= \dot{Z}_{ab} \dot{I}_1 = \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} \dot{I}_1 = 3,87e^{j17,53^0} \cdot 16,63e^{-j42,92^0} = \\ &= 64,36e^{-j25,39^0} = 64,36(\cos 25,39^0 - j\sin 25,39^0) = 58,14 - j27,6V \end{aligned}$$

Onda

$$\begin{aligned}\dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}_{ab}}{\dot{Z}_2} = \frac{64,36e^{-j25,39^0}}{4,9e^{j35,28^0}} = 13,13e^{-j60,67^0} = \\ &= 13,13(\cos 60,67^0 - j\sin 60,67^0) = 6,43 - j11,45 \text{ A} \\ \dot{I}_3 &= \frac{\dot{U}_{ab}}{\dot{Z}_3} = \frac{64,36e^{-j25,39^0}}{11,18e^{-j26,56^0}} = 5,76e^{j1,17^0} = \\ &= 5,76(\cos 1,17^0 + j\sin 1,17^0) = 5,759 + j0,118 \text{ A}\end{aligned}$$

Kirxhofun 1-ci qanunu əsasında $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ olduğundan

$$\begin{aligned}(12,18 - j11,32) &= 6,43 - j11,45 + 5,759 + j0,118 \\ (12,18 - j11,32) \text{ A} &\approx (12,189 - j11,332) \text{ A} \\ \dot{U}_1 &= \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = 9,88e^{j52,61^0} \cdot 16,63e^{-j42,92^0} = 164,3e^{j9,69^0} = \\ &= 164,3(\cos 9,69^0 + j\sin 9,69^0) = 161,95 + j27,65 \text{ V}\end{aligned}$$

Kirxhofun 2-ci qanunu əsasında

$$\begin{aligned}\dot{E} &= \dot{U}_1 + \dot{U}_{ab} \\ 220 \text{ V} &= 161,95 + j27,65 + 58,14 - j27,6 \\ 220 \text{ V} &\approx 220,09 + j0,06 \\ 220 \text{ V} &\approx 220,15 \text{ V}\end{aligned}$$

2) Dövrənin güclər balansını tənzimləyini tərtib edək:

$$\begin{aligned}\tilde{S} &= \dot{E} \dot{I}^* = 220 \cdot 18,61e^{j18,24^0} = 4094,2e^{j18,24^0} = \\ &= 4094,2(\cos 18,24^0 + j\sin 18,24^0) = 3888,483 + j12,81476 \text{ VA}\end{aligned}$$

burada $P_{\text{üm}} = 3888,483 \text{ Vt}$; $Q_{\text{üm}} = 12,81,476 \text{ VAr}$ (induktiv xarakterli).

Aktiv və reaktiv gücləri başqa formada da təyin etmək olar:

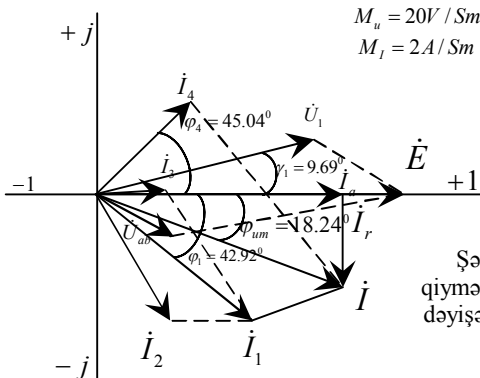
$$\begin{aligned}
 P_{\text{um}} &= \operatorname{Re} \left[\begin{matrix} \bullet & * \\ \mathbf{E} & \mathbf{I} \end{matrix} \right] = \operatorname{Re} \left[220 \cdot 18,61 e^{j18,24^\circ} \right] = \\
 &= 220 \cdot 18,61 \cos 18,24^\circ = 3888,463 \text{ Vt} \\
 Q_{\text{um}} &= \operatorname{Im} \left[\begin{matrix} \bullet & * \\ \mathbf{E} & \mathbf{I} \end{matrix} \right] = \operatorname{Im} \left[220 \cdot 18,61 e^{j18,24^\circ} \right] = \\
 &= 220 \cdot 18,61 \sin 18,24^\circ = 1281,476 \text{ VAr}
 \end{aligned}$$

Yoxlama

$$\begin{aligned}
 P_{\text{um}} &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 = \\
 &= 6(16,63)^2 + 4(13,13)^2 + 10(5,76)^2 + 20(7,774)^2 = \\
 &= 1659,341 + 689,588 + 331,776 + 1208,701 = 3889,406 \text{ Vt} \\
 &3888,483 \text{ Vt} \approx 3889,406 \text{ Vt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{um}} &= (Q_1 + Q_2) - (Q_3 + Q_4) = \left[x_{L1}(I_1)^2 + x_{L2}(I_2)^2 \right] - \\
 &- \left[x_{C3}(I_3)^2 + x_{C4}(I_4)^2 \right] = \left[7,85(16,63)^2 + 2,83(13,13)^2 \right] - \\
 &- \left[5(5,76)^2 + 20,03(7,774)^2 \right] = (2170,972 + 487,883) - \\
 &- (165,888 + 1210,515) = 2658,855 - 1376,404 = 1282,452 \text{ VAr} \\
 &1281,476 \text{ VAr} \approx 1282,452 \text{ VAr}
 \end{aligned}$$

- 3) Hesabatdan alınmış qiymətlər əsasında kompleks müstəvidə miqyasla gərginlik və cərəyana görə dövrənin vektor diaqramını quraq (şəkil 13.12.8.).



Şəkil 13.12.8. Hesablanmış qiymətlərə uyğun qarışıq birləşmiş dəyişən cərəyan dövrəsinin vektor diaqramı

13.13. Birfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrələrinə aid sərbəst işlər

1. Sinusoidal cərəyanın müsbət istiqaməti anlayışını izah edin
2. Müəyyən zaman anı üçün sinusoidal e.h.q mənbəyinin qütblərini göstərmək olarmı?
3. Sinusoidal cərəyanın hansı üstünlükləri onun geniş yayılmasına səbəb olmuşdur?
4. Başlanğıc faza və faza fərqi anlayışlarını izah edin
5. Dəyişən cərəyanın təsir edici qiymətindən istifadə etməyin hansı üstünlükləri vardır?
6. Vektor diaqramı nədir və ondan istifadə etməyin hansı üstünlükləri vardır?
7. İki sinusoidal kəmiyyəti təsvir edən vektorlar 60° bucaq təşkil edir. Tezliyin iki qiyməti - $f_1 = 50$ khc-üçün kəmiyyətlərin maksimal qiymətləri arasındakı zaman fərqi təyin etməli
8. Parametrləri $U_n = 220V$, $I_n = 5A$, $f_n = 50\text{Hz}$, $P_n = 400W$ olan dəyişən cərəyan sarğacını $U=200V$ gərginlikli sabit cərəyan şəbəkəsinə qoşmaq lazımdır. Sarğacda cərəyanın nominal qiymətdə olması üçün (5A) dövrəyə ardıcıl olaraq reostat qoşulmalıdır. Reostarın müqavimətini sarğacın aktiv müqavimətini və induktivliyini tapmalı
9. Ardıcıl dövrə hissələrində gərginliklərin ani qiymətləri verilmişdir:

$$u_1 = 90 \sin(314t + 30^\circ), u_2 = 40 \sin(314t - 60^\circ)$$

$$u_3 = 60 \sin(314t - 150^\circ) .$$

Vektor diaqramının köməyi ilə ümumi gərginliyin ani qiymətini tapmalı.

10. Kondensatorlu dəyişən cərəyan dövrəsində cərəyanın axması faktını izah edin
11. x_L və x_C hesabi kəmiyyətlərin fiziki mahiyyətini aydınlaşdırın. Nə üçün bu kəmiyyətlərin qiymətdən asılıdır?
12. İnduktivlikli dövrədə gedən enerji dəyişməsi prosesini izah edin
13. Kondensatorlu dövrədə gedən enerji dəyişməsi prosesinin fiziki mahiyyətini aydınlaşdırın.
14. Dövrədə tətbiq edilmiş gərginliyin və dövrədən axan cərəyanın ani qiymətləri verilmişdir: $u=141\sin(314t+60^\circ)V$, $i=7,07 \sin 314t A$. Yükün xarakterini və parametrlərini təyin etməli, dövrənin vektor diaqramını qurmalı, paralel və ardıcıl əvəz sxemin çəkməsi.

15. Gərginliyi 100 V olan şəbəkəyə ardıcıl sürətdə 220 mкФ tutumlu kondensator və 5 Ом-luq müqavimət qoşulmuşdur. Dövrənin cərəyanını, aktiv, reaktiv və tam güclərini, güc əmsalını təyin etməli. Vektor diaqramını çəkməli.

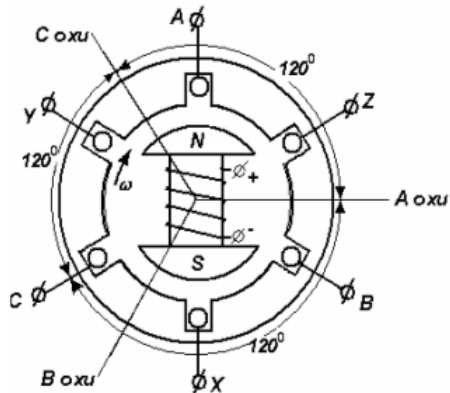
13.14. Üçfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrələri

Əsas anlayışlar. Çoxfazlı dövrələrin xüsusi halı olan **üçfazlı dövrələr**, hər birində eyni tezlikli e.h.q. təsir edən üç birfazlı dövrənin birliyindən ibarətdir. Çoxfazlıya daxil olan birfazlı dövrələrə çoxfazlı dövrənin **fazları** deyilir. Burada biz **faz** anlayışının ikinci mənasından istifadə etdik, bunu onun birinci mənası ilə qarışdırmaq olmaz (e.h.q.-nin, cərəyanın fazı və s.).

Bütün mümkün olan çoxfazlı dövrələrdən ən sadəsi və buna görə də ən geniş yayılanı üçfazlı dövrədir. Fazları elektriki

birleştirilməyibse, üçfazlı dövrə əlaqəsiz, yox əgər belə birləşmə varsa əlaqəli ola bilər. Üçfazlı dövrənin e.h.q.-lərinin vəhdətinə **üçfazlı e.h.q.-lər sistemi**, onun fazlarındakı cərəyanlara isə **üçfazlı cərəyanlar sistemi** deyilir. Praktikada üçfazlı simmetrik sinusoidal e.h.q.-lər sistemindən istifadə edilir, çünki belə sistem texniki-iqtisadi cəhətdən daha əlverişlidir.

Elektrik stansiyalarında elektrik enerjisi yalnız üçfazlı sistem üçün istehsal edilir. Şəkil 13.34-də



Şəkil 13.28.. Üçfazlı generatorun modeli

üçfazlı generatorun modeli təsvir edilmişdir, onun statorunun pазlarında üç eyni cürə dolağın naqilləri yerləşdirilmişdir. Sadə olmaq üçün hər dolaq bir sarğıdan ibarət təsvir edilmişdir. Stator dolaqlarının (fazlarının) oxları fəzada bir-birinə nəzərən 120^0 bucaq qədər sürüşdürülmüşdür. Rotordakı dolaq kənar mənbədən sabit cərəyanla qidalanır.

Rotor ω bucaq sürətilə fırlandıqda onun maqnit sahəsi ardıcıl olaraq faz dolaqlarının naqillərini kəsir və bunlarda faz e.h.q.-lərini induksiylayır. Bu e.h.q.-lər sinusoidal olub fazca üçdə bir period fərqlənirlər. Şəkildən görüldüyü kimi faz dolaqlarının ucları **A-X**, **B-Y**, **C-Z** hərfləri ilə işarə olunmuşdur. Faz dolaqları, yaxud cədcə olaraq generatorun fazları **A**, **B**, **C** hərfləri ilə işarə olunur. ***Faz ardıcılığının düz istiqaməti*** üçün e.h.q.-lərin ani qiymətlərinin ifadələri belə yazılır:

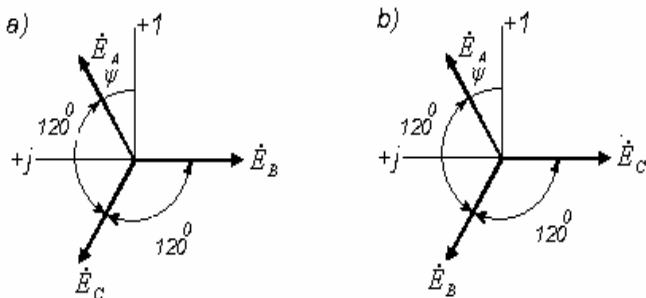
$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin(\omega t + \psi) , \\ e_B &= E_m \sin(\omega t + \psi - 120^0) , \\ e_C &= E_m \sin(\omega t + \psi - 240^0) , \end{aligned}$$

burada E_m —e.h.q.-nin amplitudu; ψ —**A** fazının başlanğıc fazıdır.

Faz ardıcılığının tərs istiqamətini də fərqləndirirlər: **A-C-B**. Bu halda e.h.q.-lərin kompleks ifadələri belə şəkildə olar:

$$\dot{E}_A = E e^{j\psi}, \quad \dot{E}_B = E e^{j\psi - 240^0}, \quad \dot{E}_C = E e^{j\psi - 120^0}.$$

Şəkil 13.29-də üçfazlı e.h.q.-lər sisteminin fazların düz və tərs ardıcılıqları üçün vektor diaqramları göstərilmişdir.



Şəkil 13.29. Faz ardıcılığının istiqamətləri üçün vektor diaqramı

Baxılan simmetrik sinusoidal e.h.q-lər sisteminin cəmi həmişə sıfırdır:

$$e_A + e_B + e_C = 0,$$

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0.$$

Generatorun üçfazlı dolaqlarını birləşdirmə üsulları. Üçfazlı generatorun faz dolaqlarını üç ədəd elektrik enerji qəbuledicisi ilə altı məftillə birləşdirmək olar. Bu halda üç ədəd müstəqil birfazlı dövrə alınır. Praktikada əlaqəsiz üçfazlı dövrələrdən istifadə olunmur. Generatorun faz dolaqları öz aralarında “**ulduz**” (şərti işarəsi Y) və yaxud “**üçbucaq**” (Δ) sxemi üzrə birləşdirilirlər.

13.15. «Ulduz» sxemi üzrə birləşmə

“Ulduz sxemi üzrə birləşdirdikdə faz dolaqlarının son ucları X , Y , Z ümumi düyündə – 0 birləşdirilir (şəkil 13.30). 0 düyünü **generatorun neytralı və ya sıfır nöqtəsi** adlanır. Bu adlandırma həmişə $e_A + e_B + e_C = 0$ olduğu fakta əsaslanmışdır.

İndi generatoru tələbatçı ilə dörd məftil vasitəsilə birləşdirmək olar. Üç geri qayıdan məftilləri əvəz edən və generatorun sıfır nöqtəsindən çıxan məftilə *sıfır və ya neytral məftil* deyilir. Yerdə qalan üç məftil *xətt məftilləri* adlanır.

Şəkil 13.30.-də faz e.h.q.-lərinin, faz və xətt cərəyanlarının müsbət istiqamətləri göstərilmişdir.

Generatorun fazlarından axan cərəyanlara *faz*, xətt məftillərindən axan cərəyanlara *xətt cərəyanları* deyilir.

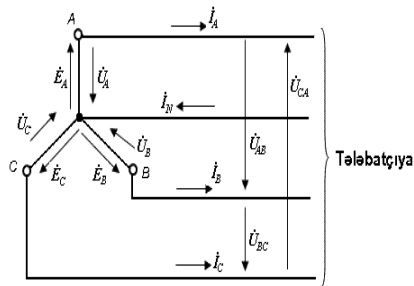
Generatorun ayrı-ayrı faz dolaqlarının uçlarındakı gərginliklərə *faz gərginlikləri* deyilir. Xətt məftilləri arasındakı *gərginliklər xətt gərginlikləri* adlanır.

Şəkil 13.30-da faz və xətt gərginliklərinin işarələri və müsbət istiqamətləri göstərilmişdir.

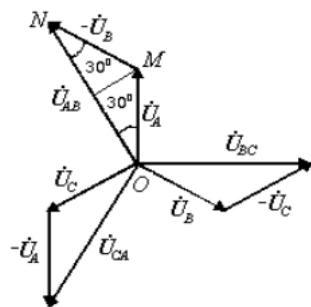
Şəkil 13.31-dən görünür ki, fazları “ulduz” sxemi üzrə birləşdirdikdə xətt cərəyanları faz cərəyanlarına bərabər olur:

$$I_x = I_f.$$

Xətt və faz gərginlikləri arasında aşağıdakı asılılıq vardır (şəkil 13.31):



Şək. 13.30. Faz e.h.q.-lərinin, faz və xətt cərəyanlarının müsbət istiqamətləri



Şəkil 13.31. Faz və xətt gərginliklərinin vektor diaqramı

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B, \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C, \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A.\end{aligned}$$

Faza və xətt gərginliklərinin vektor diaqramı şəkil 13.46-də cöstürilib. Diaqramdakı OMN üçbucağından tapırıq:

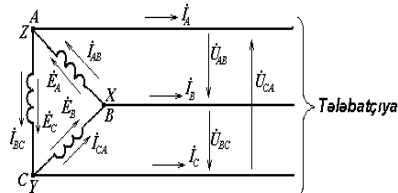
$$U_{AB} = 2 \cdot OM \cdot \cos 30^\circ = 2U_A \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_f.$$

Beləliklə, generatorun fazlarını “ulduz sxemi üzrə birləşdirdikdə xətt gərginliyi faz gərginliyindən $\sqrt{3}$ dəfə böyük olur. Elə buna görədir ki, nöminal dəyişən gərginliklərin bir-birinə nisbəti $\sqrt{3}$ -ə bərabərdir: 127, 220, 380, 660V.

13.16. “Üçbucaq” sxemi üzrə birləşmə

Generatorun faz dolaqlarının “üçbucaq” sxemi üzrə birləşməsinə baxaq.

Generatorun faza dolaqlarını “üçbucaq” sxemi üzrə birləşdirmək üçün birinci faz dolağının X son ucunu ikinci faza dolağının başlanğıc B ucuna, ikincinin Y son ucunu üçüncünün başlanğıc C ucuna və üçüncünün Z son ucunu birinci faza dolağının başlanğıc A ucuna birləşdirmək lazımdır (şəkil 13.32).



Şəkil 13.32. Üçbucaq sxemi üzrə birləşmə

Generatorun faz dolaqlarının belə sxem üzrə birləşdirməyin mümkünlüyü o fakta əsaslanır ki,

istənilən zaman anında $e_A + e_B + e_C = 0$ və buna görə də generatorun fazalarının yaratdığı üçbucağın daxilində bərabərləşdirici cərəyan yaranmır.

Generatorun faz dolaqlarını “üçbucaq” sxemi üzrə birləşdirdikdə sıfır məftili olmur, təkcə xətt məftilləri olur.

Şəkil 13.33–da e.h.q.-

lərin, cərəyanların və gərginliklərin müsbət istiqamətləri göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, faz dolaqlarını “üçbucaq” sxemi üzrə birləşdirdikdə xətt gərginlikləri faz gərginliklərinə bərabər olur:

$$U_x = U_f .$$

Xətt cərəyanları faz cərəyanları vasitəsilə Kirxhofun birinci qanununa əsasən belə ifadə olunur:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}, \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}, \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

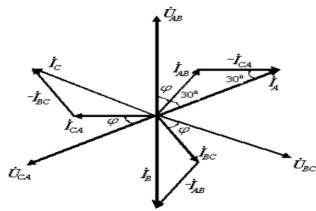
Tutaq ki, yük simmetrikdir, onda cərəyanlar modulca bərabər olar:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} \quad \text{və} \quad I_A = I_B = I_C .$$

Bunu vektor diaqramı vasitəsilə isbat etmək olar (şəkil 13.33). Faz və xətt cərəyanları vektor diaqramında üç ədəd bərabərənli üçbucaq təşkil edir. Bu üçbucaqlardan tapırıq ki:

$$I_x = I_A = 2I_f \cos 30^\circ = \sqrt{3}I_f$$

Bütün yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, üçfazlı dövrlər dördməftilli və yaxud üç məftilli ola bilər, yəni generatorun elektrik enerji işlədiciylə birləşməsi, generatorun faz dolaqlarının birləşmə üsulu ilə asılı olaraq, dörd və yaxud üç məftillə ola



Şəkil 13.33. Üçbucaq birləşmiş simmetrik yük üçün vektor diaqramı

bilər. Generatorun fazlarını “ulduz” sxemilə birləşdirdikdə və yük simmetrik olduqda xətt cərəyanlarının cəmi həmişə sıfır olur. Bunu isbat etmək çətin deyildir. Əgər fazların e.h.q.-ləri simmetrikdirsə, onda generatorun faz gərginlikləri də simmetrikdir:

$$\dot{U}_A = U_f, \quad \dot{U}_B = U_f e^{-j120^\circ}, \quad \dot{U}_C = U_f e^{j120^\circ}.$$

Belə halda yük simmetrik olarsa, xətt (və faz) cərəyanları da simmetrik olar:

$$i_A = \frac{\dot{U}_A}{\dot{Z}_A} = \frac{U_f}{Z_f} e^{j\varphi} = I_f e^{j\varphi},$$

$$i_B = \frac{\dot{U}_B}{\dot{Z}_B} = \frac{U_f}{Z_f} e^{-j120^\circ} e^{j\varphi} = I_f e^{j(\varphi-120^\circ)},$$

$$i_C = \frac{\dot{U}_C}{\dot{Z}_C} = \frac{U_f}{Z_f} e^{j120^\circ} e^{j\varphi} = I_f e^{j(\varphi+120^\circ)}.$$

Bu cərəyanların cəmi sıfır məftilindən axır və sıfıra bərabərdir:

$$i_N = i_A + i_B + i_C = I_f e^{j\varphi} (1 + e^{-j120^\circ} + e^{j120^\circ}) = 0.$$

Buna görə də simmetrik yük halında sıfır məftili lazım deyildir.

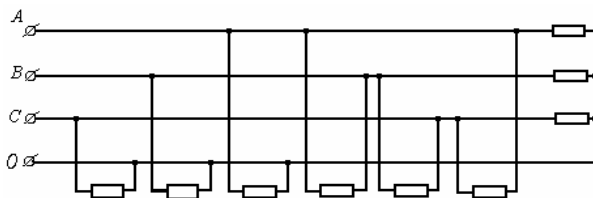
13.17. Üçfazlı şəbəkəyə birfazlı və üçfazlı işlədicilərin qoşulma üsulları

Bir fazlı işlədiciləri, nominal gərginliyindən asılı olaraq, dördməftilli üçfazlı şəbəkənin faz gərginliklərinə, ya da fazlararası gərginliklərinə qoşmaq olar. Bu zaman bir fazlı işlədicilərin qoşulması bir-birindən asılı olmadan icra edilir. Fazlar

arası gərginliyə qoşulduqda birfazlı işlədicilər “üçbucaq” sxemi üzrə birləşmiş olurlar. Faz gərginliyinə qoşulduqda birfazlı işlədicilər öz aralarında “ulduz” sxemi üzrə birləşmiş olurlar (şəkil 13.34).

Şəkil 13.34-da birfazlı işlədicilərin üçfazlı şəbəkəyə qoşulması təsvir edilib. Şəkində 6 ədəd birfazlı işlədici faz gərginliyinə, 3 ədədi isə fazlararası gərginliyə qoşulmuşdur. Birfazlı işlədiciləri öz aralarında əvvəlcədən “ulduz” və yaxud “üçbucaq” sxemi üzrə birləşdirmək, sonra isə üçfazlı şəbəkəyə qoşmaq olar.

Hər bir halda birfazlı işlədiciləri üçfazlı şəbəkəyə elə hesabla qoşmaq lazımdır ki, faz və xətt cərəyanları mümkün qədər simmetrik olsun. Qeyrisimmetrik yük halında və xətt məftillərindən biri(üçməftilli şəbəkədə), yaxud sıfır məftili qırıldıqda bütün işlədicilərin normal işi pozulur. Bu zaman ayrı-ayrı işlədicilər sıradan çıxmağa da bilər.



Şəkil 13.34. Birfazlı işlədicilərin üçfazlı şəbəkəyə qoşulması

Üçfazlı işlədicilər şəbəkənin gərginliyindən və özünün nominal gərginliyindən asılı olaraq “ulduz” və yaxud “üçbucaq” sxemi üzrə birləşdirilir və üçfazlı şəbəkəyə qoşulur. Üçfazlı işlədicilər simmet-

rik yüklərdir, buna görə də onları qidalandırmaq üçün üçməftilli şəbəkə kifayətdir.

13.18. Simmetrik yüklü üçməftilli dövrənin hesabı

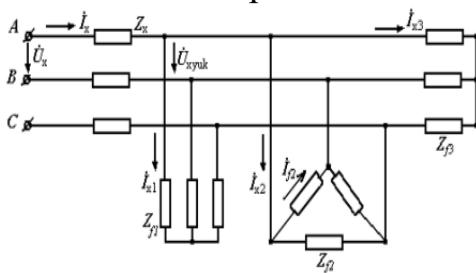
Simmetrik yük halında üçfazlı dövrə-lərin hissələrində cərəyanların və gərginliklərin hesabını bir faz üçün icra edirlər.

Hesablama bir enerji mənbəsi olan birfazlı dövrələrdə istifadə edilən metodlarla aparıla bilər.

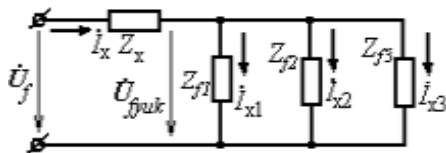
Şəkil 13.35-da göstərilmiş üç-fazlı dövrəyə baxaq. Üçfazlı şəbəkəyə üç ədəd simmetrik işlədicilər qrupu oşulmuşdur. Onlardan ikisi “ulduz”, biri isə “üçbucaq”

sxemi üzrə birləşmişdir. Xətt məftillərinin də Z_x müqavimətləri nəzərə alınmışdır. Bütün sistemin və ayrı-ayrı işlədicilərin xətt cərəyanlarını ($I_x, I_{x1}, I_{x2}, I_{x3}$) tapmaq tələb olunur.

Əgər Z_{Δ} müqavimətlərinin “üçbucaq” sxemindən ekvivalent “ulduz” sxeminə keçilərsə, onda verilmiş simmetrik üçfazlı dövrənin bir fəzi üçün şəkil 13.36-də göstə-



Şəkil 13.35. Üçfazlı dövrəyə işlədicilərin qoşulması



Şəkil 13.36. Ekvivalent sxemin qurulması

rilmiş ekvivalent birfazlı sxemi tərtib etmək olar.
Belə birfazlı dövrəni hesablamaq çətin deyildir.

Dövrənin girişində faz gərginliyi təsir edir:

$$U_f = \frac{U_x}{\sqrt{3}}.$$

Fazın ekvivalent müqavimətini təyin edirik:

$$\dot{Z}_f = \dot{Z}_x + \frac{1}{\frac{1}{Z_{f1}} + \frac{1}{Z_{f2}} + \frac{1}{Z_{f3}}} = r_f + jx_f = Z_f e^{j\varphi}.$$

Xətt cərəyanını tapırıq:

$$I_x = I_f = \frac{U_f}{Z_f}, \quad \varphi = \arctg \frac{x_f}{r_f},$$

yüklərin gərginliyi

$$\dot{U}_{f,yük} = \dot{U}_f - \dot{I}_x \cdot \dot{Z}_x, \quad U_{x,yük} = \sqrt{3} U_f,$$

ayrı-ayrı işlədicilər qrupunun cərəyanları:

$$I_{f1} = I_{x1} = \frac{U_{fyük}}{Z_{f1}}, \quad I_{f2} = \frac{U_{fyük}}{Z_{f2}},$$

$$I_{x2} = \sqrt{3} I_{f2}, \quad I_{f3} = I_{x3} = \frac{U_{fyük}}{Z_{f3}},$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{x_{f1}}{r_{f1}}, \quad \varphi_2 = \arctg \frac{x_{f2}}{r_{f2}}, \quad \varphi_3 = \arctg \frac{x_{f3}}{r_{f3}}.$$

Xəttin müqavimətində gərginlik düşgüsünü də tapmaq olar:

$$\Delta U_x = \sqrt{3} I_x Z_x.$$

13.19. Qeyri-simmetrik yüklü üçfazlı dövrənin hesabı

A. “Üçbucaq sxemi üzrə birləşmiş qeyri-simmetrik yüklü üçfazlı dövrənin hesabı fazların cərəyanlarının Om qanununa görə hesablanmasına gətirir. Bütün normal hallarda mənbənin xətt gərginlikləri simmetrikdir; bu gərginliklərin komplekslərini belə şəkildə yazmaq lazımdır:

$$\dot{U}_{AB} = U_x, \quad \dot{U}_{BC} = U_x e^{-j120^\circ}, \quad \dot{U}_{CA} = U_x e^{j120^\circ}.$$

İşlədicinin faz cərəyanları (şəkil 13.37) Om qanununa görə təyin edilir:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}} = \frac{U_x}{Z_{AB} e^{j\varphi_{AB}}} = I_{AB} e^{-j\varphi_{AB}},$$

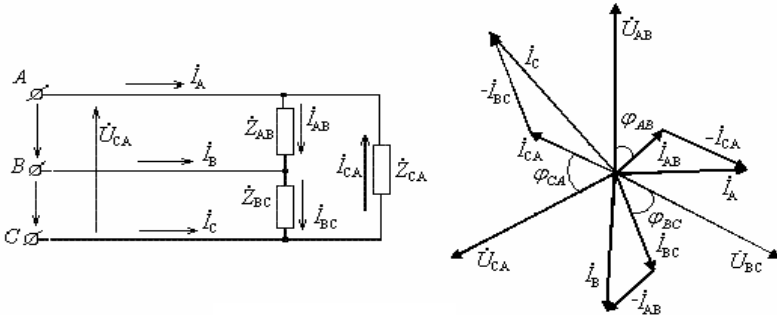
$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{Z}_{BC}} = \frac{U_x e^{-j120^\circ}}{Z_{BC} e^{j\varphi_{BC}}} = I_{BC} e^{-j(120^\circ + \varphi_{BC})},$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\dot{Z}_{CA}} = \frac{U_x e^{j120^\circ}}{Z_{CA} e^{j\varphi_{CA}}} = I_{CA} e^{j(120^\circ - \varphi_{CA})}.$$

Sonra xətt cərəyanları hesablanır:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

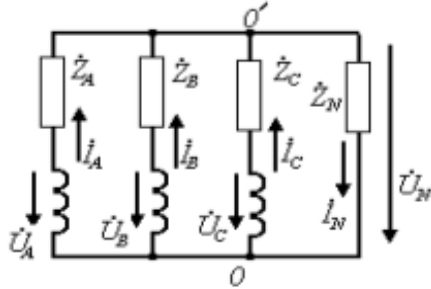
Baxılan hal üçün cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramı şəkil 13.37,b-də göstərilmişdir



Şəkil 13.37. Qeyri simmetrik yüklü üçfazlı dövrə (a), cərəyanların və gərginliklərin vektor diaqramları (b)

“Üldüz” sxemi üzrə, sıfır məftilsiz, yaxud sıfır məftilli, birləşmiş qeyri-simmetrik yüklü üçfazlı dövrənin hesabı birfazlı mürəkkəb dövrlərin hesablama metodları ilə aparılır. İki düyün arasında gərginlik metodundan istifadə etdikdə ən sadə ifadələr alınır. Bundan ötrü üçfazlı dövrə, “ulduz” sxemi üzrə birləşmiş təsəvvür edilən enerji mənbəsi ilə təsvir edilməlidir (şəkil 13.38). Bu halda O və O' düyünləri arasında gərginlik belə düsturla hesablanır:

$$\begin{aligned}\dot{U}_N &= \\ &= \frac{\dot{U}_A \dot{Y}_A + \dot{U}_B \dot{Y}_B + \dot{U}_C \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}.\end{aligned}$$



Şəkil 13.38. Ulduz sxemli qeyri-simmetrik dövrə

burada $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$, $\dot{U}_C$ - təsəvvür edilən üçfazlı generatorun faz gərginlikləridir; $\dot{Y}_A$, $\dot{Y}_B$, $\dot{Y}_C$ - ayrı - ayrı fazların tam kompleks keçiricilikləridir; $\dot{Y}_N$ - sıfır məftilinin keçiriciliyidir.

Generatorun faz gərginlikləri simmetrik olduğu üçün verilmiş xətt gərginliklərinə görə faz gərginliklərini tapmaq olar:

$$\dot{U}_A = U_f, \dot{U}_B = U_f e^{-j120^\circ} = a^2 U_f = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) U_f,$$

$$\dot{U}_C = U_f e^{j120^\circ} = a U_f = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) U_f.$$

burada $U_f = U_x / \sqrt{3}$ - generatorun faz gərginliyinin moduludur;

$a = e^{j120^\circ}$ - döndərici operatorudur.

Beləliklə, generatorun və yükün sıfır nöqtələri arasındakı gərginlik üçün alırıq:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{Y}_A + a^2 \dot{Y}_B + a \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N} U_f.$$

Bu gərginliyə, çox vaxt, *neytralin yerdəyişmə gərginliyi* deyilir. İndi yükün fazlarında gərginlikləri təyin etmək olar:

$$\dot{U}_{\text{Ayuk}} = \dot{U}_A - \dot{U}_N, \quad \dot{U}_{\text{Byuk}} = \dot{U}_B - \dot{U}_N, \quad \dot{U}_{\text{Cyuk}} = \dot{U}_C - \dot{U}_N.$$

Om qanununa əsasən faz cərəyanlarını tapırıq:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_{\text{Ayuk}} \dot{Y}_A, \quad \dot{I}_B = \dot{U}_{\text{Byuk}} \dot{Y}_B, \quad \dot{I}_C = \dot{U}_{\text{Cyuk}} \dot{Y}_C.$$

Sıfır məftilinin cərəyanı:

$$\dot{I}_N = \dot{U}_N \dot{Y}_N.$$

Daha mürəkkəb qeyri-simmetrik üçfazlı sxemləri hesabladıqda onları çevirmələr yolu ilə ekvivalent “ulduz” sxeminə gətirirlər.

13.20. Üçfazlı dövrənin gücü

Üçfazlı dövrənin aktiv gücü ayrı-ayrı fazların aktiv güclərinin cəminə bərabərdir:

$$P = P_A + P_B + P_C = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA},$$

burada P_A , P_B , P_C , P_{AB} , P_{BC} , P_{CA} – işlədiciləri “ulduz” və ya “üçbucaq” birləşməsinə uyğun olaraq fazların aktiv gücləridir.

Simmetrik yük zamanı fazların gücləri eyni olur, buna görə də $P = 3P_f$.

Hər bir faz üçün dəyişən cərəyanın gücünün ümumi ifadəsi doğrudur:

$$P_f = U_f I_f \cos \varphi,$$

burada ϕ – faz gərginliyi ilə cərəyanı arasındakı faz fərqi bucağıdır.

İşlədiciləri “ulduz” sxemi üzrə birləşdirdikdə $U_f = U_x / \sqrt{3}$, $I_f = I_x$, “üçbucaq” sxemi üzrə birləşdirdikdə isə $U_f = U_x$, $I_f = I_x / \sqrt{3}$. Buna görə də, birləşmə sxemindən asılı olmayaraq, aktiv güc xətt kəmiyyətləri vasitəsi ilə eyni cür ifadə olunur:

$$P = 3 U_f I_f \cos \varphi = \sqrt{3} U_x I_x \cos \varphi .$$

Analoji olaraq üçfazlı dövrənin reaktiv gücünün ifadəsini tapırıq:

$$Q = 3 U_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3} U_x I_x \sin \varphi .$$

Üçfazlı dövrənin tam gücü üçün yazmaq olar:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} U_x I_x .$$

Güclər üçün alınmış ifadələr yalnız simmetrik dövrə üçün doğrudur. Qeyri-simmetrik üçfazlı dövrə üçün ayrı-ayrı fazların gücləri bir-birinə bərabər deyil. Buna görə də bütün dövrənin gücünü, sıfır məftilindəki yük daxil olmaqla, bütün fazların güclərini toplamaqla təyin edirlər. “Ulduz sxemi üzrə birləşmiş sıfır məftilli üçfazlı dövrənin gücü kompleks şəkildə aşağıdakı kimi yazılır:

$$\tilde{S} = \dot{U}_{Ayuk} \tilde{I}_A + \dot{U}_{Byuk} \tilde{I}_B + \dot{U}_{Cyuk} \tilde{I}_C + \dot{U}_N \tilde{I}_N .$$

$$\tilde{I}_N = \tilde{I}_A + \tilde{I}_B + \tilde{I}_C$$

olduğu nəzərə alınsa, belə yazmaq olar:

$$\begin{aligned}\tilde{S} &= (\dot{U}_{Ayuk} + \dot{U}_N) \tilde{I}_A + (\dot{U}_{Byuk} + \dot{U}_N) \tilde{I}_B + (\dot{U}_{Cyuk} + \dot{U}_N) \tilde{I}_C = \\ &= \dot{U}_A \tilde{I}_A + \dot{U}_B \tilde{I}_B + \dot{U}_C \tilde{I}_C.\end{aligned}$$

Bu ifadədə həqiqi və xəyali hissələri ayırıb aktiv, reaktiv və tam güclərin ifadələrini alırıq:

$$\begin{aligned}P &= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C, \\ Q &= U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C, \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2},\end{aligned}$$

burada $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ - generatorun (enerji mənbəsinin) müvafiq fazlarının gərginlik və cərəyanı arasında fazalar fərqi.

“Uçbucaq” sxemi üzrə birləşmiş üçfazlı dövrənin tam gücü kompleks şəkildə aşağıdakı kimi yazılır:

$$\tilde{S} = \dot{U}_{AB} \tilde{I}_{AB} + \dot{U}_{BC} \tilde{I}_{BC} + \dot{U}_{CA} \tilde{I}_{CA}.$$

Nəzərə alınsa ki,

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A,$$

onda

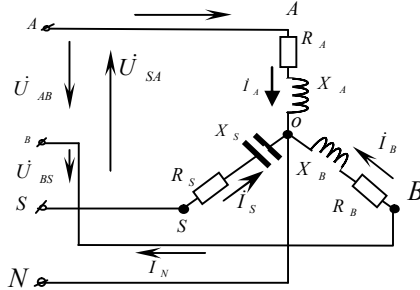
$$\begin{aligned}\tilde{S} &= (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \tilde{I}_{AB} + (\dot{U}_B - \dot{U}_C) \tilde{I}_{BC} + (\dot{U}_C - \dot{U}_A) \tilde{I}_{CA} = \\ &= \dot{U}_A (\tilde{I}_{AB} - \tilde{I}_{CA}) + \dot{U}_B (\tilde{I}_{BC} - \tilde{I}_{AB}) + \dot{U}_C (\tilde{I}_{CA} - \tilde{I}_{BC}) = \\ &= \dot{U}_A \tilde{I}_A + \dot{U}_B \tilde{I}_B + \dot{U}_C \tilde{I}_C.\end{aligned}$$

Beləliklə alırıq ki, tam gücün kompleksi, generatorun faz kəmiyyətləri vasitəsilə, işlədiciyə birləşmə sxemindən asılı olmayaraq eyni cürə ifadə edilir.

13.21. Üçfazlı dəyişən cərəyan dövrəsinə aid sərbəst işlər üçün məsələlərin həlli metodikası

Məsələ 13.21.1

Şəkil 13.21.1-də göstərilmiş «ulduz» sxemi üzrə birləşmiş üçfazlı dövrədə məlum qiymətlər əsasında fazalardan və neytral məftildən keçən cərəyanları, aktiv, reaktiv, tam gücləri təyin etməli. Kompleks müstəvidə cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramını qurmali.



Şəkil 13.21.1 “Ulduz”sxemi üzrə birləşmiş üçfazlı dövrə

Verilir: $U_x = 220 \text{ V}$, $R_A = 8 \text{ Om}$, $R_B = 4 \text{ Om}$, $R_S = 6 \text{ Om}$, $x_A = 4 \text{ Om}$, $x_B = 3 \text{ Om}$, $x_S = 8 \text{ Om}$.

Həlli.

1) Fərz edək ki, faza gərginliyi $\dot{U}_A$ vektoru kompleks müstəvidə həqiqi ox üzrə istiqamətlənmişdir. Onda

$$\dot{U}_f = \dot{U}_A = \frac{\dot{U}_x}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}; \quad \dot{U}_B = 127e^{-j120^\circ} \text{ V}; \quad \dot{U}_S = 127e^{j120^\circ} \text{ V};$$

olur.

2) Fazaların kompleks tam müqavimətlərini təyin edək:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_A &= R_A + jx_A = 8 + j4 = 8,94e^{j26,56^\circ} = 8,94(\cos 26,56^\circ + j \sin 26,56^\circ) = \\ &= 7,996 + j3,977 \text{ Om} \approx 8 + j40 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_B &= R_B + jx_B = 4 + j3 = 5e^{j36,87^\circ} = 5(\cos 36,87^\circ + j \sin 36,87^\circ) = \\ &= 5 \cdot 0,8 + j5 \cdot 0,6 \text{ Om} = 4 + j30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_S &= R_S + jx_S = 6 - j8 = 10e^{j53,13^\circ} = 10(\cos 53,13^\circ + j \sin 53,13^\circ) = \\ &= 10 \cdot 0,6 - j10 \cdot 0,8 \text{ Om} = 6 - j80 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Faza xəttlərindən keçən cərəyanları təyin edək:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = \frac{127}{8,94e^{j26,56^0}} = 14,21e^{-j26,56^0} = \\ &= 14,21(\cos 26,56^0 - j\sin 26,56^0) = 12,71 - j6,35 A \\ \dot{I}_B &= \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{127e^{-j120^0}}{5e^{j36,87^0}} = 25,4e^{-j156,87^0} = \\ &= 25,4(\cos 156,87^0 - j\sin 156,87^0) = -23,36 - j9,98 A \\ \dot{I}_S &= \frac{\dot{U}_S}{Z_S} = \frac{127e^{-j240^0}}{10e^{j53,13^0}} = 12,7e^{-j186,87^0} = \\ &= 12,7(\cos 186,87^0 - j\sin 186,87^0) = -12,61 + j1,52 A\end{aligned}$$

və yaxud

$$\dot{I}_S = \frac{127e^{j120^0}}{10e^{-j53,13^0}} = 12,7e^{-j173,13^0}$$

4) Neytral məftildən keçən cərəyanı, Kirxhofun birinci qanununu «0» düyün nöqtəsinə tətbiq edərək hesablayaq:

$$\begin{aligned}\dot{I}_N &= \dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 12,71 - j6,35 - 23,36 - j9,98 - \\ &- 12,61 + j1,52 = -23,26 - j14,81 = 27,575e^{j32,49^0} = \\ &= 27,575(\cos 32,49^0 - j\sin 32,49^0) = -23,26 - j14,81 A\end{aligned}$$

5) Fazaların tələb etdiyi tam, aktiv və reaktiv gücləri hesablayaq:

$$\begin{aligned}\sim \dot{S}_A &= \dot{U}_A \dot{I}_A^* = 127 \cdot 14,21e^{j26,56^0} = 1804,67e^{j26,56^0} = \\ &= 1804,67(\cos 26,56^0 + j\sin 26,56^0) = 1614,22 + j806,98 VA\end{aligned}$$

burada $P_A = 1614,22$ Vt; $Q_A = 806,93$ VAr (induktiv xarakterli) və ya

$$P_A = R_A I_A^2 = 8(14,21)^2 = 1615,39$$

$$1614,22 \text{ Vt} \approx 1615,39 \text{ Vt}$$

$$Q_A = x_A I_A^2 = 4(14,21)^2 = 807,7$$

$$806,93 \text{ VAR} \approx 807,7 \text{ VAR}$$

$$\begin{aligned} \tilde{S}_B &= \tilde{U}_B \tilde{I}_B^* = 127 e^{-j120^\circ} x \\ &= 25,4 e^{j156,87^\circ} = \\ &= 3225,8 e^{j36,87^\circ} = \\ &= 3225,8 (\cos 36,87^\circ + j \sin 36,87^\circ) = \\ &= 2580,64 + j1935,48 \text{ VA} \end{aligned}$$

burada

$$P_B = 2580,64 \text{ Vt}, Q_B = 1935,48 \text{ VAR}$$

və ya

$$P_B = R_B I_B^2 = 4(25,4)^2 = 2580,64 \text{ Vt}$$

$$2580,64 \text{ Vt} \approx 2680,64 \text{ Vt}$$

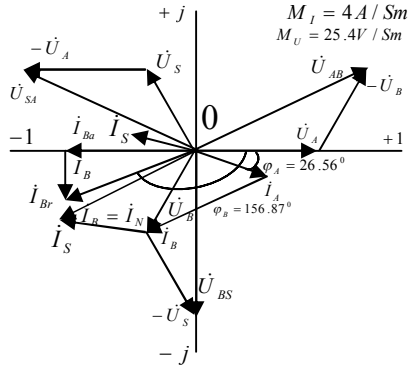
$$Q_B = x_B I_B^2 = 3(25,4)^2 = 1935,48 \text{ VAR}$$

$$1935,48 \text{ VAR} = 1935,48 \text{ VAR}$$

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} = \sqrt{(2580,64)^2 + (1935,48)^2}$$

$$= 3225,8 \text{ VA}$$

$$3225,8 \text{ VA} = 3225,8 \text{ VA}$$



Şəkil 13.21.2 Hesabat əsasında alınmış qiymətlərə uyğun kompleks müstəvidə gərginlik və cərəyanların vektor diaqramı

$$\begin{aligned} \tilde{S}_S &= \dot{U}_C \dot{I}_C^* = 127e^{j120^0} \cdot 12,7e^{-j173,13^0} = 1612,9e^{-j53,13^0} = \\ &= 1612,9(\cos 53,13^0 - j\sin 53,13^0) = 967,74 - j1290,32 \text{ VA} \end{aligned}$$

burada $P_C = 967,74 \text{ Vt}$; $Q_C = 1290,32 \text{ VA.r}$ (mənfi işarə ilə alındığı üçün reaktiv güc tutum xarakterlidir) və ya

$$\begin{aligned} P_S &= R_S I_S^2 = 6(12,7)^2 = 967,74 \text{ Vt} \\ 967,74 \text{ Vt} &= 967,74 \text{ Vt} \\ Q_S &= x_S I_S^2 = 8(12,7)^2 = 1290,32 \text{ VAr} \\ 1290,32 \text{ VAr} &= 1290,32 \text{ VAr} \end{aligned}$$

Miqyasla kompleks müstəvidə gərginlik və cərəyanların vektor diaqramını quraq (şəkil 13.21.2).

Məsələ 13.21.2

Şəkil 13.21.3-də göstərilmiş «üçbucaq» sxemi üzrə birləşmiş üçfazlı dövrədə məlum qiymətlər əsasında faza və xətlərdən keçən cərəyanları, aktiv, reaktiv, tam gücləri təyin etməli. Kompleks müstəvidə cərəyanlar və gərginliklər üçün vektor diaqramını qurmalı.

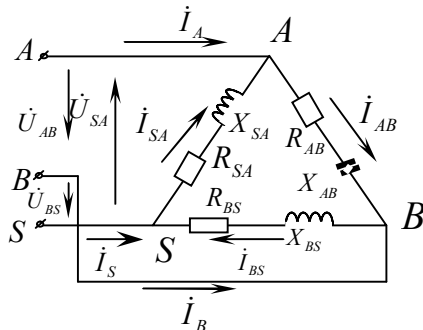
Verilir: $U_x = 380 \text{ Om}$, $R_{AB} = 8 \text{ Om}$, $R_{BS} = 4 \text{ Om}$, $R_{SA} = 6 \text{ Om}$, $x_{AB} = 4 \text{ Om}$, $x_{BS} = 3 \text{ Om}$, $x_{SA} = 8 \text{ Om}$.

Həlli.

1) $\dot{U}_{AB}$ xətt gərginliyinin həqiqi ox istiqamətində yönəldiyini nəzərə alaraq, onda

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_x = U_f = 380 \text{ V} \\ \dot{U}_{BS} &= 380e^{-j120^0} \text{ V} \\ \dot{U}_{SA} &= 380e^{-j240^0} = 380e^{j120^0} \end{aligned}$$

burada



Şəkil 13.21.3. «Üçbucaq» sxemi üzrə birləşmiş üçfazlı dövrə

$$\bullet \\ U_{AB} = 380V$$

$$\bullet \\ U_{BS} = 380(\cos 120^0 - j \sin 120^0) = -190 - j329,09V$$

$$\bullet \\ U_{SA} = 380(\cos 240^0 - j \sin 240^0) = -190 + j329,09V$$

və ya

$$\bullet \\ U_{SA} = 380(\cos 120^0 + j \sin 120^0) = -190 + j329,09V$$

2) Ayrı-ayrı fazaların kompleks tam müqavimətlərini təyin edək:

$$\bullet \\ Z_{AB} = R_{AB} - jx_{AB} = 8 - j4 = 8,94e^{-j26,56^0} =$$

$$= 8,94(\cos 26,56^0 - j \sin 26,56^0) = 8 - j4 \text{ Om}$$

$$\bullet \\ Z_{BS} = R_{BS} + jx_{BS} = 4 + j3 = 5e^{j36,87^0} =$$

$$= 5(\cos 36,87^0 + j \sin 36,87^0) = 4 + j3 \text{ Om}$$

$$\bullet \\ Z_{SA} = R_{SA} - jx_{SA} = 6 + j8 = 10e^{j53,13^0} =$$

$$= 10(\cos 53,13^0 + j \sin 53,13^0) = 6 + j8 \text{ Om}$$

3) «Üçbucaq» birləşmiş üçfazlı dövredə ayrı-ayrı fazalardan keçən cərəyanları hesablayaq:

$$\bullet \\ I_{AB} = \frac{\bullet U_{AB}}{\bullet Z_{AB}} = \frac{380}{8,94e^{-j26,56^0}} = 42,5e^{j26,56^0} =$$

$$= 42,5(\cos 26,56^0 + j \sin 26,56^0) = 38,01 + j19 \text{ A}$$

$$\bullet \\ I_{BS} = \frac{\bullet U_{BS}}{\bullet Z_{BS}} = \frac{380e^{-j120^0}}{5e^{j36,87^0}} = 76e^{-j156,87^0} =$$

$$= 76(\cos 156,87^0 - j \sin 156,87^0) = -69,83 - j29,85 \text{ A}$$

$$\bullet \\ I_{SA} = \frac{\bullet U_{SA}}{\bullet Z_{SA}} = \frac{380e^{j120^0}}{10e^{j53,13^0}} = 38e^{j66,87^0} =$$

$$= 38(\cos 66,87^0 + j \sin 66,87^0) = 14,93 + j34,9 \text{ A}$$

4) Kirxhofun birinci qanununu A, B, C düyün nöq-tələrinə tətbiq edərək, xətlərdən keçən $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$, $\dot{I}_S$ cərə-yanlarını hesablayaq:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_{SA} - \dot{I}_{AB} = 0$$

buradan

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{SA} = 38,01 + j19 - 14,93 - j34,94 = \\ &= 23,08 - j15,94 = 28,05e^{-j34,63^0} = \\ &= 28,05(\cos 34,63^0 - j\sin 34,63^0) = 23,08 - j15,94 \text{ A} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BS} - \dot{I}_{AB} = -69,83 - j29,85 - 38,01 - j19 = -107,84 - j48,85 = \\ &= 118,39e^{j24,37^0} = 118,39(\cos 24,37^0 - j\sin 24,37^0) = 107,84 - j48,85 \text{ A} \end{aligned}$$

(mənfi işarəsini nəzərə aldıqda $\text{tg}(180^0 + 24,37^0)$ qəbul edilir.

$$\begin{aligned} \dot{I}_S &= \dot{I}_{SA} - \dot{I}_{BS} = 14,93 + j34,94 + 69,83 + j29,85 = \\ &= 84,76 + j64,79 = 106,69e^{j37,39^0} = \\ &= 106,69(\cos 37,39^0 + j\sin 37,39^0) = 84,77 + j64,79 \text{ A} \end{aligned}$$

5) Fazaların tələb etdiyi aktiv, reaktiv və tam gücləri hesablayaq:

$$\begin{aligned} \sim \quad \dot{S}_{AA} &= \dot{U}_{AA} \dot{I}_{AA}^* = 380 \cdot 42,5e^{-j26,56^0} = 1615e^{j26,56^0} = 16150 \\ &\quad (\cos 26,56^0 - j\sin 26,56^0) = 14445,64 - j7221,23 \text{ VA} \end{aligned}$$

burada $P_{AB} = 14445,64 \text{ Vt}$; $Q_A = 7221,23 \text{ VA.r}$ (mənfi işarəsi reaktiv gücün tutum xarakterli olduğunu göstərir)

$$\begin{aligned} \sim \quad \dot{S}_{BS} &= \dot{U}_{BS} \dot{I}_{BS}^* = 380e^{-j120^0} \cdot 76e^{j156,87^0} = 28880e^{j36,87^0} = \\ &= 28880(\cos 36,87^0 + j\sin 36,87^0) = 23103,97 + j17328,03 \text{ VA} \end{aligned}$$

burada $P_{BS} = 23103,97 \text{ Vt}$; $Q_{BS} = 17328,03 \text{ VA.r}$ (müsbət işarəsi reaktiv gücün induktiv xarakterli olduğunu göstərir).

Yoxlama:

$$P_{BS} = R_{BS} I_{BS}^2 = 4(76)^2 = 23104 \text{ Vt}$$

$$23103.97 \text{ Vt} \approx 23104 \text{ Vt}$$

$$Q_{BS} = x_{BS} I_{BS}^2 = 3(76)^2 = 17328 \text{ VAr}$$

$$17328.03 \text{ VAr} \approx 17328 \text{ VAr}$$

$$\begin{aligned} \sim \quad \bullet \quad * \\ S_{S\dot{A}} = U_{S\dot{A}} I_{S\dot{A}}^* = 380e^{j120^0} \cdot 38e^{-j66,87^0} = 14440e^{j53,13^0} = \\ = 14440(\cos 53,13^0 + j\sin 53,13^0) = (8664,03Vt + j11522VAr)VA \end{aligned}$$

Burada

$$P_{SA} = 8664,03 \text{ Vt}; \quad Q_{SA} = 11552 \text{ VAr}$$

və ya

$$P_{S\dot{A}} = R_{S\dot{A}} I_{S\dot{A}}^2 = 6(38)^2 = 8664 \text{ Vt}$$

$$8664,03 \text{ Vt} \approx 8664 \text{ Vt}$$

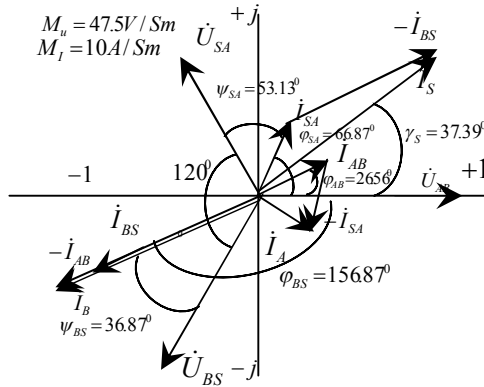
$$Q_{S\dot{A}} = x_{S\dot{A}} I_{S\dot{A}}^2 = 8(38)^2 = 11552 \text{ VAr}$$

$$11552 \text{ VAr} = 11552 \text{ VAr}$$

6) Ayrı-ayrı fazaların tələb etdiyi aktiv və reaktiv gücləri nəzərə alıb, işlədiciləri «üçbucaq» birləşdirilmiş üçfazlı sistemin tələb etdiyi tam gücü hesablanılır. Sistem qeyri-simmetrik olduğu üçün ümumi aktiv və reaktiv güclər, fazaların tələb etdiyi güclər vasitəsi ilə təyin edilir:

$$\begin{aligned} P_{\text{üm}} &= P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 14445,64 + 23103,97 + \\ &+ 8664,03 = 46213,64 \text{ Vt} \approx 46,214 \text{ kVt} \\ Q_{\text{üm}} &= (Q_{BS} + Q_{SA}) - Q_{AB} = (17328,03 + 11552) - \\ &- 7221,23 = 28880,03 - 7221,23 = 21658,80 \text{ VAr} = \\ &= 21.659 \text{ kVAr} \\ S_{\text{üm}} &= \sqrt{P_{\text{üm}}^2 + Q_{\text{üm}}^2} = \sqrt{(46,214)^2 + (21,659)^2} = \\ &= \sqrt{2135,7337 + 469,1123} = \sqrt{2604,8460} = \\ &= 51,03769 \text{ kVA} = 51037,69 \text{ VA} \end{aligned}$$

7) Hesabat əsasında alınmış qiymətlərə uyğun miqyasla kompleks müstəvidə gərginliklər və cərəyanlar üçün vektor diaqramını quraq (şəkil 13.21.4).



Şəkil 13.21.4. Hesabat əsasında alınmış qiymətlərə uyğun miqyasla kompleks müstəvidə gərginliklər və cərəyanlar üçün vektor diaqramı

13.22. Üçfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrlərinə aid sərbəst işlər

1. Generator dolaqlarının ulduz və ya üçbucaq sxemi ilə birləşdirilməsinin mümkünlüyü nədən irəli gəlir?
2. Faza nə deməkdir?
3. Hansı hallarda təcrübədə üçməftilli və dörd məftilli üçfazlı cərəyanlar sistemindən istifadə edirlər? Misal göstərməli?
4. Üç eyni müqavimətli işlədicilərin ulduz birləşməsindən üçbucaq birləşməsinə keçdikdə faza və xətt cərəyanları necə dəyişirlər?
5. Üçfazlı cərəyanlar sisteminin tarazlaşmış sistem olduğunu isbat edin.
6. Üçfazlı yükün tələb etdiyi aktiv güc $P=290 \text{ Vt}$, güc əmsalı $\cos\varphi=0,6$ şəbəkənin xətt gərginliyi $U=220\text{V}$. Yükün ulduz birləşdiyi məlumdursa cərəyanları və yükün faza müqavimətlərini tapmalı

7. Simmetrik üçfazlı dövrədə $A=6+j8$ Om qiymətli üç müqavimət üçbucaq sxem ilə qoşulmuşdur. Qidalandırıcı şəbəkənin xətt gərginliyi 220 V-dur. Faza və xətt cərəyanlarını, yükün aktiv və reaktiv güclərini tapmalı

8. Simmetrik üçfazlı sistemin faza ardıcılığını təyin etmək üçün faza göstəricisindən istifadə edilir. Ən sadə faza göstəricisi müqavimətləri eyni olan iki közərmə lampasından və bir kondensatordan ibarətdir: $r_1=r_2=x_c=r$. Bu üç müqavimət şəbəkəyə ulduz sxemi ilə qoşulur. Belə quruluşa faza ardıcılığını təyin edilməsinin mümkünlüyünü isbat etməli. Hesablamanı əvvəlcə ümumi şəkildə, sonra isə $r=484$ Om, $U_x=220$ V ədədi qiymətləri üçün aparmalı.

9. Xətt gərginliyi 220 V olan şəbəkəyə ulduz sxemi ilə üç qrup közərmə lampası qoşulmuşdur. Hər lampanın müqaviməti 161 Om-dur. A fazasına 120, B fazasına 75 və C fazasına 100 lampa birləşdirilmişdir. Sıfır məftil müqavimətinin iki halı: 1) $r_N = 1$ Om; 2) $r_N=0,25$ Om üçün lampalardakı gərginlikləri və neytralın yerdəyişmə gərginliyini tapmalı. Xətt məftillərinin müqavimətlərini nəzərə alınmır.

10. Sıfır məftilinin üçfazlı ümumi şəbəkəyə belə işlədicilər qoşulmuşdur: 1) dolaqları üçbucaq birləşdirilmiş, ümumi gücü $P=150$ kVt və güc əmsalı $\cos \varphi = 0,6$ olan mühərriklər; 2) dörd məftili ulduz semi ilə, parametrləri $P''_A = 20$ kBt, $P''_B = 15$ kBt, $P''_C = 10$ kBt, $\cos \varphi'' = 1$ olan üç ədəd birfazlı elektrik peçi; 3) üçbucaq sxemi ilə $Q''_C = 60$ kVAr güclü kondensator batareyası xətt gərginliyi 380 V-dur. Cərəyanları tapmalı.

Fəsil XIV

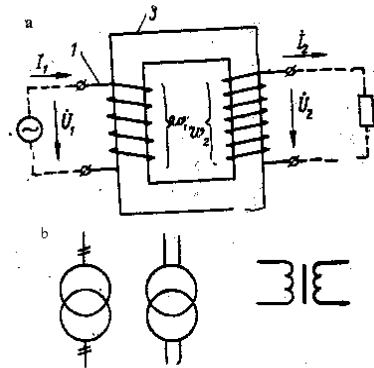
TRANSFORMATORLAR VƏ ELEKTRİK MAŞINLARI

14.1. Transformatorlar haqqında əsas anlayışlar

Eyni tezlikdə bir gərginlikli dəyişən cərəyanı başqa gərginlikli dəyişən cərəyanı çevirən statik elektromaqnit aparatına transformator deyilir. Elektrik təchizat sistemlərində istifadə olunan transformatorlara güc transformatorları deyilir. Transformatorlardan elektrik ölçü quruluşlarında, elektrotermik qurğularda, radiotexnikada, elektronikada, avtomatik idarə quruluşlarında və texnikanın başqa sahələrində də istifadə olunur.

Transformatorun prinsipial quruluş sxemi şəkil 14.1,a-da göstərilmişdir.

Transformator qapalı maqnit keçiricisindən (3) və onun çubuqlarında yerləşdirilmiş iki ədəd dolaqdan (1) və (2) ibarətdir. Dolaqlar izolyasiyalı mis və ya alüminium məftillərdən hər iki çubuqda konsentrik surətdə yığılır. Aydın olmaq üçün şəkildə dolaqlar ayrılıqda göstəril-



Şəkil 14.1. Transformatorun sxemi
(a) və şərti işarələri (b)

mişdir. Maqnit keçiricisi isə maqnit itgilərini azaltmaq üçün elektrotexniki polad vərəqələrdən hazırlanır (adətən qalınlığı 0,35 mm).

Şəkil 14.1,b-də birfazlı transformatorun şərti işarələri göstərilmişdir.

Transformatorun dolaqlarından biri elektrik enerji mənbəyinə qoşulur; bu dolağa birinci dolaq deyilir. Transformatorun ikinci dolağı adlanan o biri dolağından enerji işlədi-cilərə ötürülür. Bu dolaqlara aid kəmiyyətlər uyğun olaraq 1 və 2 indeksi ilə nişanlanır (məsələn, E_1 , U_1 , I_1 , w_1 və E_2 , U_2 , I_2 , w_2 və s.). Bundan başqa, transformatorun alçaq və yüksək gərginlikli dolaqlarını fərqləndirmək lazımdır.

Birinci dolağa tətbiq edilmiş gərginliyin təsirindən həmin dolaqla i_1 cərəyanı axır və transformatorun nüvəsində Φ maqnit seli yaranır. Bu maqnit seli hər iki dolağı kəsir və onlarda e.h.q.-ni induksiyləyir:

$$\begin{aligned} e_1 &= -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ e_2 &= -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned} \quad (14.1)$$

Əgər ikinci dolağın dövrəsi qapalıdırsa, onda e_2 e.h.q.-nin təsiri altında həmin dövredə i_2 cərəyanı axacaqdır.

Dolaqlarda induksiyalanmış e.h.q.-lərin təsiredici qiymətləri

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= 4,44 f w_1 \Phi_m \\ E_2 &= 4,44 f w_2 \Phi_m \end{aligned} \right\} \quad (14.2)$$

Bu e.h.q.-lərin nisbətinə transformasiya əmsalı deyilir:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (14.3)$$

Dolaqların e.h.q.-lərini gərginliklərə təxminən bərabər götürmək olar, onda:

$$k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (14.4)$$

Əgər $k > 1$ isə, transformator alçaldıcı, $k < 1$ isə yüksəldici olur.

14.2. Transformatorun yüksüz işləmə rejimi

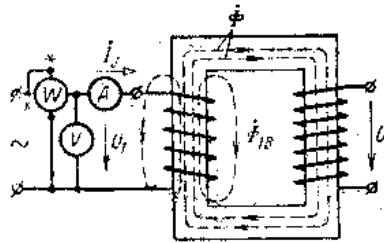
Transformatorun ikinci dolağının ucları açıq olduqda və birinci dolağı mənbəyə qoşulan haldakı rejiminə yüksüz işləmə rejimi deyilir (şəkil 14.2). Bu rejimdə transformator mahiyətcə polad nüvəli induktiv sarğacdən fərqlənir.

Yüksüz işləmə rejimində birinci dolaqdan axan cərəyanı transformatorun yüksüz işləmə cərəyanı deyilir.

Ferromaqnit nüvə lazımi maqnit seli yaratmaq üçün kiçik maqnitləşdirici qüvvə tələb edir. Odur ki, transformatorun yüksüz işləmə cərəyanı I_0 birinci tərəf I_{1n} nominal cərəyanının 2,5 – 10%-ini təşkil edir.

Birinci dolağın maqnitləşdirici qüvvəsinin $F_0 = I_0 w_1$ təsiri altında yaranan maqnit selini iki hissədən ibarət götürmək məqsəduyğundur:

1) maqnit keçiricisindən qapanan əsas maqnit seli Φ ;



Şəkil 14.2. Transformatorun yüksüz işləmə sxemi

2) havada qapanan və yalnız birinci dolağı kəsən səpələnmə maqnit seli $\Phi_{1\sigma}$.

Əsas maqnit seli dolaqlarda E_1 və E_2 e.h.q.-lərini yaradır. E_1 və E_2 isə Φ selindən fazaca dördə bir period geri qalır.

Əsas maqnit seli fazaca, maqnit itgilərinin mövcud olmasına görə I_0 cərəyandan σ bucağı qədər geri qalır.

Səpələnmə maqnit seli havadan qapandığına görə çox zəifdir və I_0 cərəyanı ilə eyni fazada olur. Bu sel birinci dolağda

$$\frac{E}{I_{1\sigma}} = 4,44 f_w \frac{\Phi}{1 \text{ l}\sigma m} \quad (14.5)$$

səpələnmə e.h.q. yaradır və $\Phi_{1\sigma}$ maqnit selindən fazaca dördə bir period geri qalır.

Bir işçi dolağa tətbiq edilmiş gərginlik, $\dot{U}_1$ əsas maqnit selinin yaratdığı e.h.q.-ni $\dot{E}_1$ səpələnmə e.h.q.-ni $E_{1\sigma}$ və birinci dolağın aktiv müqavimətindəki r_1 gərginlik düşgüsünü müvazinətdə saxlayır:

$$U_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{1\sigma} + I_0 r_1 \quad (14.6)$$

Səpələnmə maqnit seli $\Phi_{1\sigma}$ və onun induksiya etdiyi e.h.q. $E_{1\sigma}$ birinci dolağın cərəyanına mütənasibdir. Odur ki, induktiv müqavimət anlayışından isti-

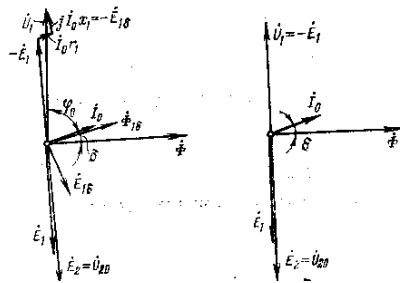
fadə edib, $\dot{E}_{1\sigma} = -j I_0 x_1$ qəbul etmək olar. Onda elektrik müvazinət tənliyi birinci dolaq üçün

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + I_0 r_1 + j I_0 x_1 \quad (14.7)$$

kimi yazılır.

Yuxarıda deyilənlərə görə transformatorun yüksüz işləmə rejimi üçün vektor diaqramı şəkil 14.3-dəki kimi

olar. Burada $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1$.



Şəkil 14.3. Yüksüz işləmə rejimində transformatorun dəqiq (a) və təxmini (b) vektor diaqramları

Yüksüz işləmə rejimində

$$U_{20} = E_2$$

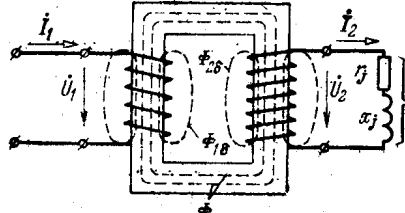
olur.

14.3. Transformatorun yüklü rejimi

Transformatorun maqnitləşdirici qüvvələr tənliyi

Transformatorun ikinci dolağına yük müqaviməti $\dot{Z}_y = r_y + jx_y$ qoşsaq, E_2

e.h.q.-nin təsiri ilə ikinci dövrdə I_2 cərəyanı yaranacaqdır (şəkil 14.4). Enerjinin saxlanması qanununa görə, birinci dolaqdakı cərəyan da I_1 artacaqdır.



Şəkil 14.4. Transformatorun yüklü iş rejimi

Birinci və ikinci dolağın cərəyanları arasında asılılıq yaradaq. $U_1 \approx E_1$ olduğuna görə transformatorun əsas maqnit seli Φ bütün rejimlərdə öz qiymətini təxmini saxlayacaqdır. Yüklü halda transformator da əsas maqnit selinin hər iki dolaqdakı maqnitləşdirici qüvvələrin birgə təsirindən yarandığını nəzərə alsaq, yazı bilərik:

$$\dot{F} = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 \approx \dot{I}_0 w_1 \quad (14.8)$$

Bu tənliyə transformatorun maqnitləşdirici qüvvələr tənliyi deyilir. Tənlikdən görüldüyü kimi I_2 cərəyanı maqnitləşdirici təsir göstərir (Lents prinsipinə görə) və bununla da I_1 cərəyanının özünün səpələnmə maqnit selini $\Phi_{1\sigma}$ yaradır. Bu selin induksiya adlanır

$$E_{2\sigma} = 4,44f w_2 \Phi_{2\sigma m} \quad (14.9)$$

səpələnmə e.h.q.-nin təsirini ikinci dolağın induktiv müqavimətindəki (x_2) gərginlik düşüsgüsü kimi nəzərə alırlar:

$$\dot{E}_{2\sigma} = -j \dot{I}_2 x_2 \quad (14.10)$$

Yüklü transformatorun vektor diyagramı

Yüklü transformatorun vektor diaqramını ikinci dolağın sıxaclarındaki gərginlikdən $\dot{U}_2$ başlayaraq qurmaq yaxşıdır (şəkil 14.5).

Dolaqların parametrləri ($w_1, w_2, r_1, r_2, x_1, x_2$), yüksüz işləmə verilənləri (I_0, σ), yük müqavimətinin qiymət və xarakteri ($Z_y, \cos\phi_y$) məlum qəbul edilir.

$$\dot{\mathbf{I}}_2 = \frac{\dot{\mathbf{U}}_2}{\dot{\mathbf{Z}}_y} \quad (14.11)$$

vektoru $\dot{\mathbf{U}}_2$ vektoruna nəzə-rən

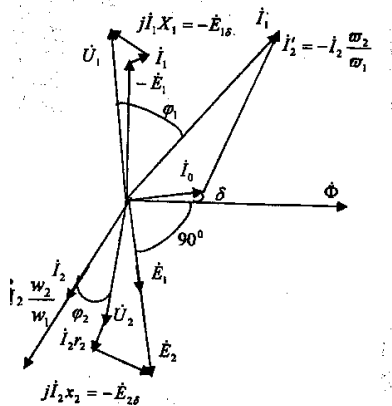
$\varphi_2 = \varphi_y$ bucağı altında çəkilir.

İkinci dolaqdan əsas

maqnit seli $\mathbf{E}_2$ e.h.q.-ni,

səpələnmə seli isə $\mathbf{E}_{2\sigma}$

e.h.q.-ni yaradır. $\dot{U}_2$ gər-ginliyi
 üçün yazı bilərik:



Şekil 14.5. Yüklü transformatorun vektor diaqramı

$$\dot{\mathbf{E}}_2 + \dot{\mathbf{E}}_{2\sigma} - \dot{\mathbf{I}}_2 \mathbf{r}_2 = \quad (14.12)$$

$$= \dot{\mathbf{U}}_2 = \dot{\mathbf{I}}_2 \dot{\mathbf{Z}}_y$$

$\dot{\mathbf{E}}_{2\sigma} = -\dot{\mathbf{j}}\mathbf{I}_2 \mathbf{x}_2$ nəzərə alsaq, onda ikinci dolağın elektrik müvazinət tənliyini belə yazmaq olar:

$$\dot{\mathbf{E}}_2 = -\dot{\mathbf{U}}_2 + \dot{\mathbf{I}}_2 \mathbf{r}_2 + \mathbf{j} \dot{\mathbf{I}}_2 \mathbf{x}_2 \quad (14.13)$$

Bu tənlikdən istifadə edib, E_2 vektorunu qururuq. Sonra

$$E_1 = kE_2 = E_2 \frac{w_1}{w_2} \quad \text{təyin edib, } E_1 \text{ vektorunu } E_2 \text{ vektoru}$$

istifadəmətində qeyd edirik.

(14.2) tənliyindən əsas maqnit selinin amplitudasını Φ_m təyin edilir, Φ_m vektorunu E_1 və E_2 e.h.q.-lərindən dördə bir period irəli çəkirik. Φ_m vektoruna nəzərən σ bucağı altında yüksüz işləmə cərəyanı vektorunu I_0 qeyd edirik. Birinci dolağın I_1 maqnitləşdirici qüvvələr tənliyindən (14.8) istifadə edərək tapırıq:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} = \dot{I}_0 - \frac{1}{k} \dot{I}_2 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (14.14)$$

Birinci dolağa tətbiq edilmiş gərginliyi $\dot{U}_1$ belə təyin edirik

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 x_1 \quad (14.15)$$

Göründüyü kimi birinci dolağın cərəyanı I_1 , iki toplanana malikdir: bunlardan biri I_0 yüksüz işləmə rejimində olduğu kimi əsas maqnit selini yaratmaq, digəri isə I_2 ikinci dolağın cərəyanının maqnitləşdirici təsirini kompensasiya etmək, yəni əsas maqnit selinin dəyişməz qalmasını təmin etmək üçündür.

Əvəz sxemi

Transformatorun iş rejimlərini tədqiq etmək üçün dolaqlar arasındakı maqnit rabitəsini elektrik rabitəsi ilə əvəz etmək məqsəduyğundur. Belə etdikdə transformatorun daxil olduğu elektrik şəbəkələrinin hesabi xeyli sadələşir və asanlaşır.

Birinci və ikinci dolağın dövrlərini bir başa bir-birinə birləşdirməklə əvəz sxemini almaq olmaz. Əvvəlcə dolaqları ümumi gərginliyə gətirmək lazımdır. Çünki transformatorun əvəz elektrik sxemi elə olmalıdır ki, onlar arasında ekvivalentlik pozulmasın.

Transformatorun ikinci tərəfini birinci tərəfə gətirmək daha əlverişlidir. Bu çevirmənin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, həqiqi transformator, transformasiya əmsalı vahid olan ($k = 1$) transformatorla əvəz edilir. Belə ki,

$$E_2' = E_1 = kE_2 \quad (14.16)$$

Çevirmənin energetik ekvivalentliyi şərtlərindən transformatorun ikinci tərəf dövrəsinin çevrilmiş kəmiyyətlərini təyin edirik:

$$\begin{aligned} S_2 &= S'_2; & E_2 I_2 &= E'_2 I'_2 \\ P_2 &= P'_2; & I_2^2 r_2 &= I_2'^2 r_2' \\ Q_2 &= Q'_2; & I_2^2 x_2 &= I_2'^2 x_2' \\ S_y &= S'_y; & I_2 U_2 &= I_2' U_2' \end{aligned}$$

buradan

$$I'_2 = I_2 \frac{E_2}{E'_2} = I_2 \frac{E_2}{k E_2} = \frac{1}{k} I_2 \quad (14.17)$$

$$U'_2 = U_2 \frac{I_2}{I'_2} = U_2 \frac{I_2}{\frac{1}{k} I_2} = k U_2 \quad (14.18)$$

$$r'_2 = r_2 \frac{I_2^2}{I_2'^2} = k^2 r_2 \quad (14.19)$$

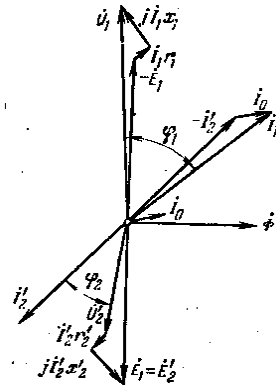
$$x'_2 = x_2 \frac{I_2^2}{I_2'^2} = k^2 x_2 \quad (14.20)$$

$$\left. \begin{aligned} z'_2 &= \sqrt{r_2'^2 + x_2'^2} = \\ &= k^2 z_2 \\ z'_y &= k^2 z_y \end{aligned} \right\} \quad (14.21)$$

Şəkil 14.6-da transformatoru kəmiyyətlər üçün qurulmuşdur.

Transformatorun zəvrilmiş

vektor diaqramı $\dot{E}'_2 = \dot{E}_1$ olduğunu nəzərə alıb, diaqramın aşağı hissəsini 180° döndərüb yuxarı hissəsinin



Şəkil 14.6. Transformatorun çevrilmiş vektor diaqramı

tam qısaqapanma müqavimətləri adlanır.

Transformatorun ikinci tərəf gərginliyinin dəyişməsi

Transformatorun yükü dəyişdikdə onun ikinci dolağının uclarındakı gərginlik U_2 -də dəyişir.

Transformatorun ikinci dolağının uclarındakı yüksüz və yüklü rejimlər üçün gərginliklərin hesabi fərqlərini ΔU_2 işarə edək:

$$\Delta U_2 = U_{20} - U_2 \quad (14.26)$$

Əgər ΔU_2 məlumdursa, ikinci dolağın uclarındakı gərginlik belə təyin edilə bilər:

$$U_2 = U_{20} - \Delta U_2 \quad (14.27)$$

$\Delta U_2' = k \Delta U_2$ çevrilmiş qiymətini əvvəlcə təyin edək

$$k \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

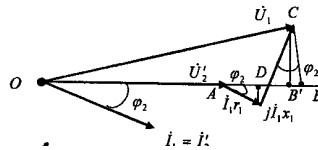
olduğunu nəzərə alsaq

$$\Delta U_2' = \Delta U_2 k = (U_{20} - U_2) k = U_1 - U_2' \quad (14.28)$$

Transformatorun sadələşmiş vektor diaqramından (şəkil 14.10) tapırıq:

$$\begin{aligned} \Delta U_2' &= OC - OA = \\ &= AB \approx AB' = AD + DB' = \\ &= I_1 r_{qq} \cos \varphi_2 + I_1 x_{qq} \sin \varphi_2 \\ \Delta U_2' &= I_1 (r_{qq} \cos \varphi_2 + x_{qq} \sin \varphi_2) \end{aligned}$$

Transformatorun yüklənmə
edib:



Şəkil 14.10. Transformatorun ikinci gərginliyinin dəyişməsinin təyini

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}} \approx \frac{I_1}{I_{1n}} \quad (14.30)$$

$$\Delta U_2' = \beta I_{1n} (r_{qq} \cos \varphi_2 + x_{qq} \sin \varphi_2) \quad (14.31)$$

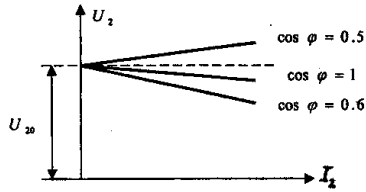
yaza bilərik. Transformatorun ikinci dolağının uclarındaki gərginliyin həqiqi qiyməti:

$$U_2 = U_{20} - \frac{\Delta U_2'}{k} \quad (14.32)$$

U_2 gərginliyinin I_2 cərəyanından asılılıq qrafikinə transformatorun xarici xarakteristikası deyilir.

Şəkil 14.11-də yükün $\cos \varphi$ -nin üç müxtəlif qiyməti üçün transformatorun xarici xarakteristikaları göstərilmişdir.

Tutum xarakterli yük transformatorunun U_2 gərginliyi yüksüz işləmə U_{20} gərginliyindən böyük ola bilər.



Şəkil 14.11. Transformatorun xarici xarakteristikası

14.4. Üçfazlı transformatorlar

Üçfazlı transformatorlar üçfazlı cərəyanın enerjisini transformasiya etmək üçün üç ədəd birfazlı və yaxud xüsusi üçfazlı transformatorlardan istifadə edilir. Çox hallarda üçfazlı transformatorlardan istifadə edilir, çünki onlar ucuz başa gəlir və yığcamdır. Olduqca böyük gücləri ötürmək üçün birfazlı transformatorlar işlədilir. Bu onunla əsaslandırılır ki, böyük güclü üçfazlı transformatorların hazırlanması texnologiyası və nəql edilməsi çox çətindir.

Üçfazlı transformatorun quruluşu

Üçfazlı transformatorun maqnit keçiricisi üççubuqlu götürülür (şəkil 14.12). Hər çubuqda bir fazanın yüksək və alçaq gərginlik dolaqları yerləşdirilir. Şəkildə transformatorun həm yüksək, həm də alçaq gərginlik dolaqları ulduz birləşmişdir. Təcrübədə başqa birləşmə sxemlərində də, məsələn, yüksək gərginlik dolaqları ulduz, alçaq gərginlik dolaqları isə üçbucaq birləşmiş sxemdən də geniş istifadə edilir. Transformator dolaqlarının birləşmə sxemi kəsir şəklində işarə olunur:

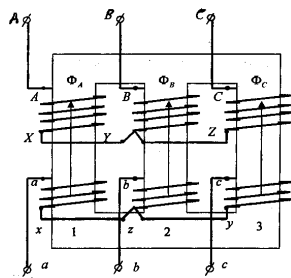
Y/Δ və yaxud Y/Y (surətdə yüksək gərginlik dolaqlarının birləşmə sxemi, məxrəcdə isə alçaq gərginlik dolaqlarının birləşmə sxemi göstərilir).

Üçfazlı transformatorun 1, 2, 3 çubuqlarında (şəkil 14.12) birinci dolaqlara tətbiq edilmiş faza gərginliklərinə

U_A, U_B, U_C mütənasib $\Phi_A,$

Φ_B, Φ_C maqnit selləri yaranır. Dolaqlar fazalarda simmetrik olduğuna görə maqnit sellərinin $\Phi_{Am},$ Φ_{Bm}, Φ_{Cm} amplituda qiymətləri bir-birinə bərabər olacaq. Bu sellərin istənilən anda cəmi sıfıra bərabərdir. Odur ki, üçfazlı transformatorun maqnit keçiricisini üççubuqlu hazırlamaq mümkün olur.

Üçfazlı transformatorun dolaqlarını ulduz və ya üçbucaq sxemi ilə birləşdirmək üçün dolaqların başlanğıc və son uclarını bilmək vacib məsələdir.



Şəkil 14.12. Üçfazlı transformatorun quruluş sxemi

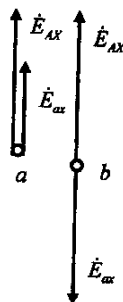
Yüksək gərginlik dolaqlarının başlanğıc ucları A, B, C, bunlara uyğun son ucları isə X, Y, Z ilə işarə edilir. Alçaq gərginlik dolaqlarının ucları isə analogi olaraq a, b, c və X, Y, Z ilə işarə edilir.

Eyni bir çubuqda yerləşdirilmiş dolaq sıxaclarının nişanlanması elə olmalıdır ki, maqnit selinin induksiya adığı

e.h.q.-lər, məsələn, $\dot{E}_{AX}$ və $\dot{E}_{ax}$ fazaca eyni olsun (şəkil 14.13a).

Nişanlanma düz olmadıqda $\dot{E}_{AX}$ və $\dot{E}_{ax}$ e.h.q.-ləri fazaca yarım period fərqlənəcəkdir (şəkil 14.13b).

Müxtəlif çubuqlarda yerləşdirilmiş dolaqların sıxaclarının nişanlanması bir-biri ilə elə əlaqələndirilməli və icra edilməlidir ki, hər üç çubuqda maqnit selləri eyni istiqamətdə olsun. Maqnit sellərinin müsbət istiqamətləri, cərəyanların dolaqların sonundan əvvəlinə doğru qəbul olunmuş müsbət istiqamətinə görə təyin edilir.



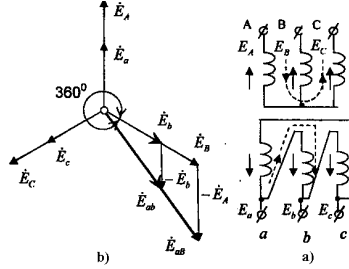
Şəkil 14.13. Sıxacların düzgün (a) və səhv (b) nişanlanması zamanı transformatorun faza e.h.q.-lərinin faktorları

Üçfazlı transformatorların birləşmə qrupları

Maqnit keçiricisinin eyni çubuğunda oturdulmuş yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarında fazaca eyni olan e.h.q.-lər induksiyanır. Yüksək və alçaq

gərginlik tərəfdə eyni adlı sıxaclar arasında təsir edən elektrik hərəkət qüvvələri (xətt e.h.q.-ləri), məsələn, $\dot{E}_{AB}$ və $\dot{E}_{ab}$ ya fazaca eyni olur, ya da 30° -li bucağın misli qədər fərqlənir.

Bu müddəanı izah etmək üçün Y/Δ sxemi üzrə birləşmiş (şəkil 14.14,a) üçfazlı transformatora baxaq. Oxlarla faza e.h.q.-lərinin qəbul edilmiş müsbət istiqamətləri göstərilmişdir. Transformator dolaqlarının faza e.h.q.-lərinin vektor diaqramı şəkil 14.14,b-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 14.14. Transformator dolaqlarının Y/Δ birləşmə sxemi (a) və uyğun vektor diaqramı (b)

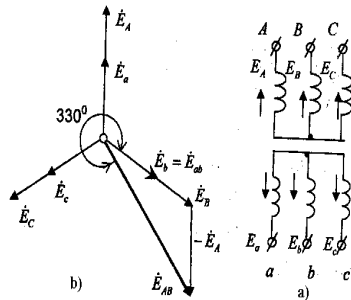
E_{AB} xətt e.h.q.-nin vektorunu A sıxacından B sıxacına doğru hərəkət yolunda rast gələn faza e.h.q.-lərinin həndəsi cəmi kimi qurmaq olar (hərəkət yolu şəkil 14.14,a-da qırıq xətlə göstərilmişdir). Bu yolda iki $\dot{E}_A$ və $\dot{E}_B$ e.h.q.-nə rast gəlir, belə ki, $\dot{E}_B$ -ni müsbət işarə ilə (çünki istiqaməti hərəkət istiqaməti ilə eynidir), $\dot{E}_A$ -nı isə mənfi işarə ilə götürürük.

Analoji olaraq $\dot{E}_{ab}$ e.h.q. vektorunu qururuq.

Vektor diaqramından görürük ki, eyni adlı e.h.q.-lər $\dot{E}_{AB}$ və $\dot{E}_{ab}$ arasındakı bucaq 330° təşkil edir.

Şəkil 14.15-də transformator dolaqlarının birləşmə sxemi Y/Y -dir; eyni adlı e.h.q.-lər $\dot{E}_{AB}$ və $\dot{E}_{ab}$ ara-sında bucaq 0° -dir (e.h.q.-lər eyni fazadadır).

Eyni adlı xətt e.h.q.-i arasındakı faza fərqi bucağı transformatorun birləşmə qrupunu müəyyən edir. Bu bucağın qiymətini şərti olaraq hər vahidinə 30° uyğun gələn ədədlə göstərmə qəbul edilmişdir.



Şəkil 14.15. Transformator dolaqlarının Y/Y birləşmə sxemi (a) və uyğun vektor diaqramı (b)

Beləliklə, şəkil 14.14-dəki sxem üzrə birləşmiş transformatorun qrupu 11 ($330:30=11$), şəkil 14.15-dəki sxem üçün isə 0 ($0:30=0$) olur.

Dolaqları müxtəlif sxem üzrə birləşdirməklə müxtəlif birləşmə qrupu alırıq. Birləşmə qruplarının çox müxtəlif olması transformatorların istismarı üçün rahat deyildir. Odur ki, **DUİST** birləşmə sxem və qrupların sayının üçü ilə məhdudlaşdırılmışdır:

$$Y/Y_0 - 0, Y/\Delta - 11 \text{ və } Y_0/\Delta - 11$$

0 və 11 ədədləri birləşmə qrupunu, 0 indeksi isə transformator qapağının üstünə sıfır nöqtəsinin çıxarılmasını göstərir.

14.5. Transformatorun parametrlərinin və faydalı iş əmsalının təyini

Transformatorun nominal parametrləri

Transformatorun işi zamanı onun dolaqlarında və maqnit keçiricisində istilik şəklində ayrılan enerji itkiləri yaranır. Transformatorun dolaqlarındakı güc itkiləri (elektrik itkiləri) ΔP_e cərəyanının kvadratı ilə mütənasibdir. Üçfazlı transformator üçün

$$\Delta P_e = 3(I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2) = 3(I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2) \approx 3I_1^2 r_q \quad (14.33)$$

Bu itkilər transformator yükünün qiymətindən asılıdır. Buna dəyişən itkilər deyilir.

Transformatorun maqnit keçiricisinin poladındakı güc itkiləri ΔP_m (maqnit itkiləri) maqnit selinin kvadratı, yəni gərginliyin kvadratı ilə U_1^2 mütənasibdir, çünki

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$$

Bu itkilər transformatorun yükündən asılı olmadığına görə sabit itkilər də adlanır.

Transformatorunda itkilər onun qızmasına səbəb olur və temperaturunu artırır. İtkilərin müəyyən qiymətində temperatur buraxıla bilən qiymətə çatır. İtkilərin qiyməti ilə transformatorun buraxıla bilən, uzunmüddətli maksimal yükü, yəni nominal gücü təyin edilir:

$$S_n = \sqrt{3} U_{2n} I_{2n} \quad (14.34)$$

Transformatorun nominal gücü kilovoltamperlərlə (kV.A) göstərilir. Transformatorun gücünü kilovatlarla göstərmək mümkün deyildir, çünki transformatorun verdiyi aktiv güc yükün $\cos\phi$ -dən də asılıdır və $\cos\phi$ istismar zamanı dəyişə bilər.

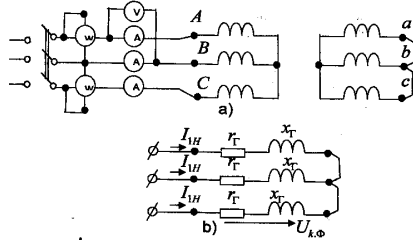
Nominal gərginliklər U_{1n} , U_{2n} və nominal cərəyanlar I_{1n} , I_{2n} , nominal güc S_n transformatorun üzərində xüsusi lövhədə göstərilir.

Qısaqapanma təcrübəsi

Transformatorun əvəz sxeminin parametrlərini təcrübə yolu ilə tapmaq üçün transformatorun qısaqapanma və yüksüz işləmə

təcrübələrini aparılır. Transformatorun nominal yükünə uyğun elektrik itkilərini qısaqapanma təcrübəsindən tapıb (şəkil 14.16a), qısaqapanma müqavimətlərini təyin etmək olar.

Bu təcrübədə transformatorun ikinci dolağı qısa qapanır və birinci dolağına elə azaldılmış qiymətdə gərginlik U_{qq} verilir ki, dolaqlarda cərəyanlar nominal qiymətə bərabər olsun. U_{qq} kəmiyyətinə transformatorun qısaqapanma gərginliyi deyilir. Bu gərginliyi, adətən, nominala görə faizlə ifadə edirlər:



Şəkil 14.16. Transformatorun qısaqapanma təcrübəsi:

a – həqiqi sxemi; b – əvəz sxemi

$$u_{qq} = \frac{U_{qq}}{U_{1n}} 100\% \quad (14.35)$$

Standart güc transformatorları üçün $u_{qq} = 5,5\%$ olur.

Transformatorun qısaqapanma təcrübəsində vattmetrlərin göstərişləri transformatorun nominal yük rejimindəki elektrik itkilərinə bərabərdir:

$$P_{qq} = \Delta P_{en} = 3I_{1n}^2 r_{qq} \quad (14.36)$$

Bu təcrübə zamanı maqnit itkiləri çox kiçikdir (çünki U_{qq} kiçikdir) və onu nəzərdən atmaq olar.

Qısaqapanma təcrübəsinə əsasən ölçülmüş kəmiyyətlərə (U_{qq} , I_{1n} və P_{qq}) görə transformatorun əvəz sxeminin parametrlərini təyin edirik:

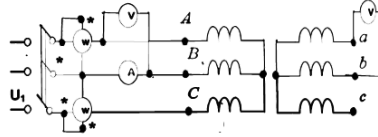
$$\left. \begin{aligned} z_{qq} &= \frac{U_{qqf}}{I_{1n}} \\ r_{qq} &= \frac{P_{qq}}{3I_{1n}^2} \\ x_{qq} &= \sqrt{z_{qq}^2 - r_{qq}^2} \end{aligned} \right\} \quad (14.37)$$

Yüksüz işləmə təcrübəsi

Transformatorun maqnit keçiricisində histerezis və dövrü cərəyanlarla əlaqədar maqnit itkilərini itkisüz işləmə təcrübəsindən təyin edirlər (şəkil 14.17). Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsində tələb etdiyi güc P_0 maqnit itkilərinə bərabər götürülür:

$$P_0 = \Delta P_m \quad (14.38)$$

Elektrik itkiləri bu təcrübə zamanı çox kiçikdir (çünki $I_0 = (0,0250,1) \cdot I_{1n}$ və $I_2 = 0$) və onları nəzərə almamaq olar.



Şəkil 14.17. Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsinin sxemi

Transformatorun f.i.ə.

Transformatorun f.i.ə. η transformatorun verdiyi faydalı gücün P_2 onun bəsləyici şəbəkədən tələb etdiyi gücə P_1 olan nisbətində bərabərdir:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (14.39)$$

Güc transformatorlarının f.i.ə.-ları **95-99%** qiymətində olur. Təcrübədə transformatorun f.i.ə.-nı hesab-lamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilir:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_m + \Delta P_e} \quad (14.40)$$

Transformatorun yüklənmə əmsalından istifadə etsək:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}} \approx \frac{\sqrt{3}U_2 I_2}{\sqrt{3}U_{2n} I_{2n}} = \frac{S_{yuk}}{S_n}$$

və nəzərə alsaq ki, $P_2 = \sqrt{3}U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta S_n \cos \varphi_2$

$$\Delta P_m = P_0 \quad \Delta P_e = 3I_1^2 r_{qq} \approx 3\beta^2 I_{1n}^2 r_{qq} = \beta^2 P_{qq}$$

onda 14.40 düsturunu belə yazı bilərik:

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{qq}} \quad (14.41)$$

Bu düsturdan birfazlı transformatorun f.i.ə.-nin təyini üçün istifadə etmək olar.

14.6. Transformatorlara aid sərbəst işlər

1. Gərginliyin artırılması (yüksəldilməsi) və azaldılması (alçaldılması) lüzumu nə ilə əlaqədardır?

2. Transformatorun yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarını hansı xarici əlamətlərlə fərqləndirmək olar?

3. Əgər transformator dövrəyə qoşulmayıbsa, onun yüksəldici olduğunu demək olarmı?

4. Transformatorun hansı dolağı birinci və hansı dolağı ikinci adlanır?

5. Transformatoru iş prinsipini izah edin. İkinci tərəf cərəyanı dəyişdikdə birinci tərəf cərəyanının dəyişməsi necə izah olunur?

6. Qısaqapanma təcrübəsi ilə yarı nominal cərəyanda transformator üçün ΔP_c elektrik itkiləri ölçülmüşdür. Nominal yüklə elektrik itkilərini necə tapmaq olar?

7. Eyni nominal güclü iki transformatorun f.i.ə. $\eta_1=0,98$ və $\eta_2=0,96$. Nominal yüklə hansı transformator daha çox və neçə dəfə çox istilik ayrılır?

8. Transformator dolaqların səpələnmə e.h.q.-ləri necə ifadə edilir?

9. Təbiiq edilmiş gərginliyin iki dəfə azaldıqda transformatorun yüksüz işləmə cərəyanı necə dəyişər?

10. Transformatorun əvəz sxemini çəkin.

11. Parametrləri $S_n=100$ kVA, $P_0=1,8$ kVt, $P_{qq}=2,4$ kVt, $\cos \varphi_{yük}=0,75$, $\beta=0,65$ olan birfazlı transformatorun f.i.ə.-ni tapmalı.

12. Üçfazlı transformatorun maqnit keçiricisinin üçbucaqlı hazırlanmasının mümkünlüyünü aydınlaşdırın.

13. Avtotransformatorların üstün və nöqsan cəhətlərini göstərin.

14. Ölçü transformatorların vəzifələrini izah edin.

Fəsil XV

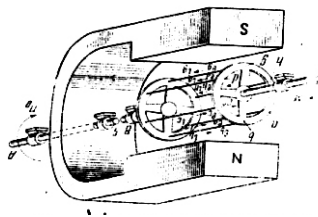
ASİNXRON MAŞINLAR

15.1. Asinxron mühərrikin vəzifəsi və iş prinsipi

Fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə elektrik və mexaniki enerjiləri qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevirən dəyişən cərəyan elektrik maşınına asinxron maşın deyilir. Maqnit sahəsini şəbəkədən daxil olan dəyişən cərəyan yaradır. Asinxron maşının mühüm xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, iş zamanı onun fırlanan maqnit sahəsi və rotoru müxtəlif sürətlərlə fırlanır. Elektrik mühərriki rejimində rotorun sürəti maqnit sahəsinin sürətindən kiçik, generator rejimində isə böyük olur. Odur ki, belə maşınlara asinxron maşınlar adı verilmişdir. İstər generator və istərsə də mühərrik rejimində rotorun (maşının hərəkət edən hissəsi) sürəti yükdən asılı olaraq dəyişir.

Konstruksiyasının sadəliyinə, ucuz olmasına və istismarda etibarlılığına görə asinxron maşınlar elektrik mühərriki vəzifəsində müxtəlif sənaye və kənd təsərrüfatı qurğularında geniş yayılmışdır.

Asinxron mühərriklərin konstruksiyası əsasən 1889-1891-ci illərdə rus mühəndisi M.O.Dolivo-Dobrovolski tərəfindən işlənmişdir.



Şəkil 15.1. Asinxron elektromaqnit mexanizmi

Asinxron mühərrikin iş prinsipi şəkil 15.1.-də təsvir edilmiş elektromaqnit mexanizminin misalında izah edilir. İkiqütblü nal şəkilli sabit maqnit $A - A$ oxu ətrafında sabit n_0 sürəti ilə fırlanır.

Maqnitin qütbləri arasında, $B - B$ oxunda naqıl çubuqlardan «dələ qəfəsi» şəklində icra edilmiş baraban – rotor yerləşdirilmişdir. Maqnit sahəsinin fırlanması zamanı maqnit xətləri rotorun $a, b, c, \dots, h$ çubuqlarını kəsib, onlarda e.h.q.-lər $e_a, e_b, e_c, \dots, e_h$ induksiyləyir. E.h.q.-lərinin təsiri nəticəsində qapalı dövrə olduğuna görə çubuqlarda $i_a, i_b, i_c, \dots, i_h$ cərəyanları yaranır. Çubuqların induktivliyini nəzərə almasaq, bu cərəyanlar fazaca fiziki e.h.q.-ləri ilə eyni götürülə bilər.

Çubuqlardakı cərəyanlarla maqnit sahəsinin qarşılıqlı təsirindən elektromaqnit qüvvələr F_{em} yaranır və bu qüvvələr öz növbəsində fırlandırıcı elektromaqnit momenti M doğurur. Bu momentin təsirindən rotor maqnit sahəsinin istiqamətində fırlanmağa başlayır. Rotorun fırlanma sürəti artdıqca çubuqların maqnit sahəsinə nəzərən nisbi sürəti və bunun nəticəsində çubuqlardakı e.h.q.-ləri tədricən azalır. Bununla əlaqədar olaraq rotorun çubuqlarında cərəyanlar və fırlandırıcı moment M azalır. Rotorun müəyyən sürətində ($n < n_0$) fırlandırıcı momentlə (M) müqavimət momenti ($M_{müq}$) arasında müqavimət yaranır. Müqavimət momenti $M_{müq}$ rotor oxunun yastıqlara və rotor çubuqlarının havaya sürtüşməsi ilə əlaqədardır. Müqavimət halında rotor sabit sürətlə fırlanır.

Sabit sürətlə fırlanan rotorun oxuna xaricdən müqavimət momenti əlavə etsək, müqavimət pozular, müqavimət momenti fırlandırıcı momentdən artıq olar. Onda rotor sürətinin azaltmağa başlar və fırlandırıcı moment artır. Sürətin müəyyən təzə qiymətində ($n' < n$) yenidən müqavimət yaranar. Buradan belə çıxır ki, müqavimət momentinin hər bir qiymətində rotorun fırlanma sürətinin müəyyən qiyməti uyğun gəlir. Rotorun sürəti n maqnit sürətinin sahəsinə n_0 çatma bilməz, çünki yalnız bu halda rotor çubuqlarında cərəyanlar induksiya oluna bilər və fırlandırıcı moment yaranar. Rotorun fırlanma sürətinin maqnit sahəsinin fırlanma sürətindən geri qalmaq dərəcəsi sürüşmə adlanan kəmiyyətlə qiymətləndirilir:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (15.1)$$

$$n = n_0(1 - s) = n_0 - sn_0 \quad (15.2)$$

Rotorun sürəti $n = 0$ -dan $n = n_0$ -a qədər dəyişdikdə sürüşmə $s = 1$ -dən $s = 0$ -a qədər dəyişir.

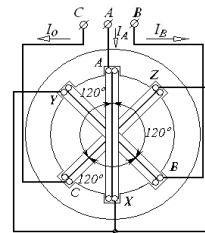
Baxılan mexanizmə elektrik mühərriki deyilir. Burada elektrik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi getmir, mexaniki enerjinin elektromaqnit üsulla bir oxdan digər oxa ötürülməsi baş verir. Asinxron mühərrikdə isə fırlanan maqnit sahəsi elektrik üsulu ilə yaradılır.

15.2. Fırlanan maqnit sahəsinin alınması

Fırlanan maqnit sahəsinin alınmasını izah etmək üçün şəkil 15.2-də göstərilən vərəqə poladdan

yığılmış və içərisində yuvalar açılmış içiboş silindrə müraciət edək.

Silindrin diametral əks yuvalarında A və X, B və Y, C və Z sarğılar sayı eyni olan üç sarğac yerləşdirilmişdir. Bu sarğacla rın aralarında 120° bucaq təşkil edir. Sarğacla r «ulduz» sxemi üzrə birləşdirilib üçfazlı şəbəkəyə qoşulmuşdur. Sarğacın dolaqlarından fazaca üçdə bir period fərqlənən sinusoidal cərəyanlar I_A , I_B , I_C axır.



Şəkil 15.2. Asinxron mühərrikin üçfazlı dolağı

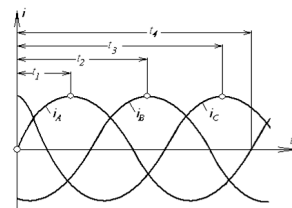
Hər bir sarğac ayrılıqda döyünən maqnit seli yaradır. Bu sellərin oxları uyğun sarğacın oxu ilə birləşir.

Döyünən bu üç maqnit selinin birlikdə qiymətcə sabit, istiqamətcə isə sabit bucaq sürəti ilə fırlanan ümumi maqnit seli yaratmasını göstərək.

Zamanın bir neçə ardıcıl t_1 , t_2 və t_3 anları üçün (şəkil 15.3) sarğaclarda cərəyanların qiymət və istiqamətini təyin edək.

Cərəyanlar üçün müsbət istiqamət kimi sarğacın əvvəlindən sonuna doğru istiqaməti qəbul edirik.

t_1 anında (şəkil 15.3 və 15.4,a) i_A cərəyanını və F_A maqnitləşdirici qüvvəsi ($\mathbf{m} \cdot \mathbf{q}$) müsbət və maksimal qiymətə malikdir ($I_{\max}$, $I_{\max} \omega$).



Şəkil 15.3. Üçfazlı cərəyanın qrafiki

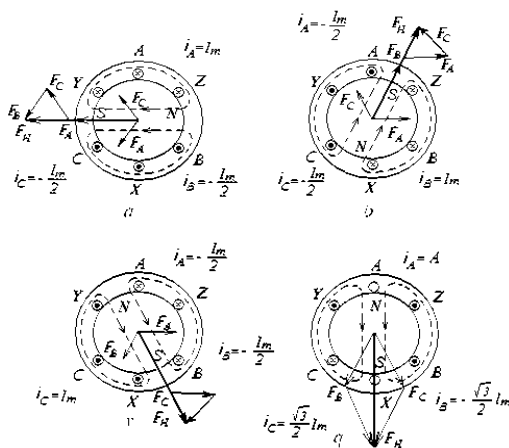
i_B və i_C cərəyanları və uyğun olaraq F_B və F_C maqnitləşdirici qüvvələri mənfidir və amplituda qiymətinin yaranmasına bərabərdir

$$\left(-\frac{1}{2}I_{\text{mak}}, -\frac{1}{2}I_{\text{mak}}\omega\right). \quad \dot{F}_A, \dot{F}_B, \dot{F}_C \text{ m.q. vektorlarını}$$

toplasaq, nəticəvi m.q. vektorunu $\dot{F}_{\text{net}}$ alırıq. Onun qiyməti $\frac{3}{2}I_{\text{mak}}\omega$ -ə bərabərdir, nəticəvi isə baxılan t_1 anında AX sarğacının oxu istiqamətindədir.

$t_2 = t_1 + \frac{T}{3}$ anında (şəkil 15.3, 15.4,b) i_B cərəyanını,

F_B m.q. müsbət və maksimal qiymətə malikdir. i_B və i_C cərəyanları, F_A və F_C m.q.-ləri isə mənfidir və amplituda qiymətinin yarısına bərabərdir.



Şəkil 15.4. Üçqütblü fırlanan maqnit sahəsinin alınması

Nəticəvi $\dot{F}_{\text{net}}$ m.q. vektoru, quraşdırmadan göründüyü kimi, üz qiymətini $\frac{3}{2}I_{\text{mak}}\omega$ saxlamış, lakin

əvvəlki vəziyyətinə görə 120^0 dönmüşdür və o, bu halda **BY** sargacının oxu istiqamətindədir.

$t_2 = t_1 + \frac{T}{3}$ anında cərəyanların və **m.q.**-lərin paylanması şəkil 15.4,c şəklində təsvir edilmişdir. Burada da

$$F_{\text{net}} = \frac{3}{2} I_{\text{mak}} \omega.$$

Beləliklə sübut etmək olar ki, istənilən anda nəticəvi **m.q.** qiymətcə sabit qalır və $\frac{3}{2} I_{\text{mak}} \omega$ -ə bərabərdir.

Şəkil 15.4,q-də t_A anı üçün də ($i_A = 0$ olduqda) bu müddəə təsvir edilmişdir.

Şəkil 15.4-dəki quraşdırmalardan görünür ki, nəticəvi fırlanan maqnit sahəsi ikiqütblü alınmışdır. Silindrin daxili səthinin maqnit xətləri çıxan hissəsinə şimal qütbü, maqnit xətləri daxil olan hissəsinə isə cənub qütbü kimi baxmaq olar.

Baxılan şəkillərin müqayisəsindən belə nəticəyə gəlirik:

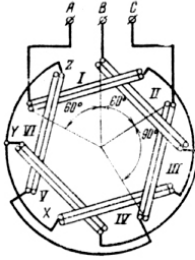
1. Nəticəvi ikiqütblü maqnit sahəsi bir period ərzində bir dövr edir; fırlanma sürəti

$$n_0 = 60 \cdot f = 60 \cdot 50 = 3000 \text{ dövr/dəq}$$

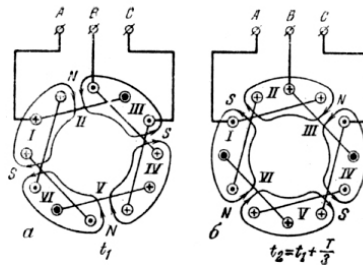
2. Maqnit sahəsinin fırlanma istiqaməti qidalandırıcı şəbəkənin faza ardıcılığı ilə (**A→B→C**) eynidir.

Kiçik fırlanma sürəti almaq üçün sargacların sayını 3-dən 6, 9, 12 və s. qədər artırmaq lazımdır.

Məsələn, əgər 6 sarğac götürsək, I sarğacının IV sarğacı ilə, II sarğacının V sarğacı ilə və III sarğacını VI sarğacı ilə ardıcıl birləşdirsək (şəkil 15.5), onlardan üçfazlı cərəyan axdıqda dördqütblü ($2p=4$) fırlanma maqnit sahəsi yaranar. Buna əmin olmaq



Şəkil 15.5. Dördqütblü mühərrikin üçfazlı dolağı



Şəkil 15.6. Dördqütblü mühərrikin maqnit sahəsi

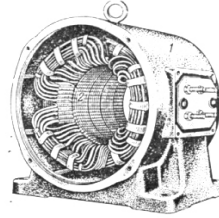
üçün şəkil 15.6-a baxmaq kifayətdir. Şəkil 15.6,a və 15.6,b t_1 və $t_2 = t_1 + \frac{T}{3}$ anları üçün qurulmuşdur. Bu şəkillərin müqayisəsindən görünür ki, üçdə bir period ərzində maqnit sahəsi 60° dönmüşdür, yəni dördqütblü maqnit sahəsinin sürəti ikiqütblü maqnit sahəsinin sürətindən iki dəfə kiçik alınır. Sarğacların sayını dөqquz götürsək, fırlanan maqnit sahəsi altıqütblü alınar və fırlanma sürəti üç dəfə azalar. Beləliklə cüt qütblərin sayı p və şəbəkənin tezliyi f_1 olarsa, fırlanan maqnit sahəsinin sürəti belə təyin edilir:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (15.3)$$

15.3. Asinxron mühərrikin quruluşu

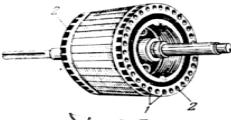
Asinxron mühərrik iki əsas hissədən ibarətdir: tərpənməz stator və fırlanan rotor.

Stator (şəkil 15.7) çuqun və yaxud polad gövdədən (1) və bunun içərisində yerləşdirilmiş elektrotexniki polad vərəqlər-dən yığılmış içiboş silindrdən (2) ibarətdir. Silindrində xili səthində açılmış yuvalarda üçfazlı cərəyan şəbəkəsindən bəslənən və fırlanan maqnit sahəsi yaradan dolaq (3) yığılmışdır.

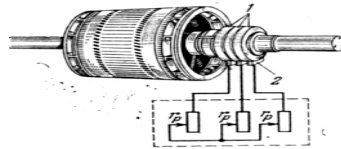


Şəkil 15.7. Asinxron mühərrikin statoru

Rotor (şəkil 15.8 və 15.9) elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış silindrdən ibarətdir. Rotorun səthində olan yuvalarda rotor dolağı yığılmışdır. Bu dolaq bəsləyici şəbəkə ilə elektrik rabitəsinə malik deyildir. Rotor dolağında axan cərəyan fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə induksiyanır. Rotor dolağının tipindən asılı olaraq, asinxron mühərriklər *qısaqapanmış rotorlu* və *faza rotorlu* mühərriklərə ayrılır.



Şəkil 15.8. Qısaqapanmış dolaqlı rotor



Şəkil 15.9. Faza rotoru

15.4. Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə rejimi

Statorun və tərpənməz rotorun elektrik hərəkət qüvvələri

Rotor dolağının açıq halında faza rotorlu asinxron mühərrikdə baş verən hadisələrə baxaq. Stator dolağını üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə qoşsaq, bu dolaqdan axan faza cərəyanları fırlanan maqnit sahəsi yaradacaqdır. Bu maqnit sahəsi n_0 sürəti ilə fırlanacaqdır. Fırlanan maqnit sahəsi stator və rotor dolaqlarını kəsib onlarda elektrik hərəkət qüvvələri induksiylayacaq. Rotor dolağının dövrəsi açıq olduğuna görə ondan cərəyan axmayacaq və fırlandırıcı moment sıfır olacaqdır. Tərpənməz dolaqlarda induksiylanan e.h.q.-lərinin tezliyi

$$f = \frac{pn_0}{60} = \frac{p}{60} \cdot \frac{60f_1}{p} = f_1 \quad (15.4)$$

qidalandırıcı şəbəkənin tezliyinə (f_1) bərabər olacaqdır.

Real maşinlarda stator dolaqları (və faza rotorun) sarğaclarının hər tərəfi bir yuvada deyil, bir neçə qonşu yuvalarda yerləşdirilir. Bununla nəinki stator və rotorun silindrik səthlərindən yaxşı istifadə edilməsi, həm də maqnit induksiyaasının sinusoidal paylanması əldə edilir. Ona görə də sarğacın hər sarğısını kəsən maqnit seli sinus qanunu ilə dəyişir:

$$\phi = \Phi_{\text{mak}} \sin \omega t$$

Transformatorada olduğu kimi, stator və rotor dolağının hər sarğacında induksiya e.h.q.-nin effektiv qiyməti belə təyin olunur:

$$E = 4,44f_1 w_1 \Phi_m \quad (15.5)$$

Stator və tərpənməz rotorun hər faza dolağında induksiyanmış e.h.q.-lər belə ifadə edilir:

$$E_1 = E w_1 k_1 = 4,44f_1 w_1 k_1 \Phi_m \approx 4,44 w_1 f_1 \Phi_m \quad (15.6)$$

$$E_2 = E w_2 k_2 = 4,44f_1 w_2 k_2 \Phi_m \approx 4,44 w_2 f_1 \Phi_m \quad (15.7)$$

burada w_1 və w_2 – stator və rotor dolaqlarının sarğılar sayı; k_1 və k_2 – stator və rotor dolaqlarının dolaq əmsallarıdır, bu əmsallar dolağın qonşu sarğılarında e.h.q.-lərinin faza fərqiə malik olmasını nəzərə alır (k_1 və k_2 qiymətləri vahidə yaxındır).

Transformatorla analoji olaraq

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{1f}}{U_{2f}} = k \quad (15.8)$$

nisbətine transformasiya əmsalı deyilir (U_{1f} və U_{2f} - stator və tərpənməz rotor dolaqlarının faza gərginlikləridir).

Asinxron mühərrikin yüksüz işləməsi. Rotor dolağının açıq halında asinxron mühərriki şəbəkəyə qoşduqda rotor tərpənməz qalır. Stator dolağından I_0 cərəyanı axır, rotor dolağında isə cərəyan axmır. Rotorun dolağı qapalı olduqda ondan axan cərəyan sıfır olmaq üçün rotorun sürəti n fırlanan maqnit sahəsinin sürətinə n_0 bərabər olmalıdır. Belə rejimə ideal yüksüz işləmə deyilir, çünki real şəraitdə, yük olmadıqda belə $n < n_0$ olur (mexaniki itkilərə görə). Yüksüz işləmə rejimində də stator dolağından I_0 cərəyanı axacaqdır.

Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə cərəyanı statorun nominal cərəyanının 20 – 40%-ni təşkil edir ($I_0 = 0,2 - 0,4 \cdot I_{in}$). Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə cərəyanının belə böyük olmasına səbəb onun maqnit dövrəsində hava aralığının olmasıdır. Hava aralığı maqnit dövrəsinin müqavimətini artırır və lazımı maqnit selini Φ yaratmaq üçün daha böyük maqnitləşdirici qüvvə $I_0 w_1$ tələb olunur.

15.5. Asinxron mühərrikin dövrələrində gedən elektromaqnit proseslər

Fırlanan rotorun elektrik hərəkət qüvvəsi

Rotor dolağını qısa və ya hər hansı müqavimətlə qapasaq, ondan I_2 cərəyanı axar. Rotor cərəyanı və fırlanan maqnit sahəsinin qarşılıqlı təsirindən yaranan elektromaqnit fırlandırıcı moment rotoru $n < n_0$ sürəti ilə fırlatmağa başlayar.

$$\text{Sürüşmənin qiyməti} \quad s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad \text{mühərrikin valındakı}$$

müqavimət momentinin $M_{müq}$ qiymətindən asılıdır. Mühərrikin tam

(nominal) yükündə sürüşmə $2 - 8\%$ təşkil edir (kiçik qiymətlər daha güclü mühərriklərə aiddir).

n sürəti ilə fırlanan rotor dolağında induksiyaalanan e.h.q.-nin qiymətini E_{2s} və tezliyini f_2 təyin edək.

Maqnit sahəsinin rotora nisbətən fırlanma sürətinin $(n_0 - n)$ olduğunu nəzərə alsaq, f_2 tezliyini belə tapırıq:

$$f_2 = \frac{p(n_0 - n)}{60} = \frac{pn_0}{60} \cdot \frac{n_0 - n}{n_0} = f_1 s \quad (15.9)$$

$f_1 = 50$ Hs olduqda $s = 0,02 - 0,08$ nominal sürüşmələrdə $f_2 = 1 - 4$ Hs olur.

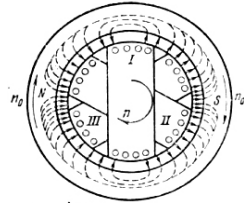
Fırlanan rotor dolağında induksiyaalanmış e.h.q., $f_2 = f_1 s$ olduğunu nəzərə alsaq

$$E_{2s} = 4,44 w_2 f_2 \Phi_m = E_2 s \quad (15.10)$$

olar. E_{2s} e.h.q. tərpənməz rotorda yaranan E_2 e.h.q.-dən dəfələrlə kiçik olur. Məsələn, $s = 0,02 - 0,08$ olduqda, E_{2s} e.h.q. E_2 -nin $2 - 8\%$ -ni təşkil edir.

Rotor maqnit sahəsi

Rotorun maqnit sahəsinin fırlanması onun dolağının üçfazlı olub, bir-bir 120° bucaq təşkil edən üç sarğacdən ibar olmasından (şəkil 15.10) irəli gəlir. Maq sahəsinin rotora nəzərən nisbi sürəti



$$\frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1}{p} s = n_0 s \quad (15.11)$$

Şəkil 15.10. Rotoru fırlanan maqnit sahəsi

Rotorun maqnit sahəsi rotorun fırlanma istiqamətində fırlanır. Rotor maqnit sahəsinin fəzada fırlanma sürəti iki sürətin cəmindən ibarətdir: rotorun özünün mexaniki fırlanma sürəti $n = n_0(1 - s)$ və maqnit sahəsinin rotora nəzərən fırlanma sürəti $n_0 s$:

$$n_0(1 - s) + n_0 s = n_0 \quad (15.12)$$

Bu ifadədən görünür ki, istənilən sürüşmədə rotorun maqnit sahəsinin sürəti statorun maqnit sahəsinin sürətinə bərabərdir.

Fırlanan rotorun cərəyanı

Rotor cərəyanı ümumi fırlanan maqnit selinin yaradılmasında iştirak etməkdən başqa, səpələnmə seli də yaradır: $\Phi_{2\sigma}$. Bu sel I_2 cərəyanına mütənasib olub, rotor dolağının hər fazasında səpələnmə e.h.q. yaradır:

$$E_{2\sigma} = 4,44 w_2 f_2 \Phi_{2\sigma} \quad (15.13)$$

Səpələnmə e.h.q.-nin təsirini rotorun induktiv müqavimətində gərginlik düşgüsü ilə nəzərə alırlar:

$\dot{E}_{2\sigma} = -j_2 \dot{I} x_{2\sigma}$. İnduktiv müqavimətin $x_{2\sigma}$ qiyməti sürüşmədən asılıdır:

$$x_{2\sigma} = 2 \pi f_2 L_2 = 2 \pi f_1 L_2 s = x_2 s \quad (15.14)$$

burada L_2 – rotor dolağının induktivliyi; $x_2 = 2 \pi f_1 L_2$ – tər-pənməz rotor dolağının induktiv müqavimətidir.

Rotorun dolağından axan cərəyan belə təyin edilir:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{z_2} = \frac{E_2 s}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} \quad (14.15)$$

burada r_2 – rotor dolağının aktiv müqavimətidir.

Rotorun dolağında ən böyük cərəyan işə düşmə halında, $s = 1$ olduqda yaranır.

Asinxron mühərrikin dolaqlarının maqnitləşdirici qüvvələri

Yüksüz işləmədə rotorun cərəyanı $I_2 = 0$ olur və mühərrikin maqnit seli stator dolağının maqnitləşdirici qüvvəsi tərəfindən yaradılır:

$$F_0 = \frac{3}{2} I_{om} \omega_1$$

Yüklü rejimdə ($I_2 \neq 0$) ümumi maqnit seli stator və rotorun m.q.-lərinin birgə təsirindən yaranır:

$$\dot{F}_{net} = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \frac{3}{2} \dot{I}_{1m} w_1 + \frac{3}{2} \dot{I}_{2m} w_2$$

Stator dolağına tətbiq edilmiş gərginliyin amplituda qiyməti sabit qalır və bu gərginlik stator dolağında e.h.q.-ni müvazinətdə saxlayır (stator dolağında gərginlik düşgüsü çox kiçikdir).

$E_1 \approx U_1 = \text{const}$ bərabərliyi o deməkdir ki, mühərrikin istənilən iş rejimində ümumi maqnit seli (Φ) təxminən sabit qalır. Buradan mühərrikin maqnitləşdirici qüvvələr tənliyi alınır:

$$\frac{3}{2} \dot{\mathbf{I}}_{1m} \mathbf{w}_1 + \frac{3}{2} \dot{\mathbf{I}}_{2m} \mathbf{w}_2 \approx \frac{3}{2} \dot{\mathbf{I}}_{0m} \mathbf{w}_1 \quad (15.16)$$

Stator cərəyanının ifadəsi üçün alırıq:

$$\dot{\mathbf{I}}_1 = \dot{\mathbf{I}}_0 - \dot{\mathbf{I}}_2 \frac{\mathbf{w}_2}{\mathbf{w}_1} = \dot{\mathbf{I}}_0 + \dot{\mathbf{I}}_2$$

burada $\dot{\mathbf{I}}_2 = -\dot{\mathbf{I}}_2 \frac{\mathbf{w}_2}{\mathbf{w}_1}$ - rotorun zəvrilmiş cərəyanıdır.

Stator cərəyanına ($\mathbf{I}_1$) maqnitləşdirici cərəyan ($\mathbf{I}_0$) və rotor cərəyanının maqnitləşdirici təsirini kompensasiya edən çevrilmiş $\dot{\mathbf{I}}_2$ cərəyanının cəmi kimi baxmaq olar.

Asinxron mühərrikin energetik diaqramı

Asinxron mühərrikin aktiv güclər balansını aşağıdakı tənliklə göstərmək olar:

$$\begin{aligned} P_e = \Delta P_{1e} + \Delta P_m + \Delta P_{2e} + \Delta P_{mex} - \Delta P_{1e} + \\ + \Delta P_m + \Delta P_{2e} + \Delta P_{mex} + P \end{aligned} \quad (15.17)$$

burada $P_e = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ - mühərrikin şəbəkədən tələb etdiyi güc;

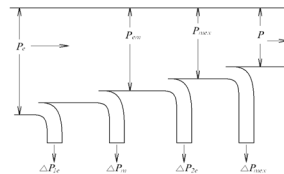
$\Delta P_{1e} = 3I_1^2 r_1$ - stator dolağında elektrik itkiləri; ΔP_m - stator dolağında maqnit itkiləri (rotorda maqnit itkiləri çox kiçikdir);

$\Delta P_{2e} = 3I_2^2 r_2$ - rotor dolağında elektrik itkiləri; P_{mex} - mühərrikin yaratdığı tam mexaniki güc; ΔP_{mex} - mühərrikdə mexaniki itkilər; P - mühərrikin valında faydalı mexaniki gücdür.

Asinxron mühərrikin aktiv güclər balansını əyani olaraq şəkil 15.11-də energetik diaqramda təsvir edilmişdir.

$$P_{em} = P_e - \Delta P_{1e} - \Delta P_m$$

kəmiyyətində mühərrikin **elektromaqnit gücü** deyilir. Bu güc



Şəkil 15.11. Asinxron mühərrikin energetik diaqramı

fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə statordan rotora ötürülür.

Mühərrikin zavod pas-portunda nominal rejimdəki faydalı mexaniki güc P gös-tərilir. Faydalı güc mexaniki gücdən mexaniki itkilər qədər kiçik olur:

$$P = P_{\text{mex}} - \Delta P_{\text{mex}} \quad (15.18)$$

15.6. Asinxron mühərrikin energetik göstəriciləri

Asinxron mühərrikdə güc itkiləri ΔP və tələb edilən reaktiv güc Q onun əsas istismar göstəricilərini təyin edir. Bu cöstəricilər mühərrikin faydalı iş əmsalı η (f.i.ə.) və güc əmsalı $\cos\varphi$ -dir.

Mühərrikin f.i.ə.

Energetik diaqramda (şəkil 15.11) itkilərin cəmini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{le}} + \Delta P_{\text{m}} + \Delta P_{\text{2e}} + \Delta P_{\text{mex}} = \Delta P_{\text{c}} + \Delta P_{\text{y}}$$

Bu ifadədə $\Delta P_{\text{y}} = 3(I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2)$ yükədən asılı olan dəyişən itkilər. $\Delta P_{\text{c}} = \Delta P_{\text{m}} + \Delta P_{\text{mex}}$ yüksüz işləmə itkilərinə bərabər sabit itkilərdir.

Mühərrikin yüklənmə əmsalının

$$\beta = \frac{P}{P_{\text{nom}}} \approx \frac{M}{M_{\text{nom}}} \approx \frac{s}{s_{\text{nom}}}$$

olduğunu nəzərə alsaq, rotor cərəyanının

$$I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_2'^2}} \approx \frac{E_2' s}{r_2'} = \frac{\beta E_2'}{r_2'} s_{\text{nom}}$$

və stator cərəyanının

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2'$$

yüklənmə əmsalına mütənəsb olduğunu görürük. Onda dəyişən itkilər yüklənmə əmsalının kvadratı ilə mütənəsb olar:

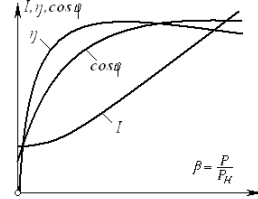
$$\Delta P_y = \Delta P_{y, \text{nom}} \beta^2$$

burada $\Delta P_{y, \text{nom}}$ – nominal yükdə dəyişən itkilərdir.

Bu asılılıqlardan istifadə etsək, mühərrikin f.i.ə. üçün alırıq:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P}{P + \sum \Delta P} = \\ &= \frac{\beta P_{\text{nom}}}{\beta P_{\text{nom}} + \Delta P_c + \beta^2 \Delta P_{y, \text{nom}}} \end{aligned} \quad (15.37)$$

$\eta(\beta)$ qrafikindən görünür ki, (şəkil 15.12) mühərrikin yükünün geniş həddə dəyişməsi y.i.ə.-nin azacıq dəyişməsinə səbəb olur. Bu isə əlverişli haldır.



Şəkil 15.12. Asinxron mühərrikin işçi xarakteristikaları

Mühərrikin güc əmsalı

Asinxron mühərrikin tələb etdiyi reaktiv gücü əvəz sxemində görə təyin edə bilərik:

$$\begin{aligned} Q &= 3I_1^2 x_1 + 3I_0^2 x_0 + 3I_2^{/2} x_2^{/} = \\ &= Q_0 + Q_2 \end{aligned} \quad (15.38)$$

Bu ifadədən görünür ki, tələb edilən reaktiv gücün bir hissəsi Q_0 yükün qiymətindən asılı deyildir, digər hissəsi Q_2 isə yükədən asılıdır və yüklənmə əmsalının kvadratı ilə (β^2) mütənasibdir. Mühərrikin güc əmsalı

$$\cos \varphi = \frac{P_c}{\sqrt{P_c^2 + Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P_c} \right)^2}} \quad (15.39)$$

$\cos \varphi(\beta)$ qrafikindən (şəkil 15.12) görünür ki, mühərrik az yükləndikdə güc əmsalı çox kiçik olur. Bu isə energetik nöqteyi-nəzərdən əlverişli deyildir. Odur ki, asinxron mühərrikin yüksək $\cos \varphi$ ilə işləməsi üçün o tam yüklənməlidir.

15.7. Asinxron generator

Asinxron maşın təkcə mühərrik kimi deyil, müəyyən şəraitdə elektrik enerjisi generatoru kimi də işləyə bilər.

Əgər üçfazlı şəbəkəyə qoşulmuş asinxron maşının rotoru fırlanan maqnit sahəsinin istiqamətində sinxron sürətdə (n_0) böyük sürətlə (n) fırlandırılrsa, rotorun sürüşməsi mənfi olar:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} < 0$$

(15.20) bərabərliyindən belə nəticə çıxarmaq olar ki, elektromaqnit güc P_{em} -də mənfi olacaqdır:

$$P_{em} = \frac{\Delta P_{2e}}{s}$$

Bu işə enerjinin fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə rotordan statora ötürülməsinə sübutdur. Yəni asinxron maşın mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirib şəbəkəyə verəcəkdir, başqa sözlə, generator rejimində işləyəcəkdir.

Asinxron generatorun aktiv gücünü generatoru fırlandıran mühərrikin sürətini dəyişməklə tənzim edirlər.

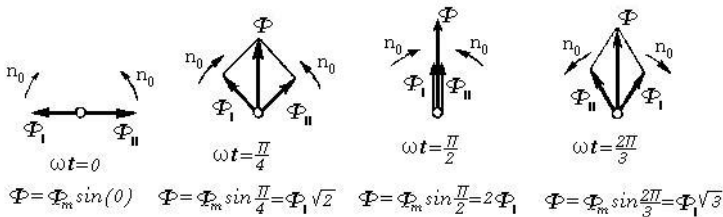
Asinxron generatorun mənfi cəhəti şəbəkədən fırlanan maqnit sahəsi yaratmaq üçün böyük reaktiv güc tələb etməsidir. Buna baxmayaraq, asinxron generatorlardan külək güc qurğularında və kiçik kənd su-elektrik stansiyalarında istifadə edilir.

15.8. Asinxron mikromühərriklər

Birfazlı mühərriklər

Birfazlı asinxron mühərrikin statoru bir dolağa malikdir; rotor isə «dələ qəfəsi» şəklində qısa qapanmış halda hazırlanır. Mühərriki şəbəkəyə qoşduqda stator dolağının yaratdığı maqnit seli döyünən olur, fırlanan olmur: $\phi = \Phi_m \sin \omega t$. Döyünən maqnit selini müxtəlif istiqamətdə fırlanan iki eyni sabit qiymətli sel ilə əvəz etmək olar:

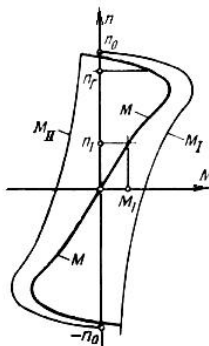
Buna inanmaq üçün (şəkil 15.13) diaqramlara baxmaq kifayətdir.



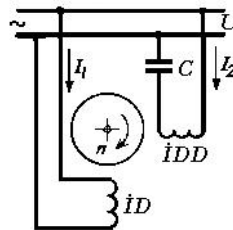
Şəkil 15.13. Döyünən maqnit selinin iki fırlanan
selə ayrılması

Rotorun tərpənməz halında hər iki fırlanan selin yaratdıqları fırlandırıcı momentlər bir-birini müvazinətləşdirir və rotor heç bir tərəfə fırlanmır (şəkil 15.14).

Təcrübə göstərir ki, əgər rotoru hər hansı istiqamətdə fırlatsaq, sonradan kənardan təsir olmadan rotor həmin istiqamətdə fırlanmasını davam etdircəkdir. Rotorla eyni istiqamətdə fırlanan maqnit sahəsinə **düz**, əks istiqamətdə fırlanan sahəyə isə **əks-sahə** deyilir.



Şəkil 15.14. Birfazlı asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası



Şəkil 15.15. Əlavə işədüsmə
dolağı olan birfazlı asin-
xron mühərrik

Bir fazalı asinxron mühərrikdə başlanğıc işədənə momenti yaratmaq üçün onu əlavə quruluşla təchiz edirlər. Adətən, işədənə momenti yaratmaq üçün birfazlı mühərrik əlavə işəsalıcı dolaqla **İSD** təchiz edilir. Bu dolaq statorda elə yerləşdirilir ki, onun maqnit seli işçi dolağın (**ID**) selindən fəzada 90° sürüşmüş halda olsun (şəkil 15.15). Bundan başqa, işəsalıcı dolağa ardıcıl olaraq kondensator C qoşulur. Bu ondar ötrü edilir ki, I_1 və I_2 cərəyanları arasında 90° -yə yaxın fəza fərqi yaransın. Nəticədə fəzada 90° sürüşdürülmüş halda yerləşdirilmiş iki dolaqdan fazaca fərqli cərəyanların axması fırlanan maqnit seli yaradır. Bu sel kifayət qədər fırlandırıcı moment yaradır. İşəsalıcı dolağın ölçülərini azaltmaq üçün onu qısamüddətli qoşulmaya hesablayırlar. Mühərrik normal sürətini aldıqda əlavə dolaq açılır.

Kondensatorlu mühərrik. Axır zamanlar kondensatorlu mühərriklər tətbiq edilməyə başlanmışdır. Bu mühərriklərin kondensatorlu işəsalıcı dolağı uzun-müddətli iş hesablanmışdır və iş müddətində qoşulmuş halda qalır. Belə mühərriklər böyük maksimal momentə və yüksək $\cos\phi$ -ə malikdir.

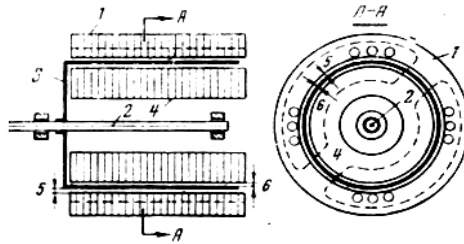
Birfazlı mühərriklərdən elektrik məişət qurğularında geniş istifadə edilir (soyuducularda, yuyucu maşınlarda və s.).

Müqaviməti artırılmış dolaqlı rotoru olan birfazlı asinxron mühərrik

Avtomatik sxemlərdə bu mühərriklər geniş yayılmışdır. Birfazlı mühərrikin rotor dolağının müqavimətini (r_2) artırıbsaq, r_2 -nin müəyyən qiymətində mühərrik başlanğıc sürət aldıqdan sonra müstəqil fırlanma qabiliyyətini itirir və dayanır. Müqaviməti artırılmış dolaqlı rotoru olan mühərriki işəsalıcı dolaqla təchiz etsək, o, müstəqil fırlana bilər. Bu mühərrikdə işəsalıcı dolaq rolunu idarə dolağı oynayır. İdarə dolağı qidəni avtomatika sxeminin elementlərindən müəyyən signal gəldikdə alır. Signal kəsildikdə idarə dolağının qidası kəsilir və mühərrik dayanır.

İçiböş rotorlu asinxron mühərrik. Avtomatik quruluşların sxemlərində kiçik güclü (vattın hissələrindən bir neçə yüz vatta qədər) içiböş rotorlu ikifazlı asinxron mühərriklər geniş tətbiq edilir. Belə mühərrikin konstruktiv quruluşu sxemi olaraq şəkil 15.16-də göstərilmişdir.

Mühərrikin statoru (1) adi konstruksiyaya malikdir, onun yuvalarında oxları 90° sürüşdürülmüş iki dolaq (təsirləndirici dolaq və idarə dolağı) yerləşdirilmişdir. Mühərrikin valında (2) içiböş rotorlu (3) oturdulmuşdur. Rotor nazikdivarlı stəkan şəklindədir, dolaqsızdır. Rotor qeyri-ferromaqnit materialdan



Şəkil 15.16. İçi boş rot orlu asinxron mühərrikin quruluşu

(alüminiumdan) hazırlanır.

Rotorun daxilində elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış silindrik tərپənməz nüvə (4) yerləşdirilmişdir. Onun vəzifəsi maqnit selinin yolunda maqnit müqavimətini (R_{maq}) azaltmaqdır. Maqnit seli dörd dəfə hava aralığından (5 və 6, isiböş rotorun xaricindən və daxilindən) keçir.

Stator dolaqlarından keçən cərəyanlar fırlanan maqnit sahəsi yaradır. Bu sahə içiböş rotoru kəsib onda burulğan cərəyanlar yaradır. Bu cərəyanlarla fırlanan maqnit sahəsinin qarşılıqlı təsirindən fırlandırıcı elektromaqnit moment yaranır və rotor $n < n_0$ sürəti ilə fırlanmağa başlayır. Çəkisi az olduğuna görə rotorun ətaləti kiçik olur və buna görə bu mühərrikin avtomatik quruluşlarda tətbiqi böyük əhəmiyyət kəsb edir.

15.9. Müxtəlif iş rejimləri üçün elektrik mühərrikinin gücünün seçilməsi

Elektrik intiqalının tələb etdiyi gücü təyin edərkən onun həm qərarlaşmış və həm də keçid rejimlərindəki yükü nəzərə alınmalıdır. Uzunmüddətli iş rejimində işçi mexanizmin yükü sabit ola bilər

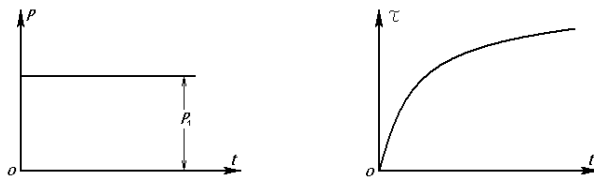
və ya müəyyən qanunla dəyişə bilər. Birinci halda elektrik mühərrikinin temperaturu sabit, ikinci halda isə yükdən asılı olacaqdır. Yükün sabit halında elektrik mühərriki aşağıdakı qayda ilə seçilir.

Mexanizmin verilmiş P_1 yükünə əsasən və onun f.i.ə. nəzərə alınmaqla, kataloqdan bu gücdə və ya buna yaxın böyük güclü elektrik mühərriki seçilir:

$$P_n = \frac{P_1}{\eta}$$

Seçilən elektrik mühərriki işəsalınma itkilərinə görə bir daha yoxlanılır, çünki işəsalınma halları belə iş rejimində çox azdır.

Şəkil 15.17-də göstərilən iş rejimi üçün gücün və temperaturun zamandan asılılığı qrafikləri verilir. Bu cür yük qrafikinə malik olan mexanizmlərə misal olaraq ventilyator, kompressor və mərkəzdənqaçma nasosları göstərilə bilər.



Şəkil 15.17. Uzunmüddətli iş rejimi üçün və temperaturun zamandan asılılığı qrafikləri

İşçi mexanizmlərin çoxunda yük sabit qiymətdə qalmayıb müəyyən hədlərdə dəyişir. Bu halda intiqal mühərrikinin gücünün yükün orta qiymətinə görə seçilməsi düzgün olmaz, çünki mühərrikdəki istilik itkiləri yük cərəyanının kvadratı ilə mütə-

nasibdir. Orta yükə görə seçilmiş mühərrik artıq qızacaqdır.

Təcrübədə mühərriklərin qızmaya yoxlanmasında yaxınlaşma metodlarından istifadə edilir ki, bunlardan da ən sadəsi ekvivalent (orta kvadratik) kəmiyyətlər üsuludur.

Şəkil 15.18-də dəyişən yüklə mühərrikin sərf etdiyi cərəyanın qrafiki göstərilmişdir. Həqiqi yük cərəyanı I , dəyişməz qiymətli I_{ekv} cərəyanı ilə əvəz edilə bilər. Bu cərəyanın yaratdığı itkilər:

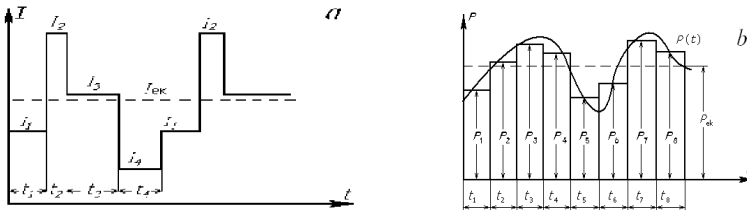
$$I_{\text{ekv}}^2 r = \frac{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n) r}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Burada:

r – mühərrik dövrəsinin aktiv müqavimətidir.

Buradan

$$I_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$



Şəkil 15.18. Yük qrafikləri: a) ekvivalent cərəyan;
b) ekvivalent güc

Seçilmiş mühərrik qızma şərtlərini o halda ödəyir ki, $\Delta P_{\text{ekv}} \leq \Delta P_n$ olsun. Bu münasibəti başqası ilə əvəz etmək olar:

$$I_{\text{ekv}} \leq I_n$$

Əgər mühərrikin yük diaqramı $M(t)$ asılılığı şəklində verilmişsə və mühərrikin momenti cərəyanla mütənasib qəbul edilərsə ($M \equiv I$), onda ekvivalent momenti belə hesablamaq olar:

$$M_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Sürəti az dəyişən intiqallar üçün bu ifadəni ekvivalent gücə görə yazmaq olar, çünki mühərrikin gücü fırlandırıcı momentlə mütənasibdir:

$$P_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

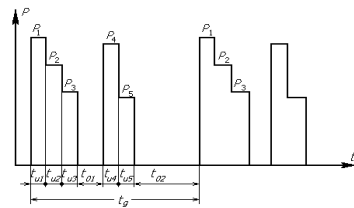
$M_{\text{ekv}} \leq M_n$ və ya $P_{\text{ekv}} \leq P_n$ isə mühərrik qızma şərtlərini ödəyir.

Əgər $I(t)$, $M(t)$, yaxud $P(t)$ yüklər qrafiki əyrixətli xarakter daşıyırsa, onu ekvivalent pilləli qrafiklə əvəz etmək lazımdır (şəkil 15.18,b).

Təkrar-qısamüddətli iş rejiminə malik istehsal mexanizmləri həqiqətdə xeyli mürəkkəb yük diaqramlarına malikdir (şəkil 15.19).

Təkrar-qısamüddətli iş rejimi üçün mühərrik seçdikdə həqiqi yük qrafiki tipik ekvivalent qrafiklə əvəz edilir. Bu halda ekvivalent güc aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$P_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{P_{u1}^2 t_{u1} + P_{u2}^2 t_{u2} + \dots + P_{un}^2 t_{un}}{t_{u1} + t_{u2} + \dots + t_{un}}}$$



Şəkil 15.19. Təkrar-qısamüddətli iş rejimində $P(t)$ yük diaqramı

burada $P_{u1}, P_{u2}, \dots, P_{un}$ – mühərrikin $t_{u1}, t_{u2}, \dots, t_{un}$ zaman periodlarında müvafiq yükləridir. Bu halda ekvivalent güc fasilələr və yüksüz zamanlar nəzərə alınmadan tapılır.

Əgər mexanizmin həqiqi iş rejimi standart nisbi qoşulma müddətinə (ΠB_{st}) uyğun gəlmirsə, ekvivalent güc standart qiymətə görə belə təyin edilir:

$$P_{ekv.st} = P_{ekv.haq} \sqrt{\frac{\Pi B_{haq}}{\Pi B_{st}}}$$

burada $P_{ekv.haq}$ – həqiqi ekvivalent güc; ΠB_{haq} – həqiqi nisbi qoşulma müddətidir.

$P_{ekv.st}$ -in qiymətinə görə təkrar-qısamüddətli rejim üçün mühərrik standart ΠB_{st} %-ə uyğun olaraq

$$P_n \leq P_{ekv.st}$$

şərtinə əsasən seçilir.

15.10. Asinxron maşınlarla və müxtəlif iş rejimləri üçün elektrik mühərrikinin gücünün seçilməsinə aid məsələlərin həlli metodikası

Məsələ 15.1.H

İş rejimi şəkil 15.19-da təsvir olunmuş diaqramla verilən mexanizmi hərəkətə gətirmək üçün mühərrikin lazım olan gücünü təyin etməli.

Həlli

Bizim halda iş rejimi uzun dəyişən yükəndən ibarətdir. Belə iş rejimlərində mühərrikin gücü ekvivalent gücə görə təyin olunur ki, bu da

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n P_k^2 t_k}{t_{is.p}}}$$

Burada $t_{is.p}$ – işçi period müddəti:

$$t_{is,p} = t_1 + t_2 + t_3 = 20 + 30 + 15 = 65 \text{ san}$$

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{10^2 \cdot 20 + 8^2 \cdot 30 + 6^2 \cdot 15}{65}} = 8,3 \text{ kVt}$$

Yük diaqramları $M=f(t)$ momenti və yaxud $I=f(t)$ cərəyanı ilə verilən halda mühərriklərin gücü ya ekvivalent momentə görə

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (M_k^2 t_k)}{t_{is,p}}}$$

ya da ekvivalent cərəyanə görə seçilir.

$$I_{ekv} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (I_k^2 t_k)}{t_{is,p}}}$$

Məsələ 15.2.H

Şəkil 15.19.H.-də verilmiş yük diaqramına uyğun təkrar-qısamuddətli yük rejimində işləyən mexanizmi hərəkətə gətirmək üçün mühərrikin lazım olan gücünü təyin etməli. Mühərrik $n = 720$ dövr/dəq fırlanan sürətinə malik olmalıdır.

Həlli. İşçi vaxtda ekvivalent momenti təyin edirik:

$$M_{ekb} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (M_K^2 t_K)}{t_{is,p}}}$$

$$t_{is,p} = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

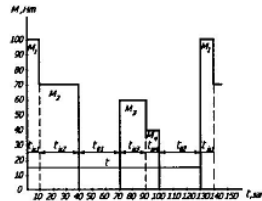
$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{100^2 \cdot 10 + 70^2 \cdot 30 + 60^2 \cdot 20 + 40^2 \cdot 10}{10 + 30 + 20 + 10}} = 63,2 \text{ Nm}$$

İşçi vaxt üçün ekvivalent momentinə uyğun olan gücü təyin edirik.

$$P_{ekv} = \frac{M_{ekv} n}{9550} = \frac{63,2 \cdot 720}{9550} = 4,75 \text{ kVt}$$

Nisbi işləmə müddətini təyin edirik.

$$\varepsilon = \frac{t_{is}}{t_{ms}} = \frac{70}{130} = 0,54$$



Şəkil 15.19.H. $M=f(t)$ qrafiki

Kataloqlarda təkrar-qısamüddətli rejimdə işləyən mühərriklərin nominal gücü nisbi işləmə müddətinin $\varepsilon=0,15; 0,25; 0,4$ və $0,6$ standart qiymətlər üçün verilir. Əgər nisbi işləmə müddətinin hesablanma qiyməti standart qiymətdən fərqlənsə, yük diaqramından hesablanan güc aşağıdakı düstur ilə yenidən hesablanmalıdır:

$$P_{\text{ekv}}' = P_{\text{ekv}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{is}}}{\varepsilon}}; \quad \varepsilon = 0,6$$

üçün

$$P_{\text{ekv}}' = 4,75 \sqrt{\frac{0,54}{0,4}} = 5 \text{ kVt}$$

Kataloqdan **4,5 kVt** hesablama üçün və $\varepsilon = 0,6$ əsasən, ya da **5,5 kVt** hesablama gücünə və $\varepsilon = 0,4$ əsasən mühərrik seçilə bilər.

15.11. Asinxron maşınlar və müxtəlif iş rejimlərinə uyğun mühərrikin gücünün seçilməsi bölməsinə aid sərbəst işlər

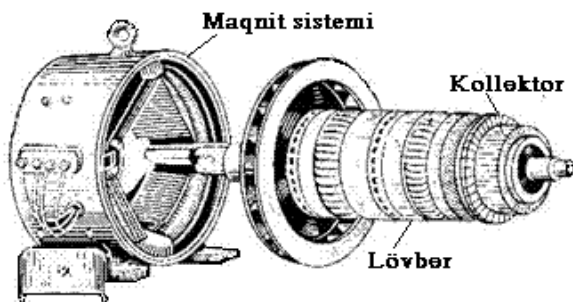
1. Fırlanan maqnit sahəsinin alınması hadisəsini izah edin.
2. Maqnit sahəsinin fırlanma istiqamətini necə dəyişmək olar?
3. Qısaqapanmış və faza rotorlu mühərriklərin müsbət və nöqsan cəhətlərini göstərin.
4. Asinxron mühərrikin sürətini hansı üsullarla tənzim etmək olar?
5. Bırfazlı asinxron mühərrikin iş prinsipini izah etməli.
6. Müxtəlif iş rejimləri üçün elektrik mühərriklərinin seçilməsinin əsas müddəalarını söyləyin.
7. Qısamüddətli iş rejimi üçün elektrik mühərrikinin gücü necə seçilir?
8. Təkrar-qısamüddətli iş rejimi üçün elektrik mühərrikinin gücü necə seçilir?

Fəsil XVI

SABİT CƏRƏYAN MAŞINLARI

Geniş yayımış dəyişən cərəyan maşınları ilə yanaşı, sabit cərəyan generatoru və mühərriklərindən də istifadə edilir. Sabit cərəyan mühərrikləri dəyişən cərəyan maşınlarından bir sıra üstünlüklərinə görə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Bu üstünlüklər sabit cərəyan mühərrikinin sürətini geniş həddə rahat tənzimləməyin mümkünlüyündən, qənaətbəxşliyindən və böyük işədüşmə momentinə malik olmasından ibarətdir. Bununla əlaqədar olaraq sabit cərəyan mühərriklərindən texniyanın bütün sahələrində istifadə edilir. Böyük işədüşmə momentinə və əlverişli mexaniki xarakteristikalara malik olması sabit cərəyan mühərriklərindən dərzi mühərrikləri kimi elektrovozda, metroda, tramvayda, trolleybusla və kran qurğularında istifadə edilməsini mənşədə uyğun etmişdir.

Hazırda sabit cərəyan generatorlarından akumulyator batareyalarını doldurmaq üçün dəyişən cərəyanı sabit cərəyana çevirən aqreqatlarda və işçi maşınların sürətini geniş həddə səlş tənzim etmək məqsədilə işləyən elektromaşın aqreqatlarında istifadə olunur.



Şəkil 16.1. Sabit cərəyan maşınının əsas hissələri

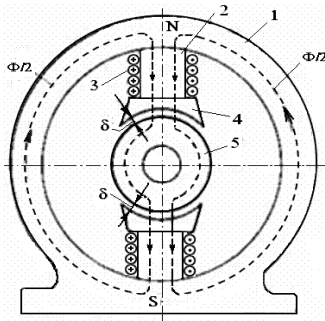
Sabit cərəyan generatoru aşağıdakı əsas hissələrdən ibarətdir (şəkil 16.1);

1) maşının əsas maqnit sahəsini yaradan tərpənməz maqnit sistemi – *stator*;

2) dolaqlarında e.h.q. induksiylanan və hərəkətə gətirilən *lövbər*;

3) vasitəsilə generatorun sıxaclarında sabit gərginlik alınan *kollektor*.

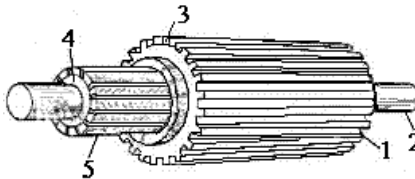
Şəkil 16.2-də sabit cərəyan maşınının ikiqütblü maqnit sistemi sxematik olaraq təsvir edilmişdir. Tərpənməz gövdə (1) tökmə poladdan hazırlanır. Gövdənin daxili səthinə elektromaqnitlərin (2) nüvələri bərkidilir. Nüvələrə izolyasiyalı məftillərdən sarğaclar (5) geydirilir. Sarğac-ları nüvədə saxlamaq üçün nüvələr qütb başmaqları (4) ilə təchiz edilir. Qutb başmaqlarının müəyyən formada icra edilməsi δ hava aralığında maqnit xətlərinin əlverişli paylanması təmin edir.



Şəkil 16.2. İkiqütblü sabit sabit cərəyən maşınının maqnit sistemi

Elektromaqnitlərin sargəaları təsirlənmə dolağını təşkil edir və sabit çərəyanla qidalanaraq sabit maqnit seli (F) yaradır. Bu selin maqnit xətləri şimal qütbündən çıxıb silindrik lövbərdən (5) keçib cənub qütübünə daxil olaraq gövdədə qapanır.

Lövbər (şəkil 16.3) maşının valında (2) oturulmuş polad silindrdən (1) ibarətdir. (Maqnit itkilərini azaltmaq üçün lövbər vərəqə poladdan yıqılır.) Lövbərin xarici səthində açılmış yuvalarda (3) izolyasiyalı məftillər (çubuqlar) yerləşdirilir. Çubuqlar alın tərəflərdən bir-biri ilə birləşdirilib qapalı lövbər dolağını təşkil edir.



Şəkil 16.3. Sabit cərəyən maşınının lövbəri

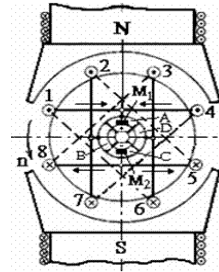
Kollektor (4) mis lövhələrdə (5) bir-birindən
və valdan izolə edilmiş halda ıqlılır. Kollektorun

hər lövhəs lövbər dolağının müəyyən nöqtəsinə birləşdirilir (şəkildə lövbər dolağı göstərilməmişdir).

Çubuqların bir-biri ilə birləşməsinə və kollektorun rolunu səkkizçubuqlu sadə lövbərin misalında izah edək (şəkil 16.4).

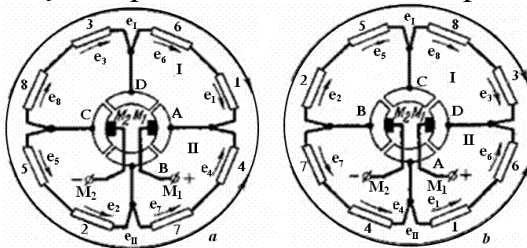
Lövbər maqnit sahəsində fırlandıqda çubuqlar maqnit xətlərini kəsir və onlarda e.h.q. induksiyanır.

Lövbərin hər bir çubuğunda dolağı induksiyalanan e.h.q. N qütbündən S qütbünə keçdikdə öz isti əks dəyişir.



Şəkil 16.4

Generatorun sıxaclarında kifəüət qədər böyük gərginlik almaq üçün dolağın çubuqları öz aralarında elə birləşdirilir ki, onlarda induksiya-lanan e.h.q.-ləri toplansın. Baxılan misalda çubuqlar aşağıdakı kimi birləşmişlər: 1 çubuğu 4 çubuğu ilə, 4 çubuğu 7 ilə, 7 çubuğu 2 ilə, 2 çubuğu 5 ilə, 5 çubuğu 8 ilə, 8 çubuğu 3 ilə, 3 çubuğu 6 ilə və 6 çubuğu 1 çubuğu ilə birləşmişdir. Birləşmə elə aparılmışdır ki, nəticədə qapalı dolaq alınsın. 1-4, 7-2, 5-8 və 3-6 çubuqları arasındakı calaqlar uyğun



Şəkil 16.5. Lövbər dolağının sxemi

kollektor lövhələrinə (A, B,C,D) birləşdirilmişdir.

16.4 və 16.5,a-dakı şəkillərdən (burada lövbər dolağı müstəvi üzərində açıq göstərilmişdir) məlum olur ki, lövbər dolağında iki paralel budaq (I və II) əmələ gəlmişdir. Cəm e.h.q. $\mathbf{e}_I = \mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_6 + \mathbf{e}_3 + \mathbf{e}_8$ olan I budağında 1, 6, 3 və 8 çubuqları, cəm e.h.q.- $\mathbf{e}_{II} = \mathbf{e}_4 + \mathbf{e}_7 + \mathbf{e}_2 + \mathbf{e}_5$ olan II budağında 4, 7, 2 və 5 çubuqları ardıcıl birləşmişdir. $\mathbf{e}_I = \mathbf{e}_{II}$, çünki çubuqlar simmetrikdir. $\mathbf{e}_I$ və $\mathbf{e}_{II}$ e.h.q.-ləri bir-birinin əksinə təsir etdiyinə görə lövbər dolağında cərəyan yaranmır. Kollektorun A və C lövhələri arasındakı (şəkil 16.5,a) gərginlik budaqların e.h.q.-nə (E) bərabərdir.

Lövbər döndükdə (məsələn, 90°) lövbər dolağı yenə də iki budaq I və II əmələ gətirir (şəkil 16.5,b); bunlardan hər birinə artıq başqa çubuqlar daxil olaçaq, lakin hər budaqda e.h.q. öz qiymətini (E) saxlayacaqdır.

İşlədiciyə generatora kollektora söykənmiş M_1 və M_2 fırçaları vasitəsilə birləşdirirlər. Fırçalar elə yerləşdirilməlidir ki, e.h.q. (E) ən böyük qiymət alsın. Fırçalar xüsusi tutqaclarla saxlanılır.

Lövbər dolağında induksiyaalanmış e.h.q.-ni hesablayaq.

Böyük güclü maşınların maqnit sistemi bir neçə cut qutbə və lövbər dolağı bir neçə çut paralel budağa malik ola bilər. Əgər bir qütbün maqnit selini Φ , çut qütblər sayını p , lövbərin diametrini d , uzunluğunu l işarə etsək, lövbərin səthində maqnit induksiyasının orta qiyməti üçün yazı bilərik:

$$B_{or} = \frac{\Phi \cdot 2p}{\pi dl}$$

Löbər dolağının hər çubuğunda induksiya-
lanan e.h.q.-nin orta qiyməti

$$E_{or} = B_{or} \cdot l \cdot v = \frac{\Phi \cdot 2p}{\pi dl} \cdot l \cdot \frac{\pi dn}{60} = 2\pi \cdot \Phi \cdot \frac{n}{60}$$

Generatorun e.h.q.-si lövbər dolağının bir
paralel qolunun cəm e.h.q.-nə bərabər olduğuna
görə bütün çubuqların sayını N və paralel budaq-
ların sayını $2a$ ilə işarə etsək, alarıq:

$$E = E_{or} \cdot \frac{N}{2a} = \frac{N}{2a} \cdot 2p \cdot \Phi \cdot \frac{n}{60} = cn\Phi,$$

burada $c = \frac{p}{a} \cdot \frac{N}{60}$ - sabit əmsaldır.

Təsirlənmə dolağını qidalandırma üsuluna
görə generatorlar iki qrupa ayrılır: müstəqil təsir-
lənən və özü-təsirlənən. Özü-təsirlənən genera-
torlar paralel (şunt), ardıcıl (series) və qarışıq
(kompaund) təsirlənən olurlar.

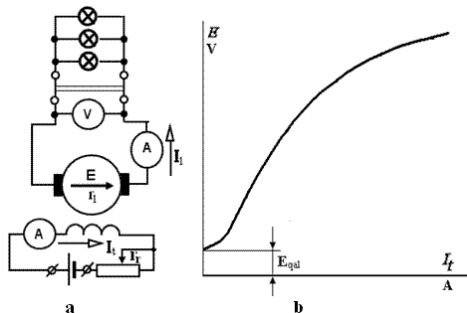
Şəkil 15.6,a-da müstəqil təsirlənən sabit cərə-
yan generatorun elektrik sxemi göstərilmişdir.
Təsirlənmə dolağı kənar cərəyan mənbəsindən
qidalandırılır. Bu sxemdə təsirlənmə cərəyanı
generatorun işindən asılı deyildir.

Xarici dövrə açıq olduqda generatorun cərə-
yanı sıfırdır ($I_l = 0$) və generatorun sıxaclarına qo-
şulmuş voltmetr lövbərdə induksiya-
lanan e.h.q.-ni ölçür.

$$U = E - I_l r_l = E,$$

burada r_l - lövbər dolağının müqavimətidir.

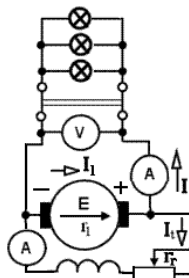
Təsirlənmə dövrəsində olan reostat r_r təsirlənmə cərəyanını dəyişməyə və bununla da, maqnit selini (Φ) və deməli, generator e.h.q.-ni (E) tənzimləməyə imkan verir.



Şəkil 16.6. Müstəqil təsirlənən generatorun sxemi (a) və yüksüz işləmə xarakteristikaçı

Şəkil 16.6,b-də generatorun yüksüz işləmə xarakteristikası göstərilmişdir. Polad maqnit keçiricisində qalıcı maqnit selinin olmasına görə yüksüz işləmə xarakteristikası sıfırdan deyil, e.h.q.-nin müəyyən E_{qal} qiymətindən başlayır.

Paralel təsirlənən generator. Müstəqil təsirlənən generatorlardan yalnız xüsusi məqsədlər üçün istifadə edilir. Əksər hallarda sabit cərəyan generatorlarında özütəsirlənmədən istifadə edilir, yəni bu halda təsirlənmə dolağı maşının öz lövbər dolağından qidalandırılır.



Şəkil 16.7 Paralel təsirlənən generatorun sxemi

Özunətəsirlənmə prinsipi belə izah edilir. Lövbəri fırlatdıqda başlanqıc anda lövbər dolağında qalıcı maqnit seli kiçik e.h.q. (E_{qal}) induksiylayır. Bu e.h.q. təsirlənmə dolağında cərəyan yapadır. Həmin cərəyan qütblərin maqnit sahəsini gücləndirir ki, bu da öz növbəsində lövbər e.h.q.-ni və təsirlənmə cərəyanını artırır. Nəticədə maqnit seli tezliklə normal qiymətini alır. Özutəsirlənməni təmin etmək üçün aşağıdakılar zəruridir:

a) maşında qalıq maqnit selinin olması;

b) təsirlənmə dolağının lövbər sıxaclarına düzgün birləşdirilməsi, belə ki, təsirlənmə cərəyanı qalıq maqnit selini gücləndirsin.

Təsirlənmə dolağı lövbərlə paralel və ardıcıl birləşdirilə bilər. Təcrübədə *paralel* təsirlənən və iki-paralel və ardıcıl təsirlənmə dolağı olan *qarışıq* təsirlənən generatorlardan istifadə edilir.

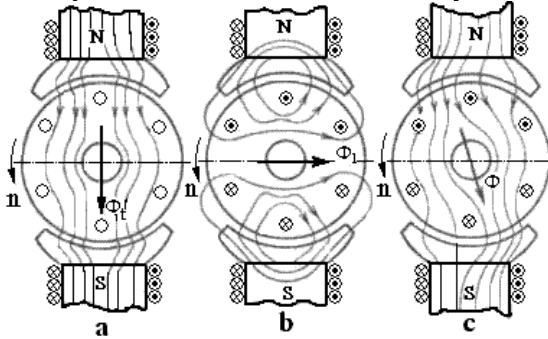
Şəkil 16.7-də paralel təsirlənən generatorun sxemi göstərilmişdir. Lövbər cərəyanı iki paralel dövrəyə budaqlanır:

$$I_l = I + I_t$$

Paralel təsirlənmə dolağı nazik məftildən böyük sayda sargılarla icra edilir. Nəticədə kiçik təsirlənmə cərəyanı ilə lazımi maqnit selini yaratmaq olur (təsirlənmə cərəyanı maşının nominal cərəyanının 1-5%-ni təşkil edir).

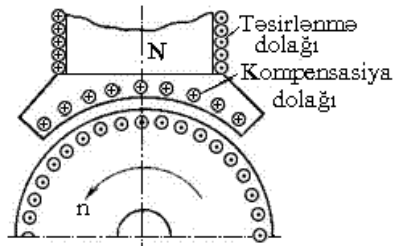
Lövbər reaksiyası. Generatorun yüksüz işləməsi zamanı yalnız təsirlənmə dolağının yaratdığı əsas maqnit seli Φ_t mövcuddur (şəkil 16.8,a).

Yüklü generatord lövbər dolağından axan cərəyan öz maqnit selini (Φ_l) yaradır. İkiqütblü maşında lövbər selinin (Φ_l) oxu əsas selin (Φ_t) oxuna perpendikulyar olur (şəkil 16.8,b). Bu maqnit selləri birlikdə maşının nəticəvi maqnit selini (Φ) yaradır. Lövbər maqnit selinin əsas maqnit selinə etədiyi təsirə **lövbər reaksiyası** deyilir.



Şəkil 16.8. Lövbər reaksiyası

Lövbər reaksiyasının təsiri nəticəsində maşının maqnit sahəsi deformasiyaya uğrayır (şəkil 16,9,c). Lövbər reaksiyası xoşagəlməz nəticələr törədir: fırçaların altında güclü qığılcımlar yaranır, bu maşının normal işini pozur; generatorun e.h.q azalır ki, bu da yük artdıqda generatorun gərginliyinin daha çox

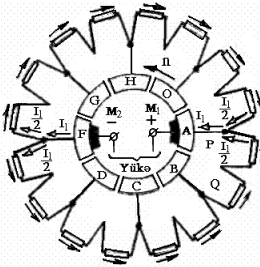


Şəkil 16.9. Kompensasiya dolağının yerləşdirilməsi

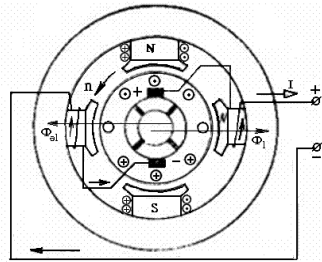
azalmasına səbəb olur.

Lövbər reaksiyasını zəiflətmək üçün əsas vasitə *kompensasiya dolağında* istifadə etməkdir. Bu dolaq maşının qütblərində yerləşdirilir (şəkil 16.9) və lövbərlə ardıcıl birləşdirilir.

Kompensasiya dolağının maqnit sahəsi lövbər dolağının maqnit selinin əksinə təsir göstərir. Sarğılar sayını elə seçmək olar ki, lövbər reaksiyası tamamilə kompensasiya edilsin.



Şəkil.16.10. Kommutasiya hadisəsi



Şəkil.16.11. Əlavə qütblü sabit cərəyan generatorunun sxemi

Kommutasiya. Sabit cərəyan maşınının işi çox vaxt fırçalarla kollektor arasında qığılcım yaranması ilə müşayiət edilir. Güclü qığılcımlanma maşının normal işini qeyri-mümkün edir. Qığılcımlanmanın səbəbi mexaniki defektlər ola bilər: kollektorun səthinin hamar olmaması, fırçaların zəif sıxılması, kollektorun çirklənməsi, titrəmə və s.

İstismar zamanı maşının mexaniki cəhətcə tamamilə saz olduğu halda belə qığılcımlanma baş verir. Buna səbəb fırçanın kollektor lövhəsinin birindən o birinə keçdikdə

yaranan fiziki prosesdir. Bu prosesin mahiyyətini 16 çubuqlu lövbər dolağının misalında izah edək (şəkil 16.10).

Lövbər fırlandıqda kollektor lövhələri növbə ilə fırçalarla kontakt yaradır. Bu zaman fırça bir lövhədən, məsələn, M_1 fırçası A lövhəsindən B lövhəsinə keçdikdə lövbər dolağının PQ seksiyası bir paralel budaqdan digərinə keçir. Bu vaxt həmin seksiyada cərəyan $+\frac{I_l}{2}$ qiymətindən $-\frac{I_l}{2}$ qiymətə dəyişir.

Seksiyada cərəyanın belə tez dəyişməsi (I_l qədər) özünəinduksiya e_L e.h.q. yaradır. Fırça ilə qapanan seksiyada cərəyanın istiqamətcə dəyişməsi nəticəsində yaranan hadisələr kompleksinə **kommütasiya** deyilir.

Kommütasiya edilən seksiyada yaranan e_L e.h.q. kollektorla fırçalar arasında qığılcımlanma yaradır.

Kommütasiya qığılcımlanması ilə əsas mubarizə vasitəsi *əlavə qütblərdən* istifadə edilməsidir (şəkil 16.11). Bu qütblərin maqnit seli hərəkətdə olan kommütasiya seksiyasında e_L ilə əks istiqamətdə e_k e.h.q.-ni induksiylayır, belə ki, $e_k + e_L \approx 0$. Bununla qığılcımlanma aradan qaldırılır.

Xarici xarakteristika. Generatorun ən vacib xarakteristikalarından biri onun sıxaclarındakı gərginliyin (U) sabit sürətdə (n) və təsirlənmə dövrəsinin sabit müqavimətində cərəyandan (I) asılılığını ifadə edən *xarici xarakteristikasıdır*.

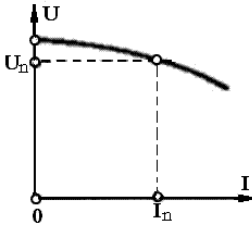
Şəkil 16.12-də müstəqil təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası göstərilmişdir. Generatorun sıxaclarındakı gərginlik belə ifadə edilir:

$$U = E - I_l r_l.$$

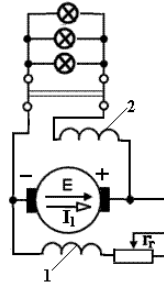
Müxtəlif yüklərdə generatorun sıxaclarındakı gərginliyi sabit saxlamaq üçün təsirlənmə cərəyanını tənzim etməklə (şəkil 16.8-də r_r reostatı ilə) E e.h.r.-ni dəyişmək lazımdır.

Bəzi hallarda *qarışıq təsirləyən* generatorlardan istifadə edilir. Bu maşınlarda əsas – paralel təsirlənmə dolağından (1) başqa, sarğılar sayı az olan və yüklə ardıcıl qoşulan daha bir

dolaq (2) vardır (şəkil 16.13). Hər iki dolaq əsas qütblərdə yerləşdirilir və elə qoşulur ki, yaratdıqları maqnit selləri eyni istiqamətdə təsir göstərsin (düz birləşmə). Yük cərəyanı artdıqda ardıcıl təsirlənmə dolağında cərəyan artır. Bunun sayəsində maqnit seli və induksya e.h.q. artır və lövbər dolağında gərkinlik düşküsi qismən komiensasiya edilir.



Şəkil 16.12. iüstən il təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası



Şəkil 16.13. Qarışıq təsirlənən generator

Qarışıq təsirlənən generatorlardan tez-tez və çox dəyişən yüklü qurğularda gərginliyi sabit saxlamaq üçün istifadə olunur.

Bəzi xüsusi qurğularda, məsələn, elektrik qaynaq aqreqatlarında generator üçün iş şəraiti sərt enən xarakteristika tələb olunduğuna görə ardıcıl və paralel təsirlənmə dolaqları əks birləşdirilir.

Elektromaqnit moment. Hər bir sabit cərəyan maşınında lövbər cərəyanı I_l ilə maqnit seli Φ arasında qarşılıqlı təsir vardır (şəkil 16.14).

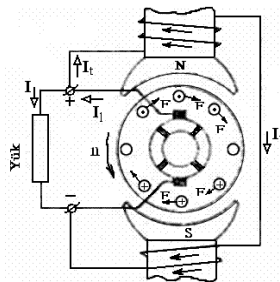
Lövbərin hər bir çubuğuna təsir edən elektromaqnit qüvvə

$$F = BIL.$$

Bu qüvvənin istiqaməti sol əl qaydası ilə təyin edilir. Bu ifadədə maqnit induksiyasının orta qiymətini B_{or} və çubuqdakı cərəyanın qiymətini

$$I = \frac{I_l}{2a}$$

yarınması yazsaq alırıq:



Şəkil 16.14. Elektromaqnit momentin yaranması

$$F = \frac{2p\hat{O}}{\pi dl} \cdot l \cdot \frac{I_l}{2a} = \frac{p}{\pi da} \cdot \hat{O}I_l.$$

Məftillərin sayı N -dirsə, maşının lövbərinə təsir edən elektromaqnit moment belə ifadə olunur:

$$M_{em} = NF \cdot \frac{d}{2} = \frac{pn}{2\rho a} \cdot \hat{O}I_l = kI_l\hat{O},$$

burada $k = \frac{pn}{2\pi a}$ – verilmiş maşın üçün sabit kəmiyyətdir.

Generatorda elektromaqnit moment tormozlayıcı təsir göstərir (şəkil 16.14).

Şəkil 16.15-də bir valda oiaurmuş generator və intiqal mühərriuinin təsviri göstərilmişdir.



Şəkil 16.15. Generator və intiqal mühərriki

Generatorun itkiləri və f.i.ə. Generatoru fırladan mühərrik generatorun valında mexaniki güc P_{mex} yaradır və bu güc generatorun xarici dövrəyə P faydalı gücü verməsini və itkiləri $\sum \Delta P$ təmin edir. Güclər balansısı belə yazıla bilər:

$$P_{mex} = P + \sum \Delta P = P + \Delta P_l + \Delta P_t + \Delta P_m + \Delta P_{mex},$$

burada $P = UI_{yüü}$ - generatorun xarici dövrəyə verdiyi faydalı elektrik gücüdür; ΔP_l - lövbər dolağında güc itkisi; ΔP_t - təsirlənmə dövrəsində güc itkisi; ΔP_m - lövbərin poladında maqnit itkiləri; ΔP_{mex} - mexaniki itkilərdir.

Generatorun faydalı iş əmsalı belə təyin edilə bilər:

$$\eta = \frac{P}{P_{mex}} = \frac{P}{\sum \Delta P}.$$

Əlavə 1

Varian-tın nömrə-si	Hesabat üçün verilənlər												Cədvəl 1.1S							
	E,V	r ₀ , Om	r ₁ ,Om	r ₂ , Om	r ₃ ,Om	r ₄ ,Om	r ₅ ,Om	r ₆ ,Om	r ₇ ,Om	r ₈ ,Om	r ₉ ,Om	r ₁₀ ,Om	r ₁₁ ,Om	r ₁₂ ,Om	r ₁₃ ,Om	r ₁₄ ,Om	r ₁₅ ,Om	r ₁₆ ,Om	r ₁₇ ,Om	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
0	50	0,2	2	3	6	2	2	2	4	∞	6	0,6	3	0	5	2	8	∞	6	
1	50	0,2	2	6	3	2	2	3	6	4	∞	0,6	5,2	∞	1	8	2	0	0,6	
2	50	0,3	2	3	0	2	2	3	∞	4	6	0,6	16	3	1,6	2	8	2	0	
3	100	0,1	2	0	3	2	2	2	0	6	4	0,6	1,4	2	3	8	2	2	∞	
4	100	0,2	3	6	3	2	0	2	6	4	4	0,6	3	2	∞	2	8	2	4	
5	100	0,3	3	3	6	2	∞	3	2	6	4	0,6	4	4	0	8	2	4	1,6	
6	100	0,1	2	6	3	2	2	∞	2	4	6	0,6	∞	4	2	2	8	2	0,4	
7	50	0,2	2	3	6	4	2	2	∞	6	4	0,6	6	1	3	0	2	4	6	
8	50	0,3	2	6	3	2	2	0	0	4	6	0,6	3	3	2	∞	∞	10	1	
9	50	0,4	3	3	6	2	2	6	3	6	4	0,6	0	0	6	8	2	0	30	
10	60	0,2	3	2	6	2	2	2	4	∞	5	1	3	0	6	2	8	∞	6	
11	60	0,4	2	6	3	5	2	3	6	4	∞	0,8	1	8	2	8	3	0	3	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
12	60	0,2	3	∞	5	5	4	8	∞	2	6	0,6	6	3	1,6	2	8	2	0
13	80	0,2	2	0	3	5	2	2	4	5	0	6	7	5	∞	2	3	4	5
14	80	0,1	8	5	2	3	∞	4	1	2	5	0	∞	2	3	4	4	5	5
15	80	0,2	6	5	3	∞	2	1	4	4	2	2	5	0	6	6	∞	3	2
16	80	0,3	6	5	3	∞	2	0	5	5	4	4	∞	2	1	6	4	4	2
17	80	0,4	5	5	0	2	2	3	4	5		2	3	4	5	0	2	3	2
18	80	0,4	6	6	8	8	∞	3	4	6	6	2	∞	5	5	2	2	6	0
19	100	0,2	3	4	5	∞	2	0	3	3	4	4	5		6	6	2	3	2
20	100	0,2	3	5	4	2	2	∞	6	7	0	8	8	3	∞	2	4	5	6
21	100	0,2	4	5	1,6	2	∞	3	3	2	∞	2	5	6	0	3	4	5	5
22	100	0,2	3	4	5	8	0	2	2	1	4	5	∞	3	3	0	2	4	6
23	100	0,2	3	6	6	6	6	∞	8	0	2	4	5	6	∞	7	8	8	8
24	100	0,2	3	6	5	∞	2	4	5	5	5	6	6	s	2	3	3	0	2
25	120	0,3	0,3	6	6	∞	0	3	3	4	5	6	7	8	s	2	3	4	5
26	120	0,3	3	5	6	7	8	8	7	6	∞	5	5	4	0	3	3	∞	2
27	120	0,5	6	7	8	∞	2	0	3	4	5	5	6	6	7	7	0	8	8
28	120	0,4	8	6	7	5	∞	4	3	2	1	0	3	2	∞	1	2	3	4
29	120	0,3	8	5	3	2	1	∞	2	2	6	6	5	5	4	∞	3	3	∞
30	140	0,4	5	6	7	∞	2	3	4	5	5	6	6		3	2	0	1	1

31	140	0,7	3	2	2	4	4	4	∞	5	5	5	6	5	6	∞	7	7	0	8	8	6
32	140	0,5	2	1	3	∞	4	4	5	5	6	8	8	9	0,6	0	3	s	2	1		
33	140	0,4	2	∞	0	1	2	3	8	3	4	4			5	5	6	8	3	4		
34	150	0,5	1	2	3	4	4	4	∞	5	5	5	6	0	7	7	3	3	4	5		
35	150	0,5	2	2	0	3	3	0	4	4	4	5	5	5	s	6	6	1,4	1,4	1,4		
36	150	0,5	3	3	4	∞	5	5	5	6	6	2	2	0	7	7	∞	8	8	8		
37	150	0,2	6	6	10	5	5	5	∞	4	4	3	3	1	2	0	5	5	6	6		
38	150	0,4	8	8	6	6	5	5	5	∞	4	4	2	2	0	3	3	∞	5	4		
39	150	0,3	9	9	8	∞	7	7	7	6	5	4	3	3	∞	2	1	0	5	5		
40	150	0,3	2	4	5		2	3	4	5	5	5	5	6	∞	2	2	1	0	5		
41	120	0,4	3	5	6	0		2	2	1	1	5	5	6	6		7	7	7	7		
42	120	0,3	2	2	5	5	5	6	6	2	3	4	0	5	5	6	∞	2	2	2		
43	120	0,4	3	3	3	∞	4	4	6	6	6	6	8	8	∞	0	5	5	5	6		
44	120	0,2	4	4	4	4	10	5	5	5	6	6	0	7	8	∞	5	3	3	3		
45	120	0,3	2	2	3	3	∞	5	0	6	6	6	7	7	7	∞	8	2	2	2		
46	100	0,2	5	5	5	∞	2	0	∞	5	5	6	6	8	8	9	9	3	3	3		
47	100	0,4	3	3	3	6	0	∞	5	5	6	6	4	4	6	6	∞	2	2	2		
48	100	0,2	3	2	4	∞	5	6	7	∞	8	8	5	0	4	4	1	1	6	6		
49	100	0,3	5	5	5	0	2	2	2	3	3	3	4	4	∞	5	5	5	5	5		
50	100	0,3	8	8	0	6	6	∞	5	5	3	3	4	4	5	5	∞	2	8	8		
51	90	0,4	5	4	3	1	∞	2	2	1	1	5	0	6	∞	3	3	4	4	4		
52	90	0,4	6	6	3	2	2	5	∞	0	6	6	7	7	8	8	6	6	6	6		

53	90	0,4	6	3	2	∞	4	4	5	6	0	7	7	s	8	8	3	3	5
54	90	0,3	5	4	2	2	∞	3	3	5	5	0	6	7	8	∞	9	9	0,8
55	90	0,3	6	∞	7	7	0	8	8	8	6	6	∞	5	5	5	4	4	4
56	80	0,4	8	3	10	2	2	0	3	3	3	4	4	∞	5	5	6	8	7
57	80	0,3	5	5	6	6	0	∞	3	3	4	4	2	2	5	∞	6	6	6
58	80	0,5	6	7	7	∞	8	6	5	∞	4	4	3	3	0	2	1	5	5
59	80	0,6	4	5	3	3	∞	2	2	0	2	2	4	4	5	∞	1	2	4
60	60	0,3	8	4	4	5	0	6	∞	2	2	4	4	∞	5	5	6	6	10
61	60	0,2	8	3	3	4	5	6	0	7	7	8	8	∞	9	9	3	3	∞
62	60	0,2	5	5	0	∞	2	2	∞	6	6	7	7	∞	4	4	2	2	8
63	60	0,5	3	4	5	5	6	0	4	∞	5	5	6	∞	7	7	3	4	5
64	60	0,3	6	5	8	4	2	1	1	2	0	5	5	6	∞	3	3	3	3
65	60	0,4	8	3	0	0	5	5	∞	6	6	6	4	4	4	∞	2	2	5
66	50	0,4	5	3	3	5	2	2	2	∞	5	5	6	6	∞	4	4	8	6
67	50	0,5	8	4	4	0	0	∞	3	2	1	1	6	7	8		5	5	5

68	50	0,4	3	2	10	4	5	4	3	3	2	2	1	∞	2	2	1	3	5
69	50	0,3	7	6	5	5	∞	3	3	2	2	2	0	1	2	∞	2	2	2
70	50	0,3	6	3	4	2	0	2	∞	3	3	3	4	4	4	4	∞	5	5
71	60	0,6	8	3	5	4	2	1	1	1	5	5	5	0	4	4	7	∞	5
72	60	0,7	5	5	0	8	4	4	3	3	2	2	1	∞	10	10	∞	2	2
73	60	0,6	3	4	5	0	2	0	1	2	3	4	5	∞	3	∞	1	2	6
74	60	0,2	8	3	3	∞	5	5	∞	6	6	6	7	7	7	6	6	∞	6
75																			
	60	0,4	6	6	6	4	5	5	5	0	4	4	4	4	3	3	∞	2	2
76	40	0,2	5	5	12	0	4	0	3	3	3	2	2	2	∞	5	5	6	6
77	40	0,2	8	3	3	5	4	4	4	4	4	∞	5	5	6	6	∞	7	7
78	40	0,2	7	4	4	5	∞	6	6	0	3	3	4	5	5	∞	6	6	6
79	40	0,3	4	2	2	6	5	0	6	6	6	∞	7	7	7	8	∞	2	2
80	40	0,4	5	5	6	5	7	7	0	8	8	3	∞	6	6	5	4	∞	2
81	30	0,3	3	4	5	5	6	6	0	7	∞	5	5	4	∞	3	3	3	3
82	30	0,2	7	7	0	∞	5	5	∞	4	4	4	3	3	3	2	∞	5	5
83	30	0,5	5	5	4	7	3	3	2	0	2	2	3	3	4	∞	5	5	6
84	30	0,4	6	6	7	8	3	3	0	2	1	1	1	∞	2	3	4	5	∞
85	30	0,5	6	6	8		0	7	7	3	3		4	4	5	5		2	2

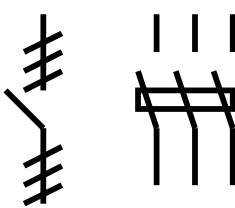
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
86	20	0,2	3	4	5	5	0	6	6		3	4	5	5	∞	6	6	7	8
87	20	0,2	5	5	4	4	∞	3	3	8	8	6	6	0	2	2	∞	5	5
88	20	0,4	6	6	5	0	6	6	∞	3	3	4	4	∞	5	5	5	6	6
89	20	0,5	3	3	0	4	5	5	5	6	6	6	3	2	2	2	∞	3	3
90	20	0,2	7	7	6	6	4	5	0	4	4	4	6	3	5	5	5	5	∞
91	150	0,5	3	3	4	4	0	5	5	5	∞	6	∞	7	7	8	8	9	∞
92	150	0,5	5	5	0	4	4	∞	3	3	2	2	6	1	1	5	5	4	4
93	150	0,5	6	6	15	2	2	4	4	5	0	6	5	6	7	7	7	∞	5
94	150	0,6	3	4	5	∞	2	2	0	1	1	5	3	5	6	6	∞	3	3
95	150	0,5	5	4	3	6	0	5	5	4	4	4	7	7	2	2	1	∞	8
96	140	0,4	3	4	4	5	5	0	6	6	6	7	4	5	∞	5	5	4	∞
97	140	0,4	4	4	5	5	6	∞	8	0	3	3	∞	9	6	6	∞	2	5
98	140	0,4	5	5	5	5	6	6	0	7	7	7	8	8	3	3	2	∞	4
99	140	0,6	3	3	4	∞	5	0	6	6	6	8	8	8	6	6	6	∞	5

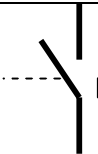
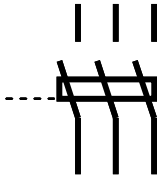
Qeyd: Əgər $r=0$ olarsa, onu qısa qapamalı; $r=\infty$ olsa, həmin müqavimət birləşən nöqtələr açıq qalır.

QRAFİKİ ŞƏRTİ İŞARƏLƏR

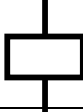
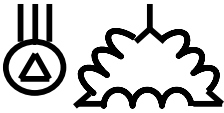
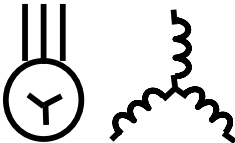
Sıra sayı	Adı	İşarəsi
1	2	3
1. Kommutasiya qurğuları və kontakt birləşmələri (DÜİST 2.755-74)		
1.1	Komutasiya qurğusunun kontaktı. Ümumi işarəsi: a) qapayıcı	
	b) açıcı	
	c) çevirici	
1.2	Gecikdiricisi olan qapayıcı kontakt; gecikdirici: a) qapayarkən təsir edən	
	b) geri qayıdarkən təsir edən	
	c) qapayarkən və geri qayıdarkən təsir edən	

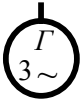
1	2	3
1.3	Gecikdiricisi olan ayırıcı kontakt; gecikdirici: a) qapayarkən təsir edən	
	b) geri qayıdarkən təsir edən	
	c) qapayarkən və geri qayıdarkən	
1.4	İlk vəziyyətə qayıtmayan Kontakt a) qapayıcı	
	b) qapayarkən və geri qayıdarkən təsir edən	
1.5	İlk vəziyyətə qayıdan kontakt: a) qapayıcı	
	b) açıcı	

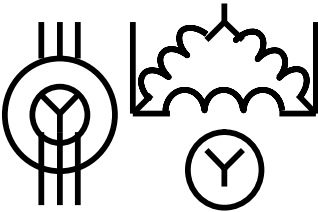
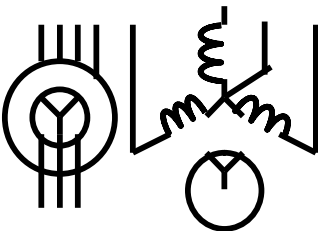
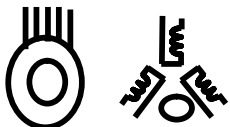
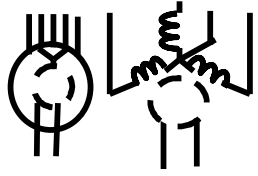
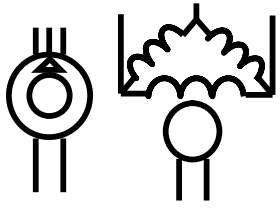
1	2	3
1.6	Böyük güclü cərəyan dövrəsinin komutasiyası üçün qı-ğılımsöndürücülü kontakt: a) qapayıcı	
	b) açıcı	
1.7	Açar-ayırıcının kontaktı	
1.8	Artıq yüklənmədən avtomatik geri qayıdan kontakt	
1.9	Açar: a) birqütblü	
	b) üçqütblü bir xətlə çox xətlə	

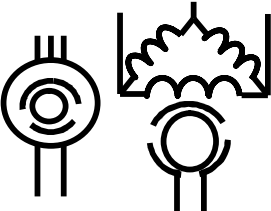
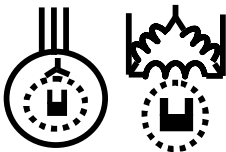
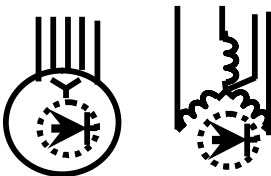
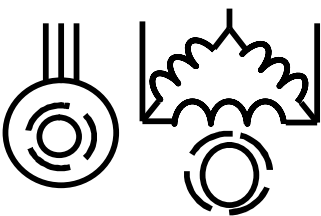
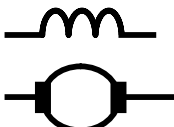
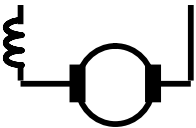
1	2	3
1.10	Avtomatik geri qayıdan üç-qütblü açar. Qeyd: hansı kəmiyyətin dəyişməsilə açarın geri qayıtmasını göstərmək lazımdırsa, onun yanında aşağıdakı işarələr yazılır. a) maksimal cərəyandan b) minimal cərəyandan v) əks cərəyandan q) maksimal gərginlikdən d) minimal gərginlikdən e) maksimal temperatur	
	a) maksimal cərəyandan	$I >$
	b) minimal cərəyandan	$I <$
	v) əks cərəyandan	$I \leftarrow$
	q) maksimal gərginlikdən	$U >$
	d) minimal gərginlikdən	$U <$
	e) maksimal temperatur	$T^0 >$
1.11	Ayırıcının kontaktı	
1.12	Yol açarı:	
	a) birqütblü	
	b) üçqütblü	
1.13	Üçqütblü ayırıcı	

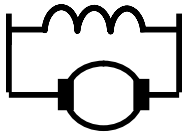
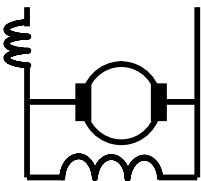
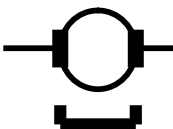
1	2	3
1.14	Üçqütblü açar-ayırıcı	
1.15	Birqütblü özü geri qayıdan açar: a) qapayıcı	
	b) açıcı	
1.16	Üçvəziyyətli, neytral vəziyyətə özüqayıdan ikiqütblü çevirici	
1.17	Qapayıcı, açıcı və çevirici kontaktlı elektrik reləsi	
1.18	Kontaktlarda biri o birilərindən tez qapanan elektrik reləsi	
1.19	Düyməsini basmaqla kontaktı ilk vəziyyətə qayıdan elektrik istilik reləsi	

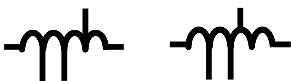
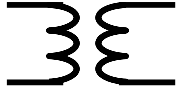
1	2	3
1.20	Elektromaqnit. Ümumi işarəsi	
2. Elektrik maşınları (DÜİST 2.722-68)		
2.1	Əlavə qütblərin dolağı, kompensasiya dolağı	
2.2	Dəyişən cərəyan maşınının stator dolağı, sabit cərəyan maşınının ardıcıl təsirlənmə dolağı	
2.3	Sabit cərəyan maşınının paralel və müstəqil təsirlənmə dolağı	
2.4	Stator, stator dolağı. Ümumi işarə	
2.5	Üçfazlı stator dolağı: a) üçbucaq birləşmiş	I forma II forma 
	b) ulduz birləşmiş	
2.6	Rotor. Ümumi işarəsi	

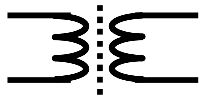
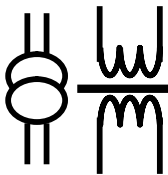
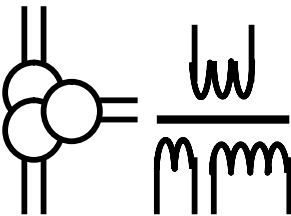
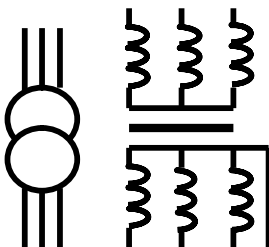
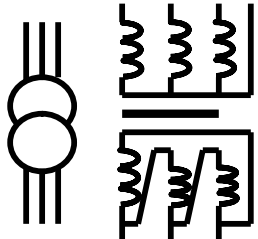
1	2	3
2.7	Paylanmış dolaqlı rotor: a) üçfazlı, ulduz birləşmiş	
	b) üçfazlı, üçbucaq birləşmiş	
	v) birfazlı	
	q) qısaqapanmış	
2.8	Kollektorlu və sıxaclı rotor	
2.9	Elektrik maşını. Ümumi işarəsi. Qeyd: dairənin içərisində aşağıdakı işarələr göstərilir: a) maşının növü /generator-G, mühərrik-M, təsirləndirici –T, taxogenerator - TG, selsin-Ss və s./	
	Məsələn: a) üçfazlı generator	
	B) stator dolaqları ulduz birləşmiş üçfazlı mühərrik	

1	2	3
2.10	Dolaqları ulduz birləşmiş faza rotorlu asinxron maşın, stator dolaqları: a) üçbucaq birləşmiş	I forma II forma 
	b) neytral nöqtəsi çıxarılmış ulduz birləşmiş	
2.11	Stator dolağının altı ucu çıxarılmış qısaqapanmış rotorlu asinxron maşın	
2.12	Təsirlənmə dolağı rotordə yerləşən aşkarqütblü üçfazlı sinxron maşın; stator dolaqları ulduz birləşmiş və neytral nöqtəsi çıxarılmış	
2.13	Təsirlənmə dolağı rotordə yerləşən qeyri-aşkarqütblü üçfazlı sinxron maşın; stator dolaqları üçbucaq birləşmiş	

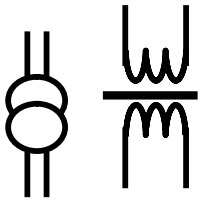
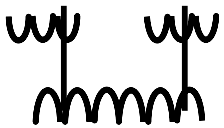
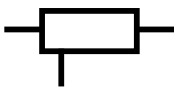
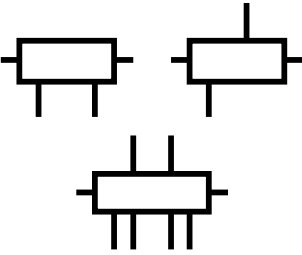
1	2	3
2.14	Təsirlənmə dolağı və işəburaxıcı qısaqapanmış dolağı rotorda yerləşən aşkarqütblü üçfazlı sinxron maşın; stator dolaqları ulduz birləşmiş	
2.15	Sabit maqnitdən təsirlənən üçfazlı sinxron maşın; stator dolaqları ulduz birləşmiş	
2.16	Özütəsirlənən üçfazlı sinxron maşın (generator); stator dolaqları ulduz birləşmiş və neytral nöqtəsi çıxarılmış	
2.17	Təsirlənmə dolağı olmayan və işəburaxma qısaqapanmış dolağı rotorda yerləşən aşkarqütblü üçfazlı sinxron maşın (reaktiv sinxron mühərrik); stator dolaqları üçbucaq birləşmiş	
2.18	Müstəqil təsirlənən sabit cərəyan maşını	
2.19	Ardıcıl təsirlənən sabit cərəyan maşını	

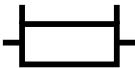
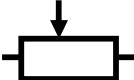
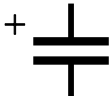
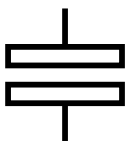
1	2	3
2.20	Paralel təsirlənən sabit cərəyan maşını	
2.21	Qarışıq təsirlənən sabit cərəyan maşını	
2.22	Sabit maqnitdən təsirlənən sabit cərəyan maşını	
3. İnduktiv sarğacalar, drossellər, transformatorlar, avtomatlar və maqnit gücləndiriciləri (DÜİST 2.723-68)		
3.1	Transformator, avtotransformator, drossel və maqnit gücləndiricilərinin dolağı	
3.2	Maqnit gücləndiricisinin dolaqları: a) işçi dolaq	
	b) idarə dolağı	
3.3	Dolağın başlanğıcını göstərmək üçün nöqtə qoyulur	
3.4	Nüvəsiz induktiv sarğac və drossel	

1	2	3
3.5	Nüvə (maqnit keçiricisi) a) ferromaqnit (o cümlədən ferrit)	
	b) hava aralıqlı ferromaqnit	
	v) maqnitodielektrik	
	q) qeyri-maqnit	
3.6	Reaktor	
3.7	Çıxışları olan induktiv sarğac	
3.8	Sürüşkən kontaklı induktiv sarğac	
3.9	Maqnitodielektrik nüvəli induktiv sarğac	
3.10	Ferromaqnit nüvəli drossel	
3.11	Nüvəsiz a) daimi əlaqəli	
	b) dəyişən əlaqəli	

1	2	3
3.12	Maqnitodielektrik nüvəli transformator	
3.13	Ferromaqnit nüvəli birfazlı transformator	
3.14	Ferromaqnit nüvəli üçdolaqlı birfazlı transformator	
3.15	Ferromaqnit nüvəli üçfazlı transformator; dolaqları ulduz-ulduz birləşmiş və neytral nöqtəsi çıxarılmış	
3.16	Ferromaqnit nüvəli transformator; neytral nöqtəsi çıxarılmış və dolaqları ulduz-üçbucaq birləşmiş	

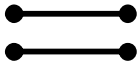
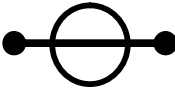
1	2	3
3.17	Ferromaqnit nüvəli birfazlı avtotransformator	
3.18	Ferromaqnit nüvəli üçfazlı avtotransformator; dolaqları ulduz birləşmiş	
3.19	Bir ikincitərəf dolağı olan cərəyan transformatoru	
3.20	Bir nüvəli və iki ikincitərəf dolağı olan cərəyan transformatoru	
3.21	İki nüvəli və iki ikincitərəf dolağı olan cərəyan transformatoru	

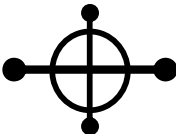
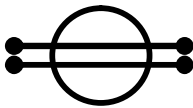
1	2	3
3.22	Gərginlik ölçü transformatoru	
3.23	İki işçi və bir ümumi idarə dolağı olan maqnit gücləndiricisi	
4. Rezistorlar və kondensatorlar (DÜİST 2.728-74)		
4.1	Sabit rezistor	
4.2	Əlavə çıxışları olan rezistor: a) bir simmetrik çıxış	
	b) bir qeyrisimmetrik çıxış	
	c) iki və daha çox çıxış	

1	2	3
4.3	Ölçü şuntu	
4.4	Dəyişən rezistor	
	a) ümumi işarəsi	
	b) qeyri-xətti tənzim	
4.5	Qızdırıcı element	
4.6	Sabit tutumlu kondensator	
4.7	Elektroantik kondensator	
	a) polyar	
	b) qeyri-polyar	

1	2	3
4.8	Dəyişən tutumlu	
5. Elektrik ölçü cihazları (DÜİST 2.729-68)		
5.1	Ölçü cihazları a) göstərən	
	b) qeydedici	
	c) integrallayıcı (məsələn, sayğac)	
5.2.	Ölçü cihazları aşağıdakı hərflərdə göstərilir:	
	ampermetr	A
	voltmetr	V
	voltampermetr	VA
	vattmetr	Vt
	varmetr	var
	mikroampermetr	μA
	milliampermetr	mA
	millivoltmetr	mV
	ommetr	Om
	meqoometr	MOm
	tezlikölçən	Hz
	dalğaölçən	χ
	fazaölçən, faza fərqiölçən	φ

1	2	3
5.3	Qalvanometr	
5.4	Sinxronoskop	
5.5	Ossilloskop	
5.6	Ossillqraf	
5.7	Termocüt: işarənin qalınlaşdırılmış tərəfi mənfi qütbü göstərir	
5.8	Termoçevirici: a) kontaktsiz	
	b) kontaktlı	

1	2	3
5.9	5.1 ÷ 5.6 bəndlərinə qeyd: 1. Ölçü cihazlarının dolaqlarını aşağıdakı kimi göstərmək olar: a) cərəyan dolağı	
	b) gərginlik dolağı	
	2. Ölçü cihazlarının sxemlərində dolaqların qarşılıqlı yerləşməsini göstərmək lazım gəldikdə aşağıdakı işarələrindən istifadə olunur: a) cərəyan dolağı	
	b) gərginlik dolağı	
	c) toplama və ya çıxma üçün cərəyan dolaqları	
	d) toplama və ya çıxma	
	Məsələn, 1) birdolaqlı ampermetr	
	2) birdolaqlı voltmetr	

1	2	3
	3) birdolaqlı vattmetr	
	4) birelementli üçfazlı vattmetr	

Əlavə 3

BEYNƏLXALQ VAHİDLƏR SİSTEMİ

Ölçü vahidləri elm və texnikanın bütün sahələri üçün universaldır. Bu sistemdə qəbul edilmiş əsas və əlavə vahidlər ikinci və üçüncü cədvəllərdə verilmişdir.

Əsas və əlavə vahidlər sistemi

Əsas vahidlər

Kəmiyyətin adı	Ölçü vahidi	Ölçü vahidinin qısa işarəsi
Uzunluq	metr	<i>m</i>
Kütlə	kiloqram	<i>kg</i>
Zaman	saniyə	<i>s</i>
Elektrik cərəyanı	Amper	<i>A</i>
Termodinamik temperatur	Kelvin dərəcəsi	$^{\circ}K$
İşıq şiddəti	şam	<i>ş</i>
Müstəvi bucağı	radian	<i>rad</i>
Faza bucağı	steradian	<i>ster</i>

Törəmə vahidlər sistemi

Kəmiyyət	Ölçü vahidi	Ölçü vahidinin qısa işarəsi	Vahidin ölçüsü
Elektrik miqdarı, elektrik yükü	Kulon	K	$(1\ A)\cdot(1\ san)$
Elektrik potensialları fərqi, elektrik hərəkət qüvvəsi, elektrik gərginliyi	Volt	V	$(1\ A)\cdot(1\ Om)$
Elektrik tutumu	Farad	F	$(1\ K):(1\ V)$
Elektrik müqaviməti	Om	Om	$(1\ V):(1\ A)$
Xüsusi elektrik müqaviməti	Om-metr	$Om\cdot m$	$(1\ Om)\cdot(1\ m^2):(1\ m)$
Elektrik keçiriciliyi	Simens	Sim	$(1\ A):(1\ V)$
Maqnit seli	Veber	Vb	$(1\ V):(1\ san)$
Maqnit induksiyası	Tesla	Tl	$(1\ Vb):(1\ m^2)$
Maqnit hərəkət qüv- vəsi, maqnit poten- siallar fərqi	Amper	A	$(1\ A)$
Maqnit sahəsinin intensivliyi	Amper bölünsün metr	A/m	$(1\ A):(1\ m)$
İnduktivlik, qarşılıqlı İnduksiya	Henri	Hn	$(1\ Vb):(1\ A)$
Maqnitləşmə(Maqnit- ləşmə intensivliyi)	Amper bölünsün metr	A/m	$(1\ A):(1\ m)$
Elektrik enerjisi	Coul	C	$(1\ H)\cdot(1\ m)$
Elektrik dövrəsinin aktiv gücü	Vatt	Vt	$(1\ C):(1\ san)$
Elektrik dövrəsinin reaktiv gücü	Volt-Amper reaktiv	VAr	$(1\ V)\cdot(1\ A)$
Elektrik dövrəsinin tam gücü	Volt-Amper	VA	$(1\ V)\cdot(1\ A)$
Elektrik rəqslərinin tezliyi	Hers	Hs	$1:(1\ san)$

Əlavə 4

ƏSAS FİZİKİ VƏ RİYAZİ SABİTLƏRİN ƏDƏDİ QİMƏTLƏRİ

$$\pi = 3,1416, \quad \frac{\pi}{4} = 0,7854, \quad \pi^2 = 9,8696$$

$$\frac{1}{\pi} = 0,3183, \quad \sqrt{\pi} = 1,7724, \quad \lg \pi = 0,4971$$

$$g = 9,81, \quad g^2 = 96,2361, \quad \sqrt{g} = 3,1321$$

$$\lg g = 0,9916$$

$$\lg x = 0,434 \ln x$$

$$\ln x = 2,3 \lg x$$

$$e = 2,71828,$$

$$\frac{1}{e} = 0,36788,$$

$$e^2 = 7,38906$$

$$\sqrt{e} = 1,64872$$

$$\sqrt{2} = 1,4142$$

$$\sqrt{3} = 1,7321$$

Elektronun yükü $e = 1,6 \cdot 10^{-19} K$

Elektronun kütləsi $m = 9,12 \cdot 10^{-28} q$

İşığın boşlundakı sürəti $c = 3 \cdot 10^{10} sm/san = 3 \cdot 10^5 km/san$

Dairənin səthi $S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$

Kürənin səthi $S = 4 \pi r^2 = \pi d^2$

Kürənin həcmi $V = \frac{4}{3} \pi r^2$

$$1 k kal = 4,186 \cdot 10^{11} erg = 426,9 kqm = 4184 C = 1,1628$$

$$Vts = 4184 Vtsan$$

$$1 kqm = 0,002342 k kal$$

$$1 kVts = 860 k kal$$

**DAİRƏVİ, HİPERBOLİK VƏ ÜSTLÜ FUNKSIYALAR
ARASINDA ASILILIQ YARADAN ƏSAS FORMULALAR**

$$e^X = \cos jx - j \sin jx = \operatorname{ch} x + \operatorname{sh} x$$

$$e^{-X} = \cos jx + j \sin jx = \operatorname{ch} x - \operatorname{sh} x$$

$$e^{jX} = \cos jx + j \sin jx = \operatorname{ch} jx + \operatorname{sh} jx$$

$$e^{-jX} = \cos jx - j \sin jx = \operatorname{ch} jx - \operatorname{sh} jx$$

$$\sin x = -j \operatorname{sh} jx = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}$$

$$\sin jx = -j \operatorname{sh} x = \frac{e^{-x} - e^x}{2j}$$

$$\cos x = \operatorname{ch} jx = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}$$

$$\cos jx = \operatorname{ch} x = \frac{e^{-x} + e^x}{2}$$

$$\operatorname{sh} x = -j \sin jx = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{sh} jx = j \sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2}$$

$$\operatorname{ch} x = \cos jx = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{ch} jx = \cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}$$

DAİRƏVİ FUNKSIYALAR ARASINDA ASILIQLIY YARADAN ƏSAS FORMULALAR

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{15} - \frac{x^7}{315} + \dots$$

$$\frac{d \sin x}{dx} = \cos x, \quad \frac{d \cos x}{dx} = -\sin x, \quad \frac{d \operatorname{tg} x}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x}$$

$$\int \sin x \, dx = -\cos x + C, \quad \int \cos x \, dx = \sin x + C, \\ \int \operatorname{tg} x \, dx = -\ln |\cos x| + C,$$

$$\sin(-x) = -\sin x, \quad \cos(-x) = \cos x, \quad \operatorname{tg}(-x) = -\operatorname{tg} x \\ \sin^2 x + \cos^2 x = 1$$

$$\sin 2x = 2 \sin x \cdot \cos x = \frac{2 \operatorname{tg} x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$$

$$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x = 1 - 2 \sin^2 x = 2 \cos^2 x - 1 = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$$

$$\operatorname{tg}^2 x = \frac{2 \operatorname{tg} x}{1 - \operatorname{tg}^2 x}$$

$$\sin(x \pm y) = \sin x \cos y \pm \cos x \sin y$$

$$\cos(x \pm y) = \cos x \cos y \pm \sin x \sin y$$

$$\operatorname{tg}(x \pm y) = \frac{\operatorname{tg} x \pm \operatorname{tg} y}{1 \pm \operatorname{tg} x \cdot \operatorname{tg} y}$$

$$\sin x + \sin y = 2 \sin \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$$

$$\sin x - \sin y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2}$$

$$\cos x + \cos y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$$

$$\cos x - \cos y = 2 \sin \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2}$$

$$2 \sin x \sin y = \cos(x-y) - \cos(x+y)$$

$$2 \cos x \cos y = \cos(x-y) + \cos(x+y)$$

$$2 \sin x \cos y = \sin(x-y) + \sin(x+y)$$

HİPERBOLİK FUNKSIYALAR ARASINDA ASISILIQ YARADAN ƏSAS FORMULALAR

$$\begin{aligned}\operatorname{sh} x &= x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \frac{x^7}{7!} + \dots \\ \operatorname{ch} x &= 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^6}{6!} + \dots \\ \operatorname{th} x &= x - \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} - \frac{17x^7}{315} + \dots\end{aligned}$$

$$\frac{d \operatorname{sh} x}{dx} = \operatorname{ch} x, \quad \frac{d \operatorname{ch} x}{dx} = \operatorname{sh} x, \quad \frac{d \operatorname{th} x}{dx} = \frac{1}{\operatorname{ch}^2 x}$$

$$\begin{aligned}\int \operatorname{sh} x \, dx &= \operatorname{ch} x + C, \quad \int \operatorname{ch} x \, dx = \operatorname{sh} x + C, \\ \int \operatorname{th} x \, dx &= -\ln |\operatorname{ch} x| + C,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\operatorname{sh}(-x) &= -\operatorname{sh} x, \quad \operatorname{ch}(-x) = \operatorname{ch} x, \quad \operatorname{th}(-x) = -\operatorname{th} x \\ \operatorname{ch}^2 x - \operatorname{sh}^2 x &= 1\end{aligned}$$

$$\operatorname{sh} 2x = 2 \operatorname{sh} x \cdot \operatorname{ch} x = \frac{2 \operatorname{th} x}{1 - \operatorname{th}^2 x}$$

$$\operatorname{ch} 2x = \operatorname{ch}^2 x + \operatorname{sh}^2 x = 1 + 2 \operatorname{sh}^2 x = 2 \operatorname{ch}^2 x - 1 = \frac{1 + \operatorname{th}^2 x}{1 - \operatorname{th}^2 x}$$

$$\operatorname{th}^2 x = \frac{2 \operatorname{th} x}{1 - \operatorname{th}^2 x}$$

$$\operatorname{sh}(x \pm y) = \operatorname{sh} x \operatorname{ch} y \pm \operatorname{ch} x \operatorname{sh} y$$

$$\operatorname{ch}(x \pm y) = \operatorname{ch} x \operatorname{ch} y \pm \operatorname{sh} x \operatorname{sh} y$$

$$\operatorname{th}(x \pm y) = \frac{\operatorname{th} x \pm \operatorname{th} y}{1 \pm \operatorname{th} x \cdot \operatorname{th} y}$$

$$\operatorname{sh} x + \operatorname{sh} y = 2 \operatorname{sh} \frac{x+y}{2} \operatorname{ch} \frac{x-y}{2}$$

$$\operatorname{sh} x - \operatorname{sh} y = 2 \operatorname{ch} \frac{x+y}{2} \operatorname{sh} \frac{x-y}{2}$$

$$\operatorname{ch} x + \operatorname{ch} y = 2 \operatorname{ch} \frac{x+y}{2} \operatorname{ch} \frac{x-y}{2}$$

$$\operatorname{ch} x - \operatorname{ch} y = 2 \operatorname{sh} \frac{x+y}{2} \operatorname{sh} \frac{x-y}{2}$$

$$2 \operatorname{sh} x \operatorname{sh} y = \operatorname{ch}(x+y) - \operatorname{ch}(x-y)$$

$$2 \operatorname{ch} x \operatorname{ch} y = \operatorname{ch}(x+y) + \operatorname{ch}(x-y)$$

$$2 \operatorname{sh} x \operatorname{ch} y = \operatorname{sh}(x+y) + \operatorname{sh}(x-y)$$

VEKTOR TƏHLİLİNDƏN ƏSAS MƏLUMAT

1. Vektor və skalyar sahələri

$A(x, y, z)$ komponentləri və xüsusi törəmələri qırılmaz olan vektor funksiyası və ya vektor sahəsi $A = iAx + jAy + kAz$ və $\varphi(x, y, z)$ xüsusi törəmələri qırılmaz olan skalyar funksiya və ya skalyar sahəsi

I. Vektorların toplanması

$$A + B = C$$

$$A + B = B + A$$

$$(A + B) + C = A + (B + C)$$

$$A + B = i(A_x + B_x) + j(A_y + B_y) + k(A_z + B_z)$$

III. Vektorların skalyar vurulması

$$AB = AB \cos(\angle AB)$$

$$AB = BA$$

$$A(B + C + D) = AB + AC + AD$$

$$AA = A^2$$

$$AB = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

$$i j = j k = k i = 0$$

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1$$

IV. Vektorların vektorial vurulması

$$[AB] = AB \sin(\angle AB)$$

$$[AB] = -[BA]$$

$$[AA] = 0$$

V. Vektorların skalyar-vektorial vurulması

$$[AB]C = A[BC]$$

$$[AB]C = \begin{vmatrix} A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \\ C_x & C_y & C_z \end{vmatrix}$$

VI. Vektorların diferensiallanıb integrallanması

$A(x)$ skalyar arqumentli vektor fnuksiyası:

$$\frac{dA}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{A(x + \Delta x) - A(x)}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta x} = C$$

C – istiqaməti ΔA üzrə yönələn, qiyməti isə $\frac{\Delta A}{\Delta x}$ bərabər bir vektordur.

$$\frac{d(AB)}{dt} = A \frac{dB}{dt} + B \frac{dA}{dt}$$

$$\frac{d[AB]}{dt} = \left[A \frac{dB}{dt} \right] - \left[B \frac{dA}{dt} \right]$$

$A(x, y, z)$ və $dv = dx dy dz$ olursa: $\int_V A dv$ - vektor sahəsidir;

$\int_l A dl$ - vektorun xətti integralıdır; $\oint A dl$ - vektorun

sirkulyasiyasıdır; $\int_S A dS$ - vektorun səthi integralıdır; $\oint A dS$ -

vektor selidir.

VII. Skalyar sahəsinin gradienti

$\varphi(x, y, z) = \varphi(l)$ – skalyar sahənin skalyar funksiyasıdır.

$$d\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial \varphi}{\partial y} dy + \frac{\partial \varphi}{\partial z} dz$$

$$\text{grad } \varphi = i \frac{\partial \varphi}{\partial x} + j \frac{\partial \varphi}{\partial y} + k \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{d\varphi}{dl}$$

$$d\varphi = (\text{grad } \varphi) dl$$

$$\int_A^B (\text{grad } \varphi) dl = \varphi_B - \varphi_A$$

$$\oint (\text{grad } \varphi) dl = 0$$

$$\text{grad } \varphi = -A$$

$$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\text{grad } \varphi = \nabla \varphi$$

VIII. Vektor sahəsinin diverqensiyası

$A(x, y, z)$ – komponentləri və xüsusi törəmələri qırılmaz olan vektor yüksiyasıdır

$$A = iA_x + jA_y + kA_z$$

$$\operatorname{div} A = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\oint A \, dS}{\Delta V}$$

$$\operatorname{div} A = \nabla A = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

$$\operatorname{div} A = \rho \quad \text{və} \quad \text{ya} \quad \operatorname{div} A = 0$$

ρ – skalyar kəmiyyətdir.

$$\operatorname{div} A = -\operatorname{div} \operatorname{grad} \varphi = \nabla \nabla \varphi = \nabla^2 \varphi = \Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}$$

IX. Vektor sahəsinin rotoru

$$\operatorname{rot} A = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\oint A \, dt}{\Delta S}$$

$$\operatorname{rot} A = [\nabla A] = i \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) + j \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) +$$

$$+ k \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right)$$

$$\operatorname{rot} A = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix}$$

$$\operatorname{div} \operatorname{rot} A = \nabla [\nabla A] = [\nabla \nabla] A = 0$$

$$\operatorname{rot} (\operatorname{grad} \varphi) = [\nabla (\nabla \varphi)] = 0$$

X. Veoktr eyniyyətləri

$$\operatorname{div} \varphi \mathbf{A} = \varphi \operatorname{div} \mathbf{A} + \operatorname{grad} \varphi$$

$$\operatorname{rot} \varphi \mathbf{A} = \varphi \operatorname{rot} \mathbf{A} - [\mathbf{A} \operatorname{grad} \varphi]$$

$$\operatorname{div}[\mathbf{A} \mathbf{B}] = \mathbf{B} \operatorname{rot} \mathbf{A} - \mathbf{A} \operatorname{rot} \mathbf{B}$$

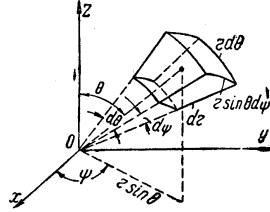
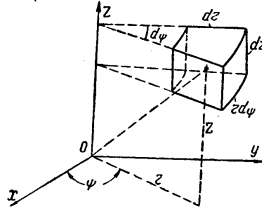
$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A} - \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$$

$$\operatorname{grad} (\mathbf{A} \mathbf{B}) = [\mathbf{A} \operatorname{rot} \mathbf{B}] + (\mathbf{A} \operatorname{grad}) \mathbf{B} + [\mathbf{B} \operatorname{rot} \mathbf{A}] + (\mathbf{B} \operatorname{grad}) \mathbf{A}$$

$$\operatorname{rot}[\mathbf{A} \mathbf{B}] = (\mathbf{B} \operatorname{grad}) \mathbf{A} - (\mathbf{A} \operatorname{grad}) \mathbf{B} + \mathbf{A} \operatorname{div} \mathbf{B} - \mathbf{B} \operatorname{div} \mathbf{A}$$

$$\begin{aligned} (\mathbf{A} \operatorname{grad}) \mathbf{B} = & i \left(A_x \frac{\partial B_x}{\partial x} + A_y \frac{\partial B_x}{\partial y} + A_z \frac{\partial B_x}{\partial z} \right) + \\ & + j \left(A_x \frac{\partial B_y}{\partial x} + A_y \frac{\partial B_y}{\partial y} + A_z \frac{\partial B_y}{\partial z} \right) + \\ & + k \left(A_x \frac{\partial B_z}{\partial x} + A_y \frac{\partial B_z}{\partial y} + A_z \frac{\partial B_z}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

SİLİNDRİK VƏ SFERİK KOORDİNATLAR ARASINDAKI ASILILIQ



Koordinatlar

$$dr, r d\psi, dz$$

$$dr, r d\theta, r \sin \theta d\psi$$

Qradientlər

$$\text{grad}_r \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

$$\text{grad}_r \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

$$\text{grad}_\psi \varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \psi}$$

$$\text{grad}_\theta \varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}$$

$$\text{grad}_z \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

$$\text{grad}_\psi \varphi = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \varphi}{\partial \psi}$$

Rotorlar

$$\text{rot}_r A = \frac{1}{r} \frac{\partial A_z}{\partial \psi} - \frac{\partial A_\psi}{\partial z}$$

$$\text{rot}_r A = \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta A_\psi) - \frac{\partial A_\theta}{\partial \psi} \right]$$

$$\text{rot}_\psi A = \frac{\partial A_r}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial r}$$

$$\text{rot}_\theta A = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial A_r}{\partial \psi} - \frac{1}{r} \frac{\partial (r A_\psi)}{\partial r}$$

$$\text{rot}_z A = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r A_\psi) - \frac{\partial A_r}{\partial \psi} \right]$$

$$\text{rot}_\psi A = \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial (r A_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right]$$

Divergensiya

$$\begin{array}{l|l} \operatorname{div} \mathbf{A} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r A_r) + & \operatorname{div} \mathbf{A} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 A_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial A_\psi}{\partial \psi} + \frac{\partial A_r}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta A_\theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial A_\psi}{\partial \psi} \end{array}$$

Laplasian

$$\begin{array}{l|l} \nabla^2 \varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + & \nabla^2 \varphi = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \\ + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \psi^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} & + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) + \\ & + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \psi^2} \end{array}$$

ƏDƏBİYYAT

1. Quluzadə K.N., Ağaməmmədov M.Ş., Axundov N.S. Babayev R.V., Əsgərov C.S. Elektrotexnika, elektrik avadanlığı və sənaye elektronikasi. Bakı, maarif nəşriyyatı 1977.
2. C.S.Əsgərov., R.V.Babayev., T.Ş.Hüseynov. Elektrotexnika kursundan hesabat qrafik işlərin tapşırıqları. Bakı, Azərb. NKİ-nəşri 1980
3. T.Ataşiyev., R.Babayev., C.Əsgərov., N.Axundov., T.Hüseynov. Elektrotexnikadan məsələlər (elektrik dövrləri). Bakı, 1986
4. R.Z.Kazımsadə., C.S.Əsgərov., M.Ş.Ağaməmmədov. Dəyişən cərəyan elektrik dövrləri. Bakı, 2005
5. Анвельт М.Ю. и др. Сборник задач по общей электротехнике, под ред. проф. В.С.Пантюшина Москва. Высшая школа, 1973.
5. R.Z.Kazımsadə, C.S.Əsgərov. Elektrotexnika. Dərs vəsaiti. Bakı, 2008.
6. C.S.Əsgərov, M.Ş.Ağaməmmədov, T.G.Əhmədova. Elektrotexnika və elektrik maşınları. Dərs vəsaiti. Bakı, 2010
7. R.Z.Kazımsadə, C.S.Əsgərov. Elektrotexnika, radiotexnika, və elektronika. Ali texniki mətəblər üçün dərslik. Bakı, 2013.
8. Г.Д.Медведев, Электрооборудование и электро-снабжение горных предприятий. Москва, 1980.

NDƏRİCAT

			Səh
		ÖN SÖZ	3
Fəsil I	1	YERALTİ DAĞ İŞLƏRİ ZAMANI ELEKTRİK AVADANLIQLARININ İSTİSMARI VƏ ELEKTRİK TƏCHİZATI	5
		1.1. Elektrik mühərriklərinin gücünün sevlməsi	10
		1.2. 1000 V-a qədər gərginlikli iarəetmə və mühafizə elektrik aparatları.	13
Fəsil II	2	NƏQLİYYAT, FAYDALI QAZINTI ÇIXARMA VƏ KÖMƏKÇİ QURĞULRIN ELEKTRİK AVADANLIQLARI	23
		2.1. Yükləyici maşınların elektrik avadanlıqları	26
		2.2. Yeraltı qurğuların elektrik avadanlıqları	28
Fəsil III	3	DAĞ MÜƏSİSƏLƏRİNİN ELEKTRİK TƏCHİZATI	42
		3.1. Yeraltı baş-alçaldıcı yarımstan-siyalar (BAY) və hava veriliş xətləri (HVX)	42
		3.2. Elektrik stansiya, yarımstansiya və şəbəkələrin təsnifatı	44
		3.3. Elektrik yüklərinin hesabı və yarımstansiyaların gücünün təyini	48

			Səh
		3.4. 6 kV və ondan yüksək gərginlikli elektrik aparatlarının elementləri ..	56
		3.5. Yarımstansiyaların mühafizə torpaqlanması və izolyasiyaya nəzərət	63
Fəsil IV	4	YARIMSTANSİYALARIN AVTOMATİKA VƏ TELEMEXANİKASI. ELEKTRİK TƏCHİZATININ DİSPETÇERLƏŞDİRİLMƏSİ	65
		4.1. Açıq dağ-mədəninin elektrik təchizəti	66
		4.2. Kompleks paylayıcı quruluşlar və qoşma məntəqələri	67
		4.3. Transformator yarımsansiyaları ..	69
		4.4. Yarımstansiya transformatorlarının gücünün seçilməsi	70
		4.5. Elektrik şəbəkələri və onların hesabı	73
		4.6. Elektrik qurğularının və EVX-nin mühafizə növləri	74
Fəsil V	5	YERALTİ DAĞ-MƏDƏN TƏLƏBATÇILARININ ELEKTRİK TƏCHİZATI	76
		5.1. Elektrik enerjiötürülməsinin tipik sxemləri	76
		5.2. Mərkəzi yeraltı yarımstansiyalar (MYYS)	79
		5.3. Güc transformatorları və səyyar sahə yeraltı yarımstansiyaları ...	85

			Səh
		5.4. Güc transformatorlarının gücünün təyini və onların seçilməsi	90
Fəsil VI	6	1000 V-a QƏDƏR VƏ 1000 V-dan YÜKSƏK GRGİNLİKLİ KABEL ŞƏBƏKƏLƏRİNİN HESABI.	93
Fəsil VII	7	ŞAXTA KABEL ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ QISAQAPANMA CƏRƏYANININ HESABLANMASI	107
Fəsil VIII	8	TERMİKİ QURĞULARIN ELEKTRİK AVADANLIQLARI . . .	114
		8.1. Elektrik sobalarının elektrik avadanlıqları	114
		8.2. Qaynaq qurğularının elektrik avadanlıqları və idarə sxemləri. . .	117
		8.3. Metal emalı dəzgahlarının elektrik avadanlıqları	118
		8.4. Metal emalı dəzgahlarının intiqaının, tipinin və elektrik mühərriklərinin gücünün seçilməsi	119
		8.5. Dəmirçi-presləmə mexanizmlərinin elektrik avadanlığı	120
Fəsil IX	9	İŞƏBURAXMA APARATLARININ SEÇİLMƏ QAYDALARI, QOYULUŞ CƏRƏYANLARININ HESABI VƏ QISAQAPANMA CƏRƏYANLARINA GÖRƏ YOXLANMASI	122

		Səh
	9.1. Mühafizə torpaqlayıcıları və izolyasiyaya nəzarət	124
	9.2. Dağ-mədən müəssisələrində elektrik enerji tələbatının texniki-iqtisadi göstəriciləri.	126
	9.3. Elektrik enerji tələbatının xüsusi normaları	128
	9.4. Reaktiv gücün kompensasiyası. . .	131
	9.5. Dağ-mədən müəssisələrinin işıqlandırılması	136
Fəsil X	10 TİKİNTİ SƏNAYESİ ÜÇÜN ÜMUMİ TƏYİNATLI İSTEHSAL MEXANİZMLƏRİNİN ELEKTRİK AVADANLIQLARI	140
	10.1. Elektrik qurğularının güc əmsalının yüksəldilməsi	143
	10.2. Güc əmsalının yüksəldilməsi üsulları	145
	10.3. Kompresor nasos və ventilyator qurğularının elektrik avadanlıqları	147
	10.4. Dağ-mədən sənayesinin elektrik avadanlığı və elektrik təchizatına aid sərbəst işlər . . .	153
Fəsil XI	11 SABİT CƏRƏYAN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ	155

Fəsil XII	12	ELEKTROMAQNİT HADİSƏLƏRİ. MAQNİT DÖVRƏLƏRİ	174
		12.1. Maqnit sahəsinin elektro- mexaniki təsiri və maqnit sahəsinə xarakterizə edən əsas kəmiyyətlər	174
		12.2. Maqnit sahəsinin induksion təsiri. Elektromaqnit induksiya qanunu	176
		12.3. Elektrik generatorunun və mühərrikinin iş prinsipi	178
		12.4. Maqnit dövrələri	180
Fəsil XIII	13	DƏYİŞƏN CƏRƏYAN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ	184
		13.1. Əsas anlayışlar	184
		13.2. Bırfazalı dəyişən cərəyan elektrik dövrələri	198
		13.3. İnduktiv sarğaclı sinusoidal cərəyan dövrəsi	200
		13.4. Kondensatorlu sinusoidal cərəyan dövrəsi	203
		13.5. Elementləri ardıcıl birləşdirilmiş sinusoidal cərəyan dövrəsi	206
		13.6. Sinusoidal dəyişəncərəyan dövrəsinin gücü	209
		13.7. Sinusoidal cərəyan dövrəsində elementlərin ardıcıl birləşdirilməsinin ümumi halı ..	211
		13.8. Sinusoidal cərəyan dövrəsində elementlərin paralel birləşdirilməsi	213

13.9. Sinusoidal cərəyan dövrəsində elementlərin qarışıq birləşdirilməsi	215
13.10. Sinusoidal cərəyan dövrələrində rezonans hadisələri.	217
13.11. Güc əmsalı	222
13.12. Bir fazalı dəyişən cərəyan elektrik dövrələrinə aid sərbəst işlər üçün məsələlərin həlli metodikası	224
13.13. Birfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrələrinə aid sərbəst işlər	242
13.14. Üçfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrələri	243
13.15. «Ulduz» sxemi üzrə birləşmə	245
13.16. «Üçbucaq» sxemi üzrə birləşmə	247
13.17. Üçfazlı şəbəkəyə birfazlı və üçfazlı işlədicilərin qoşulma üsulları	249
13.18. Simmetrik yüklü üçməftilli dövrənin hesabı	251
13.19. Qeyri-simmetrik yüklü üçfazlı dövrənin hesabı	253
13.20. Üçfazlı dövrənin gücü	255
13.21. Üçfazlı dəyişən cərəyan dövrəsinə aid sərbəst işlər üçün məsələlərin həlli metodikası	258

		13.22. Üçfazlı dəyişən cərəyan elektrik dövrələrinə aid sərbəst işlər	265
Fəsil XIV	14	TRANSFORMATORLAR VƏ ELEKTRİK MAŞINLARI	267
		14.1. Transformatorlar haqqında əsas anlayışlar	267
		14.2. Transformatorun yüksüz işləmə rejimi	269
		14.3. Transformatorun yüklü rejimi ...	271
		14.4. Üçfazlı transformatorlar	277
		14.5. Transformatorların parametrlərinin və faydalı iş əmsalının təyini	282
		14.6. Transformatorlara aid sərbəst işlər	285
Fəsil XV	15	ASİNXRON MAŞINLAR	286
		15.1. Asinxron mühərrikin vəzifəi və iş prinsipi	286
		15.2. Fırlanan maqnit sahəsinin alınması	288
		15.3. Asinxron mühərrikin quruluşu	293
		15.4. Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə rejimi	294
		15.5. Asinxron mühərrikin dövrələrində gedən elektromaqnit proseslər	295
		15.6. Asinxron mühərrikin energetik göstəriciləri	299
		15.7. Asinxron generator	301
		15.8. Asinxron mikromühərriklər ...	301

		Səh
	15.9. Müxtəlif iş rejimləri üçün elektrik mühərrikinin gücünün seçilməsi	304
	15.10. Asinxron maşınlar və müxtəlif iş rejimləri üçün elektrik mühərrikinin gücünün seçilməsinə aid məsələlərin həlli metodikası	308
	15.11. Asinxron maşınlar və müxtəlif iş rejimlərinə uyğun mühərrikin gücünün seçilməsi bölməsinə aid sərbəst işlər . . .	310
Fəsil XVI	16 SABİT CƏRƏYAN MAŞINLARI	311
	ƏLAVƏ 1	324
	ƏLAVƏ 2	331
	ƏLAVƏ 3	349
	ƏLAVƏ 4	351
	ƏLAVƏ 5	352
	ƏLAVƏ 6	353
	ƏLAVƏ 7	354
	ƏLAVƏ 8	355
	ƏLAVƏ 9	359
	ƏDƏBİYYAT	360

**KAZIMZADƏ RƏNA ZƏKİ QIZI,
ƏSGƏROV CAVİD SƏLİMXAN OĞLU,
HƏMİDOV MUSTAFA HƏMİD OĞLU**

**DAĞ-MƏDƏN SƏNAYESİNİN
ELEKTRİK AVADANLIĞI VƏ
ELEKTRİK TƏCHİZATI**

ali texniki məktəblər üçün dərslik

Yığılmağa verilib: 12.12.2014, Çapa imzalanıb: 5.12.2014,
Format: 60x84 1/16. Çap vərəqi: 24,9. çapı ofset üsulu ilə, Kağız
əla növ, Sayı: 200, Qiyməti müqavilə ilə

ADNA-nın mətbəəsi

Bakı, Azadlıq pr.20