

S.Z.Məmmədov

ELEKTROTEXNİKA

(dərslük)

**Dərsliyə Təhsil Nazirliyinin 08.04.2014-cü il
tarixli 408 sayılı əmrilə qrif verilmişdir**

Bakı - 2014

Elmi rəhbər, professor S.Z.Məmmədov

Rəy verənlər:

Azərbaycan Texnologiya Universitetinin professor
t.e.d. Namazov E.N.

Azərbaycan Texnologiya Universitetinin dosenti,
t.e.n. Cəfərov M.N.

ADAU-nun Energetika kafedrasının professoru Bağırov N.M.

ADAU-nun Elektrik mühəndisliyi kafedrasının
dosenti Yusibov F.M.

GİRİŞ

Elektrotexnika vaxtılı təbiət elmlərinin əsas hissəsi olan “elektrik” və “maqnit sahələri” bəhsi üzərində qurulmuş və hazırda geniş inkişaf etmiş bir elmdir. Fizikadan məlumdur ki, elektrik maqnit hadisələrinin bəziləri hələ çox qədim zamanlardan insanlara məlumdur. Elektrik və maqnit hadisələri haqqındakı ilk təsəvvür, qədim Yunanıstanda yaranmışdır.

Elektrik anlayışı, yunanların kəhrəba mənasını verən “electron” sözündən maqnit anlayışı “maqnezi” sözündən alınmışdır.

Elektrotexnika əsrimizin elektromaqnit hadisələrinin və xalq təsərrüfatı məqsədləri ilə istifadə üsullarından bəhs edən ən qabaqcıl və ən məhsuldar elmlərdən biridir.

Elektrik enerjisi xalq təsərrüfatında əhəmiyyətli yer tutmaqla bərabər bütün sənaye, kənd təsərrüfatı və nəqliyyat üçün həlledici bir amil olmuşdur.

Elektrik enerjisi universal enerjidir; o, başqa şəkillərə asanlıqla çevrilə bildiyi kimi, başqa şəkillərdə olan enerjilər də elektrik enerjisi şəklinə çevrilə bilər.

Elektrotexnikanın əsas məsələləri elektrik enerjisinin istehsal edilməsi işlədiciyə göndərilməsi və işlədiciyə arasında paylaşırlıq səmərəli surətdə işlədilməsi məsələlərindən ibarətdir.

Elektrik enerjisi asanlıqla istehsal olunur, uzaq məsafələrə qənaətli surətdə göndərilir və səmərəli surətdə işlədilir. Buna görə son zamanlar, elektrik enerjisinin, təbiiqə nəticəsində, sənayeni yeni-yeni rayonlarda yerləşdirən, müxtəlif texnoloji prosesləri yaxşılaşdırın və əmək məhsuldarlığını artırın yeni texniki və iqtisadi məsələlər meydana çıxmışdır. Hazırda fabrik və zavodların xammal mənbələrinə, elektrik stansiyalarının axar sulara və ucuz yanacaq yataqlarına yaxın yerlərdə tikilməsi vacib sayılan şərtlərdən hesab olunur. Lakin bəzən öz coğrafi mövqelərinə görə bir-birindən çox aralı

yerləşən bu obyektləri elektrik əlaqələndirmək verilmiş xətləri vasitəsilə heç də çətinlik törətmir.

Elektrik enerjisinin üstünlüyü sayəsində sənayedə elektrik qaynağı, elektrikle metal əridilməsi, elektrikle metal bərkidilməsi kimi yeni texnoloji üsullar yaradılmışdır.

Bundan əlavə, elektrik enerjisi istehsalatın dispetçirləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması kimi çox mühüm təşkilati məsələləri də həll edə bilmişdir. İndi istehsalat dairələrində bir sıra mühüm nəzarət və idarə işləri elektrik avtomatları vasitəsilə idarə olunmaqdadır.

Elektrotexnika XX əsrin qabaqcıl elmi olub, gələcəkdə də əhəmiyyətini saxlayacaqdır. Bəşəriyyətin qarşısında açılmış atom enerjisi və ifrat keçiricilik məsələləri elektrotexnikanın əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Dərsliyin tərtib edilməsində Azərbaycan Dövlət Aqrar Universitetinin Elektroenergetika mühəndisliyi ixtisasının 2013-cü ildə buraxılışı olacaq tələbələrinə Ərzumanlı Şəmistan, Qocayev Tahir, Suleymanov Toğrul, Xasməmmədli İlham kitabın hazırlanmasında, etdikləri köməyə görə kitabın müəllifi kimi öz minnətdarlığımı bildirirəm.

Kitaba irad və təkliflərini verəcək hər bir həmkarıma əvvəlcədən təşəkkür edirəm.

Kitabdan Elektroenergetika mühəndisliyi və Elektrik mühəndisliyi ixtisaslarının magistratura səviyyəsinə qəbul olmaq istəyənlər də geniş istifadə edə bilərlər.

Azərbaycan Respublikasında da aparılan aqrar islahatlar kiçik güclü çoxlu sayda kənd təsərrüfatı məhsullarının ilkin emal müəssələrinin yaradılmasına şərait yaratdı. Ona görə də bu sahənin investisiya xərclərini azaltmaq və emal edilən kənd təsərrüfatı məhsullarının maya dəyərini azaltmaq üçün gələcəkdə elektrik və istilik enerji mənbəyi kimi alternativ enerji mənbələrindən geniş istifadə istifadə edilməsi qaçılmazdır.

I FƏSİL

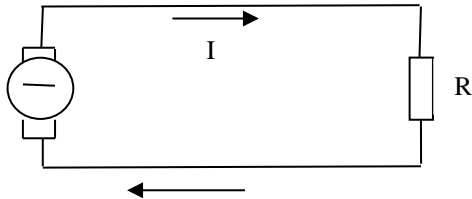
XƏTTİ SABİT CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ

1.1. Elektrik dövrləri

İlk elektrik enerji mənbələri qalvanik elementlər olduhuna görə elektrotexnika elmi sabit cərəyan əsasında inkişaf etməyə başlamışdır. Elektrik dövrəsinin əsas qanunları (Om və Kirxhof), Habelə elektrik cərəyanının istilik, elektromaqnit və elektrokimyəvi təsirlərinin qanunauyğunluqları məhz sabit cərəyan əsasında kəşf olunmuşdur. Lakin elektrotexnika sonrakı mərhələlərdə artıq sabit cərəyan əsasında inkişaf edə bilməzdi. Çünki elektrik enerjisinin uzaq məsafələrə iqtisadi cəhətdən əlverişli sürətdə ötürülməsi yalnız yüksək gərginlik şəraitində mümkündür, sabit cərəyan isə gərginliyin yüksəldilib - alçaldılmasına imkan vermir. Dəyişən cərəyanlı elektrik enerjisi istehsalının sadəliyi və dəyişən cərəyanlar sisteminin bir sıra başqa üstünlükləri onların geniş yayılmasına səbəb olmuşdur. Bununla belə, hazırda bir çox elektrik işlədicilərini sabit cərəyansız işlətmək olmur. Həmin işlədicilər yatexnoloji şərtlərə (elektrokimya). yada 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 çeviriçilərdən elektromaşın, elektronion, yarımkeçirici), az-az hallarda isə akkumulyatorlardan, sabit cərəyan generatorlarından və termoelektrik batareyalarından istifadə edilir.

Elektrik dövrəsi-elektrotexnikada müxtəlif məqsədlər üçün tətbiq olunan qapalı bir quruluşdur. Ümumiyyətlə, elektrik dövrlərində elektrik enerjisi hasil edən elementləri mənbə, elektrik enerjisi sərf edən elementləri işlədici, enerjini nəql edən vasitələri isə xətlər adlandırırlar. Beləliklə də, bir qapalı

energetika sistemi alınır. Elektrotexnikada belə sızstemplərə elektrik dövrəsi deyilir.



Şəkil 1.1.Sadə elektrik dövrəsinin sxemi.

Elektrik dövrələri ümumi halda aşağı elementlərin vəhdətindən ibarətdir:

- 1) Elektrik enerji mənbələri—generatorlar;
- 2) Elektrik enerjisini başqa növ enerjilərə çevirən elektrik qəbuledyciləri - işlədicilər;
- 3) Elektrik enerji mənbələrini elektrik qəbulediciləri ilə əlaqələndirən quruluşlar.

Ən sadə sabit cərəyan dövrəsi elektrik generatorundan (K) elektrik yükündən, yaxud elektrik işlədicisindən (J) və mənbə (h) ilə yükü (R) birləşdirən ikiməftilli xətdən (X) ibarətdir (şəkil 1).

Elektrik enerji mənbələrinin parametrlərindən biri onun elektrik hərəkət qüvvəsidir.

1.2. Elektrik cərəyanı

Elektron nəzəriyyəsinə əsasən normal fiziki vəziyyətdə olan bütün metal cisimlərin tərkibində sərbəst hərəkət edən elektronlar vardır.

Belə cisimlərin içərisindəki atomlar arasında sərbəst hərəkətdən elektronlar selinə bir duman kimi baxıla bilər. Bu elektronlar atomlar arasındakı fəzada arası kəsilmədən, nizamsız sürətdə sərbəst hərəkət edir.

Fizikada aparılmış təcrübələrə və hesablanmalara əsasən, sərbəst elektronların bəzi xarakter kəmiyyətləri təyin edilmişdir. Normal şəraitdə metal cisimlərin bir kub santimetr ölçülühə həcminə olan sərbəst elektronların sayı $10^{19} \div 10^{23}$, bir sərbəst elektronun nizamsız hərəkətinin sürəti isə təxminən 100 km/san -dir. Elektronun yükü $1,59 \cdot 10^{19} \text{ Klon}$, çəkisi isə $0,9 \cdot 10^{-27}$ qrama bərabərdir.

Metal cisimlərdə sərbəst elektronların mövcud olması müxtəlif hadisələrlə isbat edilmişdir. Məsələn, metalları yüksək dərəcədə qədər qızdırdıqda və ya üzərlərinə güclü H işıq seli saldıqda, onlardan sərbəst elektronlar çıxmağa başlayır.

Əgər belə bir cismin içərisində elektrik sahəsi yaradılsa, bütün bu mənfi yüklü hissəciklər (sərbəst elektronlar) nizamlı hərəkətə gələcək, yəni cismin müsbət potensialı üçünə cəzb olunacaqdır. Bu hadisə, metal cisimlərin elektrik keçiriciliyi ilə izah edilir.

Elektrik keçiricisi adlanan hər bir cismin içərisində elektrik sahəsi olmadı halda, onun sərbəst elektronları nizamsız hərəkətdə olur. Bu hissəciklərin orta kinetik enerjisi ancaq temperaturun yüksəlməsi ilə arta bilər.

Keçirici içərisində elektrik sahəsi olduqda isə hər bir sərbəst elektrona, onun elektrik yükünün bu sahə gərginliyinin hasilinə bərabər olan bir qüvvə təsir edəcəkdir. Bu qüvvə təsirindən sərbəst elektronlar öz nizamsız istilik hərəkətlərindən başqa bir də əlavə bir sürət qazanmış olur. Bu zaman sərbəst elektronlar selinin hərəkəti bərabərsürətli olur və bu hərəkətin orta sürəti keçiricidəki elektrik sahəsinin gərginliyinə mütənəsb olur.

Elektrik keçiricisi içərisində elektrik sahəsi yaratmaqla sərbəst elektronların bu sahənin, əksinə doğru müntəzəm hərəkətini əmələ gətirmək olar. Sərbəst elektronların belə hərəkətinə elektrik cərəyanı deyilir.

Elektrik cərəyanı haqqında bu cür təsəvvür ancaq XIX əsrdə yaranmışdır Əvvəllər, naqillərdə mənfi yüklü hissəciklərin

deyil, müsbət yüklü hissəciklərin hərəkət etdiyi güman olunurdu və elektrikin maye kimi, yüksək təzyiqdən alçaq təzyiqə doğru axdığı təsəvvür olunurdu. Bu təsəvvürə görə də elektrotexnikada „elektrik cərəyanı“, „cərəyan axır“ və „cərəyana qarşı müqavimət” kimi düzgün olmayan istilahlər indiyə qədər işlədilməkdədir.

Hazırda elektron nəzəriyyəsinə əsaslanaraq, elektrik cərəyanını bərk keçiricilərdə sərbəst elektronların hərəkət etməsi nəticəsində əmələ gələn bir fiziki hadisə kimi təsəvvür edirlər. Ancaq bütün klassik qanunların təriflərinin və cərəyan haqqında qərarlaşmış təsəvvürü dəyişdirməmək üçün elektrik cərəyanının istiqamətini şərti olaraq müsbətdən mənfiyə dohru qəbul edirlər. Buna baxmayaraq, bəzi xüsusi hallarda, məsələn, elektron və ion cihazlarında cərəyanı olduğu kimi, mənfi yüklü hissəciklərin (elektronların) hərəkəti istiqamətində qəbul etmək lazım gəlir.

Deyildiyi kimi, keçirici mühitdə yaradılan elektrik sahəsi oradakı sərbəst elektronların nizamsız istilik hərəkətlərini pozur. Bu halda cismin içərisindəki müsbət yüklər elektrik sahəsinin gərginliyi istiqamətinə, mənfi yüklər isə əks tərəfə yönəlmiş olur. Hər iki istiqamətdə yerdəyişən elektrik miqdarı qiymətcə eyni olur. Bu elektrik yüklərinin yerdəyişmə məsafələrinə gəlincə, mənfi yüklərin yer-dəyişməsi çox böyük, müsbət yüklərinki isə sonsuz kiçikdir.

Keçiricidə əmələ kələn cərəyan və onun şiddəti elektrik miqdarı ilə əlaqədar anlayışlardır. Tutaq ki, keçiricinin ucları arasında müəyyən potensiallar fərqi vardır. Bu vaxt keçiricidə elektrik sahəsi yaranacaq və onun en kəsiyindən hər vahid zamanda bərabər qiymətli elektrik miqdarı keçəcəkdir. Müəyyən bir en kəsiyindən keçən elektrikin miqdarı aydındır ki, sahənin gərginliyi eyni qaldıqda, ancaq zamandan asılı olur.

Müəyyən t zamanı ərzində keçiricinin en kəsiyi sahəsindən keçən elektrik miqdarını q ilə işarə edib, onun vahid zamanda keçən hissəsini aşahıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Keçiricidən keçən elektrik miqdarı dəyişdikdə alınır.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Bu kəmiyyət, elektrik cərəyanının qiymətini, yəni elektrik miqdarın dəyişmə surətini əöstərdiyi üçün cərəyan şiddəti adlanır.

Elektrik cərəyanının şiddətindən əlavə, yəni onun zaman etibarı ilə nə kimi şiddətə malik olmasını bilməkdən əlavə, bir də cərəyanın sıxlığını təyin etmək lazımdır.

Vahid zamanda keçiricinin vahid en kəsiyindən keçən elektrik miqdarına cərəyanın SİXLİHİ deyilir və sabit cərəyan üçün

$$\delta = \frac{I}{S'}$$

dəyişən cərəyan üçün isə

$$\delta = \frac{di}{ds}$$

kimi göstərilir.

Cərəyan sıxlığı bir sıra keçirici materialları üçün təyin edilmişdir, buna görə də çox vaxt keçiricidən keçən ümumi cərəyanı həmin sıxlıq vasitəsi ilə hesablamaq daha əlverişli olur.

Ümumi en kəsiyindən keçən cərəyan sabit cərəyanda

$$I = \delta S$$

dəyişən cərəyanda isə

$$i = \int_a \delta ds$$

kimi ifadə olunur.

1960-cı ildən etibarən qəbul olunmuş Beynəlxalq vahidlər sistemi (Sİ) üzrə cərəyanın vahidi bir Amper (a), cərəyan sıxlığının vahidi isə a/m^2 -dir.

Elektrik miqdarının vahidi, cərəyan və zaman vahidləri vasitəsi ilə tapılır. Elektrik miqdarının vahidi 1-ci düsturdan

Amper ilə saniyənin vurma hasili şəklində tapılır və bir Kulon (k) adlanır.

1.3. Müqavimət və keçiricilik

Bərk keçiricilər içərisində elektrik cərəyanının sərbəst elektronların hərəkətindən ibarət olduğunu gördük. Bu sərbəst elektronların cisimdə çox və ya az olmasının cismin keçiriciliyinə böyük təsiri vardır. Cisimlərdə sərbəst elektronların az olmasına, cərəyana qarşı bir maneçilik kimi baxmaq olar. Bu maneçilik elektrik cərəyanının qiymətinə təsir etdiyi üçün onu xüsusilə öyrənmək lazım əlidir. Tutaq ki, elektrik hərəkət qüvvəsi eyni və dəyişməz qalan bir mənbəyin dövrəsinə müxtəlif materiallardan hazırlanmış eyni uzunluqlu və eyni en kəsikli bir sıra məftillər qoşulur. Bu məftilləri tək-tək qoşduqda onlardan müxtəlif şiddətli cərəyanlar keçir. Buradan aşahıdakı nəticəni çıxarmaq olar:

1) Müxtəlif materiallar elektrik cərəyanını müxtəlif dərəcədə keçirir, yəni onların keçiricilikləri müxtəlifdir;

2) Müxtəlif materiallar, cərəyanın keçməsinə müxtəlif dərəcədə maneçilik göstərir, yəni onların müqavimətləri müxtəlifdir.

Göstərdiyimiz müqavimət və keçiricilik anlayışları tamamilə bir-birinin tərsi olan iki kəmiyyəti ifadə edir. Deməli, keçiricilik və müqavimət anlayışları çisimlərdə olan sərbəst elektronların sayı ilə əlaqədar olan anlayışlardır. Bunlara keçirici mühiti xarakterizə edən parametrlər kimi baxmaq olar.

Keçiricilərdən hazırlanan məftillərin müqaviməti, başlıca olaraq, onların qayırdığı materialın cinsindən (mis, dəmir və ya xəlitalərdən) asılıdır.

Eyni materialdan hazırlanmış məftillərin müqaviməti müxtəlif ola bilər; çünki müqavimət, məftillərin uzunluğu və en kəsiyi sahəsindən də asılıdır. Belə ki, məftilin uzunluğu artdıqda onun müqaviməti çoxalır, en kəsiyi sahəsi böyüdükdə isə

müqaviməti azalır. Deməli, müəyyən materialdan hazırlanan məftilin müqaviməti onun uzunluğu ilə düz, en kəsiyi sahəsi ilə tərs mütənasibdir.

Müqavimət haqqında yuxarıda dediklərimizi riyazi surətdə ifadə etmək istəsək, məftilin müqavimətini r , uzunluğunu l , en kəsiyi sahəsini isə S ilə işarə edib,

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

ifadəsini alırıq ki, burada r —keçirici materialın cinsindən asılı olan əmsaldır.

Əgər müqavimətini tapmaq istədiyimiz məftilin uzunluğu 1 m , en kəsiyi sahəsi 1 mm^2 -ə ötürülsə, o zaman bu məftilin elektrik müqaviməti 4-cü düstura əsasən $r = \rho$ həmin əmsala bərabər alınır.

Buradan aydın görünür ki, mütənasiblik əmsalı ρ müqavimət vahidi ilə ölçülür, qiyməti isə uzunluğu 1 m və en kəsiyi sahəsi 1 olan material parçasının müqavimətinə bərabərdir.

Beləliklə, hər bir material üçün uzunluğu 1 m və en kəsiyi sahəsi 1 mm^2 olmaq şərti ilə müəyyən temperaturda (20°S) tapılan bu kəmiyyətə onun xüsusi müqaviməti deyilir.

Xüsusi müqavimətləri məlum olan keçiricilərin ümumi müqavimətlərini təyin etmək üçün 4-cü düsturdan istifadə etmək lazımdır, Burada məftillər üçün həmişə l uzunluğu metrə və S en kəsiyi sahəsi kvadrat millimetrlə ölçülməli, alınan müqavimət isə $o m l a$ oxunmalıdır.

Xüsusi düsturda tərs qiymətini γ ilə işarə edib, 4-cü düsturda yerinə qoymaqla, müqavimət düsturunun ikinci şəklini alırıq:

$$r = \frac{l}{\gamma S} \quad (4')$$

Burada xüsusi müqavimətin tərs qiyməti olan $\gamma = \frac{1}{\rho}$ əmsalı xüsusi keçiricilik adlanır.

Müqaviməti r məlum olan bir cismin (məftil və ya elektrolitin) keçiriciliyə ilə işarə olunur və ümumi tərifinə görə

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

və ya

$$g = \frac{\gamma^s}{i}$$

Ifadəsi ilə təyin edilir.

Müqaviməti ölçmək üçün işlədilən Om vahidi, 1895-ci ildə Çikaqo şəhərində keçirilən konqresdə qəbul olunmuşdur. Bu vahidin etalonu, hündürlüyü $106,28 \text{ sm}$ və en kəsiyi sayəsi 1 mm^2 olan çivəsi sütunundan ibarətdir. Bir Om həmin çivə kütləsinin 0°S -də sabit şiddətli cərəyana göstərdiyi müqavimətə bərabər qəbul olunmuşdur. Beləliklə, naqillərin müqaviməti Om vahidi ilə, müqavimətin tərsi olan keçiricilik isə 1 Om və ya simens vahidi ilə ölçülür.

Xüsusi keçiriciliyin və xüsusi müqavimətin vahidləri SI vahidlər sistemindən təyin edilmişdir. Bunun üçün xüsusi keçiricilik düsturundan

$$|\gamma| = \frac{m}{Om \cdot m^2} = \frac{1}{Om \cdot m}$$

xüsusi müqavimət üçün isə $|r| = om \cdot m$ vahidləri tapılır.

Keçiricilərin müqavimətləri yuxarıda göstərilənlərdən əlavə bir də mühitin fiziki vəziyyətindən asılıdır. Müqavimətin qiymətini dəyişdirən fiziki təsirlərdən başlıcası istilikdir. Metalların çoxu temperaturun artması ilə öz elektrik müqavimətini artırır, bəzi materiallar isə, əksinə, temperaturun artması ilə öz müqavimətlərini azaldır (məsələn, kömür və maqnezium kimi). Praktikada, istilikdən asılı olmayan, yəni temperaturun dəyişməsi ilə öz müqavimətini, demək olar ki, dəyişdirməyən materiallara da rast gəlmək olur (manqanın və konstantadan).

Maye keçiricilər, yəni elektrolitlər temperaturun yüksəlməsi ilə öz müqavimətini azaldır.

Keçiricinin müqavimətinə istiliyin təsirin aydınlaşdırmaq üçün, həmin keçirici materialından hazırlanmış bir Om müqavimətli məftilin 1°S qızdırılması ilə müqavimətinin nə qədər dəyişdiyini bilmək kifayətdir. Bu anlayışa müqavimətin temperatur əmsalı deyilir və α ilə işarə edilir. Beləliklə, temperaturu t_1 -dən t_2 -dək dəyişən r müqavimətinin istilikdən dəyişməsi miqdarı

$$r \alpha (t_2 - t_1)$$

Ümumi miqdarı əvvəlkindən böyük və

$$r_t = r[1 - \alpha(t_2 - t_1)]$$

olur.

Həmin düstur praktikada öz doğruluğunu 0°—100°S həddində saxlayır.

1.4. Potensial və gərginlik

Vahid yükün enerjisinə onun potensialı deyilir

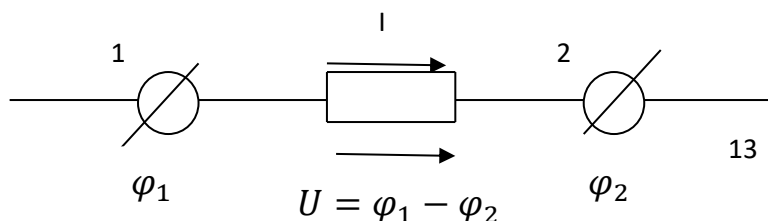
$$\varphi = \frac{w \text{ Coul}}{q \text{ Kulon}}$$

Elektrik potensialının azalması və ya ona bərabər qiymətdən potensiallar fərqi dövrə hissəsinin *elektrik gərginliyi*, yaxud sadəcə olaraq *gərginlik* adlanır. Dövrə hissəsinin gərginliyi, mənbə tərəfindən 1 Kulon elektrik miqdarını verilmiş dövrə hissəsində hərəkət etdirmək üçün sərf olunan elektrik enerjisi ölçüsüdür.

Verilmiş dövrə hissəsində (şəkil 1.2) gərginlik üçün belə yazmaq olar:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1,2}}{q}$$

burada φ_1 və φ_2 —1 və 2 nöqtələrinin potensialları;



Şəkil 1.2. E.h.q. olmayan dövrə hissəsi.

q —köçürülən yükün miqdarı; $A_{1,2} - q$ yükünü 1 nöqtəsindən 2 nöqtəsinə köçürmək üçün əvərlən işdir.

Əgər q yükü tam dövrəüzrəhərəkət etdirilərkən mənbə V qədər iş görməlidir, 1 Kulon yükü hərəkət etdirmək üçün mənbənin gördüyü iş onun e. h. q.-nə bərabər olar:

$$E = \frac{A}{q}$$

Deməli, elektrik dövrəsi hissəsindəki e. h. q.-nin burada sərf etdiyi hissəsidir. BS-də iş Coul (C), gərginlik və e. h. q. Volt (V) ilə ölçülür, yəni:

$$[U_{12}] = \frac{[A_{1,2}]}{[q]} = \frac{C}{G} = V$$

və

$$[E] = \frac{[A]}{[q]} = \frac{C}{G} = V$$

Deyilənlərdən aydın olur ki, dövrədən axması enerji sərfi ilə əlaqədardır. Bu

Enerji dövrəyə mənbə tərəfindən çatdırılır və burada başqa növ enerjilərə çevrilir.

1.5. Om qanunları

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

$$I = Ug$$

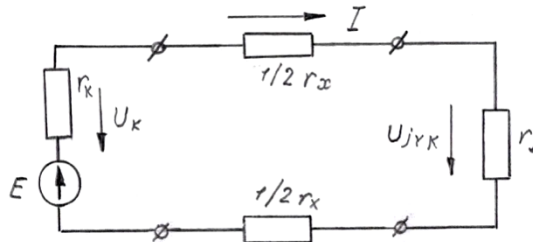
Mütənasiblik əmsalı dövrə hissəsinin keçiriciliyi adlanır. Keçiriciliyin tərs qiyməti

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

kəmiyyətə dövrə hissəsinin müqavimətini təyin edir. Dövrə hissəsi üçün Om qanunu belə ifadə oluna bilər:

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

Qapalı elektrik dövrəsində hər bir element (generatorişlədici, xətt) elektrik müqavimətinə malikdir (şəkil 1.3).



Şəkil 1.3. Budaqlanmayan sabit cərəyan dövrəsi.

Dövrənin ardıcıl birləşmiş bütün elementlərindən cərəyan (I) axacaq. Bu cərəyanın qiyməti mənbənin e. h. q. dövrənin ümumi müqaviməti ilə tərs mütənasibdir:

$$I = \frac{E}{r_g + r_x + r_j} = \frac{E}{r_g + r_{xar}}$$

Burada r_g —generatorun müqaviməti;

r_x —xətt məftillərinin müqaviməti;

r_j —yükün (elektrik işlədiciyəsinin) müqaviməti;

r_{xar} —xarici dövrənin ümumi müqavimətidir.

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

$$1 \text{ Om} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} \left(1 \text{ Om} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \right).$$

$$1 \text{ Simens} = \frac{1 \text{ A}}{1 \text{ V}} \quad (1 \text{ Sim} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}} = \frac{1}{\text{Om}})$$

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

$$E = \dot{I}r_j + \dot{I}r_x + \dot{I}r_g = \dot{I}r_{xar} + \dot{I}r_g$$

Cərəyanla müqavimətin vurma hasilinə, ümumiyyətlə, dövrə hissəsində *gərginlik düşküsü* deyilir. Baxdığımız halla $\dot{I}r_j$ yüklə, $\dot{I}r_x$ xətdə və $\dot{I}r_k$ isə generatorun daxilində gərginlik düşküləridir.

Xarici dövrdə gərginlik düşküsü generatorun sığaclarındakı gərginliyə (U) bərabərdir. Onda bu ifadə belə yazılır:

$$U = E - \dot{I}r_g$$

Bu tənliyə görə mənbənin e. h. q. onun sığaclarındakı gərginlikdən daxili gərginlik düşküsü qədər çoxdur.

1.6. Güclər balansı. Enerketik diaqram

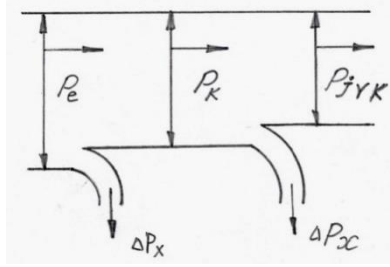
Ən sadə elektrik dövrəsinə baxaq (şəkil 1.4). Yuxarıdakı tənliyin hər tərəfini I cərəyanına vursaq, alarıq:

$$EI = I^2 r_j + I^2 r_x + I^2 r_g$$

EI hasilini mənbənin yaratdığı tam elektrik gücünü P_e ifadə edir. Bu gücün bir hissəsi $\Delta P_g = I^2 r_g$ istilik şəklində mənbənin özündə itir. $P_e - \Delta P_g$ fərqi mənbənin 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 $P_j = I^2 r_j = U_j I$ yük tərəfindən tələb olunur. Baxılan dövrənin güclər balansı əyani olmaq üçün energetik diaqram şəklində verilmişdir.

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



Şəkil 1.4. Ən sadə sadə cərəyan dövrəsinin energetik diaqramı.

1.7. Elektrik dövrəsinin iş rejimləri

Elektrik dövrəsinin və onun elementlərinin mümkün olan iş rejimlərindən ən xarakterik olanları dördür: nominal rejim, yüksüz işləmə (q.q) 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).

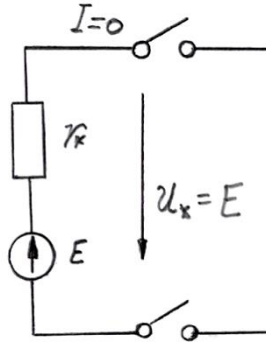
Nominal rejimi təyin edən xarakterik kəmiyyətlər, adətən, quruluşunun pasportunda və yaxud bilavasitə ona bərkidilmiş lövhəcikdə göstərilir. Bu kəmiyyətlər tərkibinə

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 gərginliyə görə təyin edilə bilər:

$$r = \frac{U_n^2}{P_n}$$

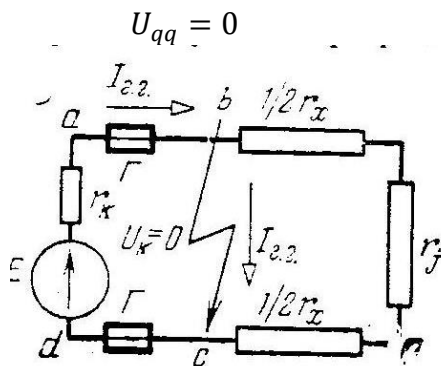
Yüksüz işləmə rejimi. Elektrik dövrəsinin və yaxud onun ayrı-ayrı mənbə və işlədicilərinin cərəyanı sıfırırsa, onun rejiminə *yüksüz işləmə rejimi* deyilir.

Mənbənin yüksüz işləmə rejimindən onun e. h.q.-ni ölçmək üçün istifadə etmək olar. Doğrudan da, mənbənin sıxaclarındakı gərginlik istənilən halda $U = E - Ir_g$, yüksüz işləmədə $I=0$ və $U=E$, yəni mənbənin sıxaclarında yüksüz işləmə onun e. h. q.-nə bərabərdir (şəkil 1.5).



Şəkil 1.5. Mənbənin yüksüz işləmə rejimi.

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 verib, deyirlər. Qısaqapanma, adətən, cərəyan keçirən hissələrin izolyasiyasının zədələnməsi nəticəsində baş verir. Qısaqapanma rejimi qısaqapanmış hissədə gərginliyin sıfır olması ilə xarakterizə edilir:



Şəkil 1.6. Mənbənin qısaqapanma rejimi

Generatorun sıxaclarında qısaqapanma baş verərsə, xarici və generatorun cərəyanı ən böyük qiyməti alar:

$$I_{qq} = \frac{E}{r_g}$$

Bu, 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. 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:

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

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

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

Buradan $r_x = r_{xar}$ alırıq. Bu münasibət maksimal gücün alınma şərtidir [ikinci törəm $(\frac{d^2p}{dr_{xar}^2} < 0)$].

r_{xar} -nin istənilən qiymətində faydalı iş əmsalı

$$r_f = \frac{I^2 r_{xar}}{I^2 (r_g + r_{xar})} = \frac{1}{\frac{r_g}{r} + 1}$$

Əlaqələndirilmiş iş rejimi zamanı

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

Ən böyük verilən güc

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

Əlaqələndirilmiş iş rejimindən radio elektronika sxemlərində geniş istifadə edilir.

1.8. Cərəyanın istilik effekti

Elektrik cərəyanının keçiricidən keçməsi hadisəsi həmişə müəyyən iş görülməsi hadisəsi ilə əlaqədardır. Hər bir dövrdə enerjinin müəyyən hissəsi müqavimətin qarşısını almağa sərf olunur. Bu enerji elektronların keçməsi zamanı əmələ gələn istilənmə şəklində meydana çıxır.

1844-cü ildə rus akademiki Emil Xristianovic Lens (1804—1865) həmin hadisəni təcrübələr vasitəsi ilə kəşf etmiş. Lensdən əlavə bu məsələ ilə inkilis alimi Coul da məşğul olmuşdur. Ona görə də cərəyanın verdiyi istilik effektinin riyazi ifadəsinə Çoul—Lens qanunu deyilməkdədir.

Bu qanuna belə tərif verilir: keçiricidən keçən cərəyan tərəfindən yaradılmış istilik miqdarı cərəyan şiddətinin kvadratı,

keçiricinin müqaviməti və cərəyanın təsir müddəti ilə düz mütənasibdir, yəni

$$q = krI^2t$$

burada q —kalori vahidi ilə əmələ gələn istiliyin miqdarı;

I-ampere vahidi ilə keçiricidən keçən cərəyanın şiddəti;

r-Om vahidi ilə keçiricinin müqaviməti;

t -saniyə hesabı ilə cərəyanın təsir müddətidir.

Düstura daxil olan k —mütənasiblik əmsalındır. Aparılan müşahidə və ölçmələr göstərmişdir ki, cərəyan şiddəti— Amper, müqavimət - Om və zaman - saniyə vahidi ilə ölçüldükdə, k mütənasiblik əmsalını bir Amper cərəyan şiddətinin bir Om müqavimətdə bir saniyədə yaratdığı istilik miqdarını göstərir və 0,24 *Kal-yə* bərabər alınır. Beləliklə, Çoul—Lens qanunu şəklində yazılır.

$$q = 0,24 rI^2t$$

Dövrədən keçən I cərəyan şiddəti dəyişən olduqda, alınan istilik miqdarı

$$q = 0,24 \int ri^2 dt$$

ifadəsindən tapılır.

Cərəyandan əmələ gələn istilik cərəyan keçirən məftilləri qızdırır. Bu hadisə həm məftillərin izolyasiyası üçün təhlükəlidir, həm də çox enerji itkisinə səbəb olur. Odur ki, bütün cərəyan keçiricilərini istilənməyə görə hesablamaq lazımdır. Belə hesablamanın məqsədi, yolverilən temperatur şəraitində məftillərdən yolverilən cərəyanları təyin etməkdir. Qeyd etmək lazımdır ki, yolverilən maksimal temperatur rezin izolyasiyalı məftillər üçün 55°S və kabellər üçün 65°S qəbul edilmişdir.

Cərəyan keçən keçiricidə yüksələn istilik dərəcəsi əmələ gələn istiliyin miqdarından, keçiricinin istilik tutumundan və soyuma şəraitindən asılıdır.

Praktiki hesablamalarda, keçiricinin temperaturunu təyin etmək üçün yol verilən cərəyan sızılığı anlayışından istifadə edilir. Yol verilən cərəyan sızılığının qiyməti elə olmalıdır ki, cərəyanın buna uyğun qiymətində keçirici həddindən artıq qızmasın. Yol verilən cərəyan sızılığı müxtəlif cinsli keçiricilər üçün müxtəlif təcrübə və yoxlamalar yolu ilə təyin edilir və uyğun cədvəllərdə qeyd olunur.

Keçiricinin istilik hesablanmasını göstərək. Keçiricidə bir saniyədə yaranan istilik miqdarı

$$q = 0,24 r I^2$$

və burada $r = \rho \frac{l}{s}$ nəzərdə tutmaqla

$$r = 0,24 \rho \frac{l}{s} I^2$$

alınır. Bu tənliyin hər iki tərəfini, keçiricinin həcminə ($v = sl$) bölsək, vahid həcmli keçiricidə bir saniyədə alınan istilikmiqdarını tapmış olarıq:

$$q_0 = 0,24 \rho \delta^2$$

Beləliklə, vahid həcmdə vahid zamanda əmələ gələn istilik miqdarı, keçiricinin xüsusi müqaviməti və cərəyanın sızılığı kvadratı ilə düz mütənasibdir.

Bir məftildən keçən cərəyan ilə o məftildə əmələ gələn istilik dərəcəsi arasındakı asılılıq aşahıdakı qayda ilə hesablanır. Vahid zamanda məftildə əmələ gələn istilik miqdarı

$$q = 0,24 \rho \frac{l}{s} I^2$$

və vahid zamanda məftilin yan səthindən xarici mühitə verilən istilik

$$q = kS\tau$$

burada k —istilik vermə əmsalındır (qiyməti $1 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Vt/}^\circ\text{S sm}^2$);

S — məftilin yan silindrik səthi;

$\tau = \tau_2 - \tau_1$ məftil ilə xarici mühitin temperaturları fərqi . .

Həmin temperaturlar fərqi üçün müəyyən və sabit bir qiymətində cərəyandan əmələ gələn istilik miqdarı ilə xaricə verilən istilik miqdarı bir-birinə bərabərləşir. Bu hal üçün alınan

$$0,24\rho \frac{l}{S} I^2 = kS(\tau_2 - \tau_1)$$

tənliyində $s = \frac{\pi d^2}{4}$ qiymətlərini yerlərinə qoyduqda

$$0,24\rho \frac{4l}{\pi d^2} = k\tau dl$$

Həmin tənliyi məftilin d diametrinə nəzərən həll etməklə

$$d^3 = \frac{0,96\rho}{\pi^2 k\tau} I^2$$

və bütün sabitləri C ilə işarə etməklə, məftilin d diametri ilə keçən I cərəyanı arasındakı əlaqəni alırıq:

$$d^3 = CI^2$$

Bu düsturun mənası o deməkdir ki, məftilin diametri ilə ondan keçən cərəyan arasındakı asılılıq düz mütənasibliyə deyildir. Beləki, məftillərin diametri artdıqca onlardan keçən cərəyan sıxlığı azalmalıdır.

1.9. Müqavimətləri ardıcıl birləşmiş dövrələr

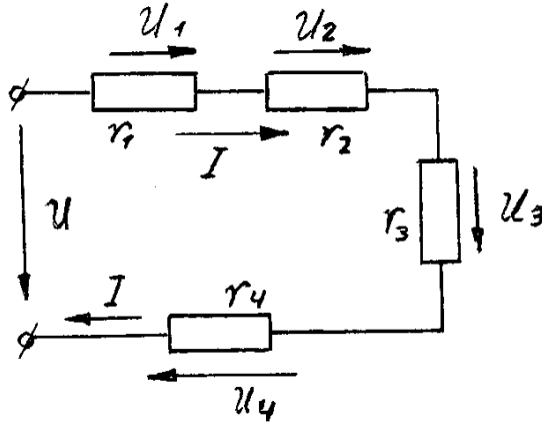
Əgər elektrik dövrəsi ardıcıl birləşmiş r_1, r_2, r_3, r_4 müqavimətli hissələrdən ibarətdirsə (şəkil 1.7), onda bütün hissələrdən eyni cərəyan keçəcək. Belə dövrəni hesablamaq üçün *ekvivalent müqavimətlər metodundan* istifadə etmək olar. Ekvivalent müqavimət elə müqavimətə deyilir ki, onun sxemə

əvəzedici kimi qoşulması dövrənin qalan hissəsində cərəyan və gərginliklərin paylanmasına təsir göstərməsin. Verilmiş ardıcıl birləşmə üçün ekvivalentlik şərti belə yazılır:

$$U = Ir_e = Ir_1 + Ir_2 + Ir_3 + Ir_4$$

buradan

$$r_e = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 \quad \text{və ya} \quad r_e = \sum_{k=1}^n r_k$$



Şəkil 1.7. Ekvivalent əvəz sxemi.

Ardıcıl birləşmə zamanı ekvivalent müqavimət ayrı-ayrı müqavimətlərin cəminə bərabərdir. Yuxarıdakı tənliyi I -ə vursaq

$$UI = Ir_e^2 = I^2 r_1 + I^2 r_2 + I^2 r_3 + I^2 r_4$$

və ya

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

alırıq, yəni dövrənin tələb etdiyi ümumi güc P ayrı-ayrı elementlərin tələb etdiyi güclərin cəminə bərabərdir.

Müqavimətlərdə paralel birləşən 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 (şəkil 1.8). Budaqlanmayan hissədən axan ümumi cərəyan

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \frac{U}{r_3} = \frac{U}{r_e}$$

və ya

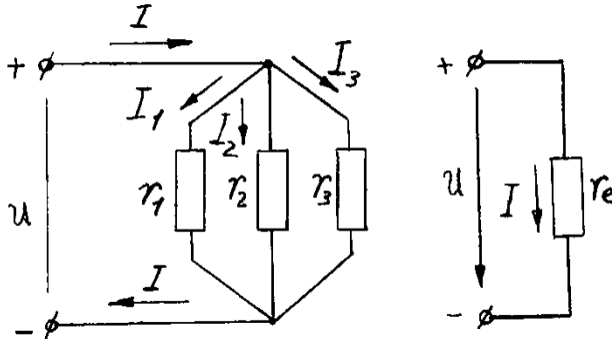
$$I = U g_1 + U g_2 + U g_3 = U g_e$$

buradan

$$\frac{1}{r_e} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

və ya

$$\frac{1}{r_e} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{r_g}, \quad g_e = \sum_{k=1}^n g_k$$



Şəkil 1.8. Budaqlanan sabit cərəyan dövrəsi.

Əgər iki müqavimət r_1 və r_2 paralel qoşulubsa, onların ekvivalenti:

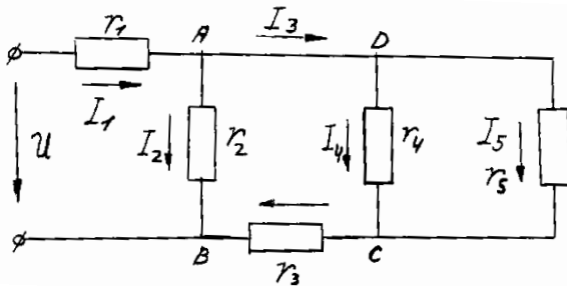
$$r_e = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

olar. Müqavimətlər eynidirsə, yəni $r_1 = r_2 = r_3 = \dots r_n = r$, onda ekvivalent müqavimət aşağıdakı kimi olar:

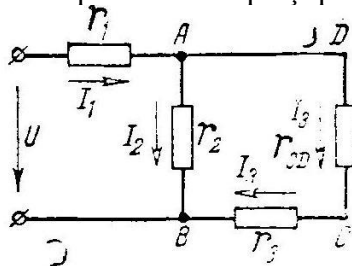
$$r_e = \frac{r}{n}.$$

Bir qidalandırıcı mənbəli, müqavimətləri qarışıq birləşmiş dövrələrin hesabı. 1.9-cu şəkildə belə dövrəyə misal göstərilmişdir. Bu dövrədə mənbə gərginliyi və dövrə elementləri parametrlərinin verildiyi şəraitdə cərəyanların paylanmasını ekvivalent müqavimətlər metodu ilə təyin etmək olar. Belə ki, r_4 və r_3 müqavimətləri paralel birləşib və onları bir ekvivalent müqavimətlə əvəz etmək olar:

$$r_{CD} = \frac{r_4 \cdot r_3}{r_4 + r_3}$$



Şəkil 1.9. Müqavimətlərin qarışıq birləşməsi.

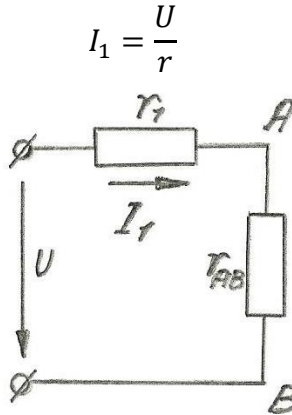


Şəkil 1.10. Ekvivalent əvəz sxemi.

Bundan sonra sxem bir qədər sadələşib, 1.10-cu şəkildəki kimi olur. Öz növbəsində r_3 və r_{CD} müqavimətləri ardıcıl və onların ekvivalenti r_2 , müqaviməti ilə paralel bahlanmışdır. Hər iki budağın ekvivalent müqaviməti

$$r_{AB} = \frac{r_2(r_3 - r_{CD})}{r_2 + r_3 + r_{CD}}$$

r_{AB} müqaviməti r_1 ilə 1.10-cu şəkildən görüldüyü kimi ardıcıl bahlanmışdır. Bu sxemin tam müqaviməti $r = r_1 + r_{AB}$ başlanğıc sxemin ümumi cərəyanını təyin etməyə imkan verir:



Şəkil 1.11. Sadələşdirilmiş ekvivalent sxemi.

Bundan sonra 1.12-ci şəkildəki sxemə qayıdıb AB hissədəki gərginliyi $U_{AB} = I_e r_{AB}$ və 8-ci şəkildəki 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 düşküsi

$$U_{CD} = I_3 r_{CD}$$

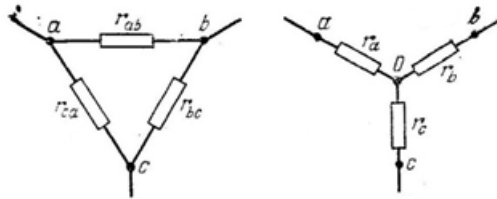
r_4 və r_3 budaqlarındakı cərəyanlar;

$$I_4 = \frac{U_{CD}}{r_4}; I_5 = \frac{U_{CD}}{r_3}$$

Bununla da dövrə hesablanmış oldu.

Müqavimətlərin üçbucaq birləşməsinin ekvivalent ulduz birləşməsinə cevrilməsi. Elektrik dövrlərini hesabladıqda müqavimətlərin qapalı kontur təşkil edən üçbucaq birləşməsinə rast gəlirik.

Belə halda dövrəni sadələşdirməkdən ötrü müqavimətlərin üçbucaq birləşməsindən ulduz birləşməsinə keçirlər (şəkil 1.12).



Şəkil 1.12. Müqavimətlər üçbucağının ekvivalent ulduza cevrilməsi.

Belə çevirmə ekvivalent olmalıdır, yəni dövrənin a və b , b və c , c və a nöqtələri arasındakı müqavimətləri hər iki birləşmədə eyni olmalıdır:

$$\frac{r_{ab}(r_{bc} + r_{ca})}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} = r_a + r_b$$

$$\frac{r_{bc}(r_{ca} + r_{ab})}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} = r_b + r_c$$

$$\frac{r_{ca}(r_{ab} + r_{bc})}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} = r_c + r_a$$

Bu tənlikləri r_a , r_b və r_c üçün həll etsək, alarıq:

$$\left. \begin{aligned} r_a &= \frac{r_{ab} \cdot r_{ca}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} \\ r_b &= \frac{r_{bc} \cdot r_{ab}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} \\ r_c &= \frac{r_{ca} \cdot r_{bc}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} \end{aligned} \right\}$$

Üç şüalı ulduzdan ekvivalent üçbucağa keçdikdə r_{ab}, r_{bc} və r_{ca} belə ifadə olunur:

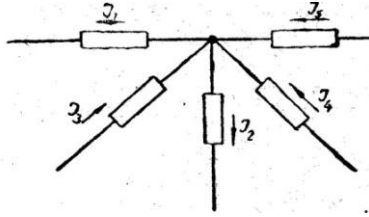
$$\left. \begin{aligned} r_{ab} &= r_a + r_b + \frac{r_a \cdot r_b}{r_c} \\ r_{bc} &= r_b + r_c + \frac{r_b \cdot r_c}{r_a} \\ r_{ca} &= r_c + r_a + \frac{r_c \cdot r_a}{r_b} \end{aligned} \right\}$$

Qeyd etmək lazımdır ki, bu çevrilmələr yalnız passiv üçbucaq və ulduz hallarında aparıla bilər.

1.10. Kirxhof qanunları

Budaqlanmamış dövrlərdə cərəyan şiddəti, dövrənin hər bir hissəsində eyni qiymətdə qalır. Cərəyan şiddətinin belə dəyişməməsi göstərir ki, dövrdə elektrik miqdarı itmir, yəni hər bir momentdə dövrənin müəyyən nöqtəsinə gələn elektrik miqdarı, həmin nöqtədən çıxan elektrik miqdarına bərabər olur.

Budaqlanmış dövrlərdə isə qolların müqavimətləri müxtəlif olduğu üçün ayrı-ayrı qollardan keçən cərəyanlar cürbəcür olur. Lakin bu qolların birləşdiyi düyün nöqtəsinə gələn elektrik yüklərinin cəmi, həmin nöqtədən çıxan elektrik yüklərinin cəminə bərabər olur (şəkil 1.13).



Şəkil 1.13. Düyün nöqtəsinin təsviri.

Kirxhofun birinci qanunu, cərəyanın dövrlərdə itməməsi xassəsini isbat edir və belə ifadə olunur. Düyün nöqtəsinə gələn cərəyanların cəmi, həmin nöqtədən çıxan cərəyanların cəminə bərabərdir.

13-cü şəkildə göstərilən düyün nöqtəsi üçün bu qanunun riyazi ifadəsi

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

və ya ümumiləşdirilərək bütün dövrlər üçün

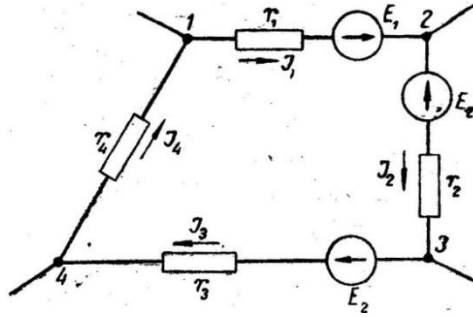
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

şəklində olur.

Kirxhofun birinci qanunu çox vaxt müstəqil tətbiq olunabilmir. Odur ki, bu qanunu həmişə Kirxhofun ikinci qanunu ilə birlikdə tətbiq edirlər.

Kirxhofun ikinci qanununa gəldikdə bu qanun mürəkkəb dövrlərdə gərginliklərin paylanması, təyin edir, həmin qanunu tətbiq etmək üçün mürəkkəb dövrəyə aid bir qapalı kontur nəzərə alaraq (şəkil 1.14).

Konturun qollarından keçən $I_1, I_2, I_3 \dots I_n$ cərəyanlarını Om qanununa əsasən təyin edək:



Şəkil 1.14. Qapalı konturun sxemi.

$$I_1 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_1}{r_1}; \quad I_2 = \frac{\varphi_2 - \varphi_3 - E_2}{r_2};$$

$$I_3 = \frac{\varphi_1 - \varphi_4 + E_3}{r_3}; \quad I_4 = \frac{\varphi_4 - \varphi_3}{r_4};$$

Bu tənliklərdən müvafiq gərginlik düşkünləri belə tapılır:

$$r_1 I_1 = \varphi_1 - \varphi_2 + E_1;$$

$$r_2 I_2 = \varphi_2 - \varphi_3 - E_2$$

$$r_3 I_3 = \varphi_3 - \varphi_4 + E_3$$

$$r_4 I_4 = \varphi_4 - \varphi_1$$

Burada φ -lər uyğun düyün nöqtələrinin potensiallarıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, cərəyanların istiqaməti əvvəlcədən bizə məlum olmadığı üçün, onları özümüz təxmini olaraq nişanlayırıq. Cərəyanlar üçün qəbul edilmiş bu təxmini istiqamətlərin düzgün olub-olmadığı sonradan, tənliklərin həllindən alınan işarələrdən, bilinəcəkdir, işarəsi mənfi alınan cərəyanın istiqaməti əvvəlcədən düzgün seçilməmişdir, o istiqaməti əksinə çevirmək lazımdır.

Yuxarıdakı tənlikləri tərəf-tərəfə toplayıb

$$E_1 - E_2 + E_3 = r_1 I_1 + r_2 I_2 + r_3 I_3 + r_4 I_4$$

alırıq. Ümumi halda isə

$$\sum_{i=1}^n E_1 = \sum_{i=1}^m (rl)i$$

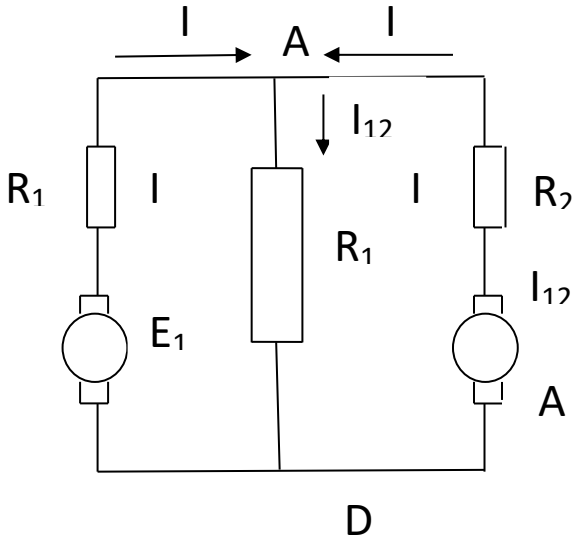
ifadəsi alınır ki, bu da Kirxhofun ikinci qanunudur. Bu tənliyə çox vaxt qapalı dövrədə -gərginliklərin tarazlıq tənliyi deyilir.

Kirxhofun ikinci qanununa belə tərif verə bilərik: **Qapalı** konturda təsir edən e.h.q.-lərin cəbri cəmi, həmin konturdakı gərginlik düşkünlərinin cəbri cəminə bərabərdir.

Bu **qanun** qapalı konturda gərginliklərin paylanmasını təyin etmək işində **olduqca** əhəmiyyətli rol **oynayır**.

1.11. Mürəkkəb dövrlərin hesablanması

İçerisində bir neçə düyün nöqtəsi və qapalı konturlar olan çox mənbəli və çox işlədicili dövrlərə qarışıq dövrlər deyilir. Belə dövrləri hesablamaqdan məqsəd, onların müxtəlif hissələrində gərginlik və cərəyanların paylanmasını tapmaqdır



Şəkil 1.15. İki konturlu dövrənin sxemi.

Bu məqsəd üçün haqqında tanışdığımız, Om və Kirxhof qanunlarını işlətmək bəzən o qədər də əlverişli olur.

Belə dövrləri hesablamaq üçün Om və Kirxhof qanunlarına əsasən qurulmuş bir necə hesablama metodu tapılmışdır. Bunlardan ən çox işlədiləni kontur cərəyanları metodu, düyün potensialları metodu və qondarma *metodudur*.

1. Kontur cərəyanları metodu. Kirxhof qanunlarına əsasən çoxmürəkkəb dövrləri hesablamaq çətin olur. Belə hallarda **Kirxhofun iki** qanununu birləşdirib yeni bir hesablama metodu almaq daha məsləhətdir. Məsələn, 1.15-ci şəkildə verilmiş sxemin I konturundan ötrü yazılan

$$\begin{aligned} I_{12} &= I_1 + I_2 \\ E_1 &= r_1 I_1 + r_{12} I_{12} \end{aligned}$$

tənliklərini birləşdirməklə

$$E_1 = r_1 I_1 + r_{12}(I_1 + I_2) = (r_1 + r_{12})I_1 + r_{12}I_2$$

ifadəsini alırıq. Bu işi bütün konturlar üçün etmək mümkün olduğundan, yuxarıdakı tənliyi ümumiləşdirməklə aşağıdakı ifadəni ala bilərik:

$$E_k = r_{xx}I_k + r_{ik}I_i$$

burada E_k və I_k —istənilən konturun e. h. q. və cərəyanı;

r_{xx} —həmin konturun tam müqaviməti;

I_i —qonşu konturun cərəyanı;

r_{ik} —iki qonşu kontur arasında əlverişli hissənin müqavimətidir.

Belə tənlik həmin üsul ilə II kontur üçün də alınır:

$$E_2 = r_2 I_2 + r_{12}(I_1 + I_2) = (r_2 + r_{12})I_2 + r_{12}I_1$$

Hər iki kontur üçün aldığımız tənlikləri 28-ci tənlik şəklinə gətirməklə onlar üçün alınır.

$$E_1 = r_{11}I_1 + r_{21}I_2$$

$$E_2 = r_{22}I_2 + r_{12}I_1$$

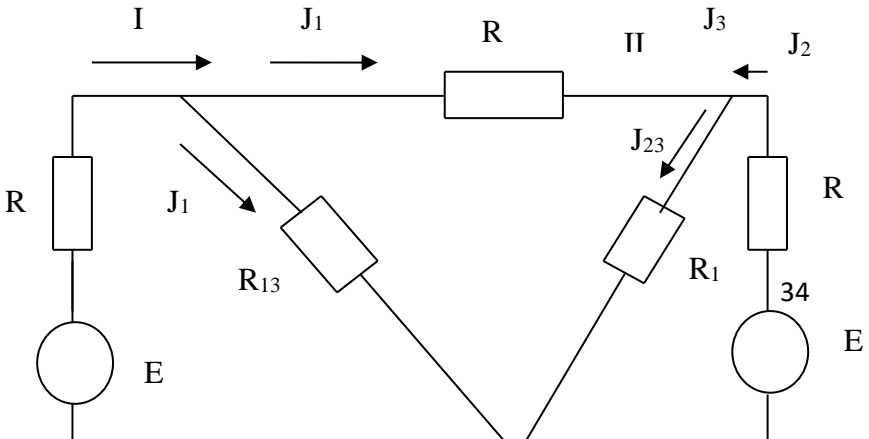
Hər iki kontur üçün tapılan tənliklərə əsasən belə bir ümumi nəticəyə gəlmək olur. Kontur cərəyanları metodu üzrə qurulan tənliklərin sayı qapalı və müstəqil konturların sayına bərabərdir.

Hər bir konturun tənliyində sol tərəfdə konturda olan e. p. q.-lərinin cəbri cəmi, sağ tərəfdə isə kontur cərəyanı ilə konturun tam müqavimətinin (r_{11} və ya r_{22}) vurma hasilini plus və ya minus qonşu konturun cərəyanı ilə aradakı müştərək müqavimətin vurma hasilini verir. Burada olan müsbət və mənfi işarələri, cərəyanların istiqamətlərindən asılıdır. Cərəyanlar müştərək qolda (r_{12}) toplanacaq istiqamətdə olduqları vaxt işarə müsbət olur. Belə hesablama metoduna kontur cərəyanları metodu deyilir.

2. Düyün potensialları metodu. Daha mürəkkəb dövrlərdə qapalı konturların sayı çox alınır. Bu səbəbdəndə belə dövrlərin hesablanması üçün kontur cərəyanları metodunun tətbiqi müəyyən dərəcədə çətinliktərədir. Çünki bir yerdə həll olunacaq tənliklərin sayı çox alınır.

Tənliklərin sayını azaltmaq üçün həmin düyün potensialları metodundan istifadə olunur. Bu metodun əsasını Kirxhofun birinci qanunu və Om qanunu təşkil edir.

Tutaq ki, hesablanmaq üçün 1.15-ci şəkildə göstərilmiş sxem verilmişdir. Burada E_1 və E_2 e. p. q.-li iki mənbə və $r_1, r_2, r_3, r_{13}, r_{23}$ kimi beş müqavimət vardır, cərəyanlara ixtiyari istiqamətlər verilir, düyünlər və konturlar müəyyən edilir



Şəkil 1.16. Üç konturlu mürəkkəb dövrənin sxemi.

Düyünlərdən birinin potensialı məlum olmalıdır ki, digər düyünlərin potensialları ona nəzərən tapıla bilsin. Odur ki, düyünlərdən birini yerlə birləşmiş hesab edək (misal üçün *III* düyünü). O biri düyünlərin potensialını uyğun olaraq φ_1 və φ_2 ilə işarə edək.

Hesablama dusturunu çıxarmaq üçün I və II nöqtələrindən ötrü Kirxpofun birinci qanunu yazılır:

$$I_1 = I_3 + I_{13} \quad \text{və} \quad I_2 = -I_3 + I_{23}$$

Sonra ayrı qollardan keçən cərəyanlar üçün Om qanunu tətbiq edilir.

$$I_1 = \frac{0 - \varphi_1 + E_1}{r_1} I_{13} = \frac{\varphi_1 - 0}{r_{13}}$$

$$I_2 = \frac{0 - \varphi_2 + E_2}{r_2} I_{23} = \frac{\varphi_2 - 0}{r_{23}}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r_2}$$

Bu qiymətləri yuxarıdakı tənliklərdə yerlərinə yazdıqdan və alınan ifadələri φ_1 və φ_2 -yə nəzərən həll etdikdən sonra aşağıdakı sistem tənliklər alınır:

$$\varphi_1(g_1 + g_2 + g_{13}) - \varphi_2 g_3 = E_1 g_1$$

$$\varphi_2(g_2 + g_3 + g_{23}) - \varphi_1 g_3 = E_2 g_2$$

burada g -lər müqavimətlərin tərs qiymətləri keçiriciliklərdir. Mötərizələrdə olan kəmiyyətlər müvafiq surətdə

$$g_{11} = g_1 + g_2 + g_{13}$$

$$g_{22} = g_2 + g_3 + g_{23}$$

işarə olunur və düyünlərin xüsusi keçiricilikləri adlanır. Beləliklə, düyün potensialları üçün

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 g_{11} - \varphi_2 g_{12} &= E_1 g_1 \\ \varphi_2 g_{22} - \varphi_1 g_{21} &= E_2 g_2 \end{aligned} \right|$$

tənlikləri qurulmuş olur.

Burada $g_{12} = g_{21} = g_3$ hər iki düyünü birləşdirən qolun keçiriciliyidir. Düyün tənliyinin quruluşu belədir: tənliyin sol tərəfində düyün potensialı ilə düyünün xüsusi keçiriciliyinin hasilı, minusdigərəlaqədar düyünün potensialı ilə birləşən qolun keçiriciliyinə hasilı, sağ tərəfində isə düyünlə əlaqədar qollar üzərində olan e. h. q. ilə həmin qolun keçiriciliyinin hasilı durmalıdır.

Düyün potensialları φ_1 və φ_2 tapıldıqdan sonra yenidən Om qanunu tənliklərinə qayıdıb cərəyanları tapmaq mümkündür.

1.12. Cərəyanın işi və gücü

Uclarında φ_1 və φ_2 potensiallar olan bir dövrəhissəsini nəzərdən keçirək. Bu hissə qapalı bir dövrənin parçası isə, o zaman yəqin ki, bunun icərisindən t zamanında q elektrik miqdarı keçəcəkdir.

Yuxarıdan məlumdur ki, keçiricidən vahid elektrikyükü keçədiyi zaman ($\varphi_1 - \varphi_2$) qədər iş görülür.

Keçiricidən keçən yükün miqdarı q olduqda isə görülən iş q qədər çox, yəni

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

olur.

Buradan gərginlik və elektrik miqdarının aşağıdakı qiymətlərini

$$U = \varphi_1 - \varphi_2; \quad q = It$$

yerlərinə qoymaqla görülən iş üçün

$$A = UIt \quad \text{və ya} \quad A = rI^2t$$

alırıq. Həmin ifadə dəyişən cərəyan dövrləri üçün

$$A = \int uidt \quad \text{və ya} \quad A = \int ri^2dt$$

kimi alınır:

Yuxarıdakı düsturdan görünür ki, cərəyanın gördüyü iş gərginlik ilə cərəyanın və təsir müddətinin vurma hasilinə bərabərdir.

İşin vahidini almaq üçün dövrənin uçları arasındakı potensiallar fərqi 1 V götürüb, dövrdən bir sanədə 1 A cərəyan keçirməliyik. Belə halda görülən iş vahidə bərabər olur və Co u l adlanır.

Elektrik işinin tənliyindən istifadə edərək, böyük praktiki əhəmiyyəti olan elektrik gücü ifadəsini də tapmaq mümkündür. Güc, vahid zamanda görülən işə deyildiği üçün

$$P = \frac{A}{t}$$

və ya

$$p = \frac{dA}{dt}$$

kimi ifadə olunur.

Gərginlik 1 Volan dövrdən 1 A cərəyan şiddəti keçər, belə dövrdə 1 Vatt (Vt) və ya $1 \text{ Volt-Amper (VA)}$ güc əmələ gələr, bu isə bir $\text{Coul/saniyə (C/san.)}$ deməkdir. Beləliklə,

elektrik gücünün vahidi Vatt və bəzi hallarda isə V o l t-Amper adlanır.

Praktiki ölçmələrdən ötrü, gücün Vatt vahidi və işin Coul vahidi çox vaxt kicik olur. Odur ki, böyük vahidlərlə işləmək lazım gəlir:

$$1 kVt = 1000 Vt$$

$$1 a. q. = 0,736 kVt$$

$$1 kVt = 1 a. q.$$

$$1 kVt \cdot c = 1000Vt \cdot c = 36 \cdot 10 Vt. san.$$

$1 kVt \cdot c$, bir kilovat saat deməkdir. Bu vahid praktikada çox işlədilir və elektrik enerjisi bununla ölçülür.

1.13. Mürəkkəb sabit cərəyan dövrlərinin hesabi

Budaqlanmış sabit cərəyan dövrlərinə mürəkkəb elektrik dövrləri deyilir. Bu dövrlərin analizi və hesabı üçün universal metod Kirxhof qanunlarının bilavasitə tətbiqi metodudur. Düyün nöqtələrinin və qapalı konturların sayı çox olduqda bu metodun tətbiqi çox sayda tənliklərin birəə həll edilməsi lüzumu ilə mürəkkəbləşir. Belə hallarda Kirxhof qanunlarına əsaslanmış başqa metodlardan istifadə etmək məqsədə uyğun olur.

Kirxhof qanunlarının bilavasitə tətbiqi metodu.

Sxemin bütün e. h. q.-ləri və parametrləri verildiyi halda, məchul cərəyanların sayı sxem budaqlarının sayına (m) bərabərdir. Ona görə də məsələni həll etməkdən ötrü tərtib edilmiş müstəqil tənliklərin sayı m olmalıdır.

Kirxhofun birinci qanununa görə yazıla biləcək müstəqil tənliklərin sayını təyin edək. Fərz edək ki, sxem k düyünə malikdir. Düyünlərə gələn cərəyanları müsbət, düyünlərdən çıxan cərəyanları isə mənfi qəbul etsək,

$$\left. \begin{array}{l} A \text{ düyünü üçün: } I_7 + I_8 - I_1 = 0 \\ B \text{ düyünü üçün: } I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ C \text{ düyünü üçün: } I_3 + I_4 - I_5 = 0 \\ D \text{ düyünü üçün: } I_6 - I_2 - I_4 - I_7 = 0 \\ F \text{ düyünü üçün: } I_5 - I_6 - I_8 = 0 \end{array} \right\}$$

Hər bir budaqın cərəyanı tərtib edilmiş tənliklərə müxtəlif işarə ilə iki dəfə daxil olur. Ona görə birinci dörd düyün üçün tənliklərin sol tərəfini toplasaq,

$$I_5 - I_6 - I_8 + (I_1 - I_1) + (I_2 - I_2) + (I_3 - I_3) + (I_7 - I_7) = 0$$

və yaxud $I_5 - I_6 - I_8 = 0$, yəni axırıncı düyün üçün yazılmış tənliyə oxşar olan tənlik alınır.

Belə nəticəyə gəlirik ki, Kirxhofun birinci qanununa əsasən yazılmış müstəqil tənliklərin sayı düyün nöqtələrinin sayından bir əskikdir ($\Theta - 1$).

Tənliklərin çatışmayan sayını $m - (k - 1)$ (bizim halda dördünü) Kirxhofun ikinci qanununa görə qapalı konturlar üçün yazırıq.

Sxemi konturlara bölmək üçün ən sadə konturdan başlamaq və izləmək lazımdır ki, hər sonrakı kontur müstəqil olsun. Bundan ötrü yeni kontura, baxılmış konturlara daxil olmayan heç olmazsa bir yeni budaq daxil olmalıdır.

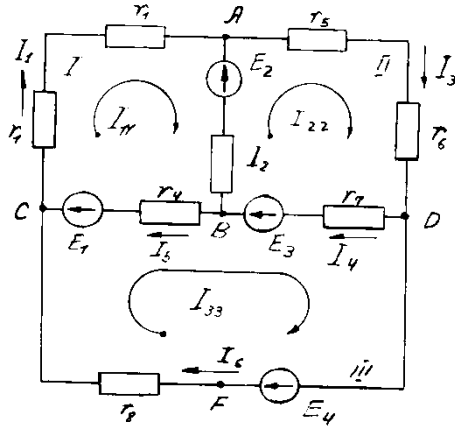
Kontur cərəyanları metodu. Böyük sayda düyün nöqtəsinə malik mürəkkəb elektrik dövrələrini hesabladıqda kontur cərəyanları metodundan istifadə etmək məqsədə uyğundur. Çünki bu metoda görə yazılmış tənliklərin sayı xeyli azalır və Kirxhofun ikinci qanunundakı tənliklərin sayı qədər olur. Tənliklərin sayının azalması hesabı asanlaşdırır.

Bu metodun mahiyyətini 16-cı şəkildəki sxem üçün izah edək. Bu sxem dörd düyünə (A, B, C, D) malikdir. Verilmiş sxemi üç qonşu kontura (I, II, III) ayırırıq. Əgər hər bir konturda özünün kontur cərəyanının (I_{11}, I_{22}, I_{23}) axdığını qəbul etsək,

müştərək budaqlarda axan cərəyanlar iki kontur cərəyanının cəbri cəminə bərabər olar (**AB** budağından axan cərəyan $I_2 = I_{22} - I_{11}$, B budağından $-I_5 = I_{11} - I_{33}$ və DB budağından $-I_4 = I_{22} - I_{33}$).

Ayrı-ayrı konturlara Kirxhofun ikinci qanununu tətbiq etsək, kontur cərəyanları sayda tənlik alarıq:

$$\begin{aligned} E_1 + E_2 &= I_{11}(r_1 + r_2) + (I_{11} - I_{22})r_3 + (I_{11} - I_{33})r_4, \\ E_3 - E_2 &= I_{22}(r_5 + r_6) + (I_{22} - I_{33})r_7 + (I_{22} - I_{11})r_3, \\ E_4 - E_1 - E_3 &= I_{33}r_3 + (I_{33} - I_{11})r_4 + (I_{33} - I_{22})r_7, \end{aligned}$$



Şəkil 1.18. Mürəkkəb dövrə sxemi

Bu tənlikləri daha yığcam şəkildə yazmaq olar:

$$\left. \begin{aligned} E_{11} &= I_{11}r_{11} - I_{22}r_{22} - I_{33}r_{33} \\ E_{22} &= -I_{11}r_{21} + I_{22}r_{22} - I_{33}r_{33} \\ E_{33} &= -I_{11}r_{31} - I_{22}r_{32} + I_{33}r_{33} \end{aligned} \right\}$$

Burada E_{kx}, I_{kx} və $r_{kx} - k - ci$ konturun e. h. q., cərəyanı və müqavimətin; $r_{ki} = r_{ik}$ kvə I konturlarının müştərək budağının müqavimətidir.

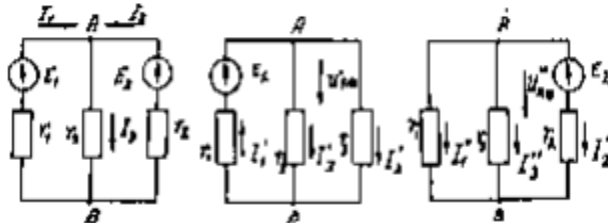
Kontur cərəyanlarını təyin edib, qonşu budaqlardakı cərəyanları tapmaq çətin deyildir.

1.14. Qondarma metodu (superpozisiya)

Qondarma metodu xətti sistemlərdə qüvvələr təsiri müstəqilliyinin fiziki prinsipinə əsaslanmışdır. Bu prinsipə əsasən bir necə e. h. q. olan dövrənin budaqlarından axan cərəyanlar hər bir e.h. q.-nin təklikdə yaratdığı cərəyanların cəbri cəmi kimi təsvir edilir.

Mürəkkəb dövrəni bu metodla hesabladıqda hər birində bir e. h. q. təsir edən e. h. q.-lərin sayı qədər dövrəyə baxırlar. Həmin dövrlərdə cərəyanları hesablayır, sonra bu dövrləri bir-birinin üzərinə qondarmaqla budaqlardan axan həqiqi cərəyanları təyin edirlər.

Bu metodu 1.16-cı şəkiləki sxem üçün izah edək. 1.18-ci şəkilin *b* və *v* sxemlərində e. h. q.-lərin müstəqil təsirləri göstərilmişdir. E.h.q.-nin yaratdığı cərəyanlar



Şəkil 1.19. Qondarma metodunun tətbiqi

$$I_1' = \frac{E_1}{r_1 + \frac{r_2 \cdot r_3}{r_1 + r_2}}, \quad I_2' = \frac{E_1 - I_1' r_1}{r_2}; \quad I_3' = \frac{E_1 - I_1' r_1}{r_3}$$

E.h.q.-nin yaratdığı cərəyanlar isə

$$I_1'' = \frac{E_2}{r_2 + \frac{r_1 \cdot r_3}{r_1 + r_3}}, \quad I_2'' = \frac{E_2 - I_2'' r_2}{r_1}; \quad I_3'' = \frac{E_2 - I_2'' r_2}{r_3}$$

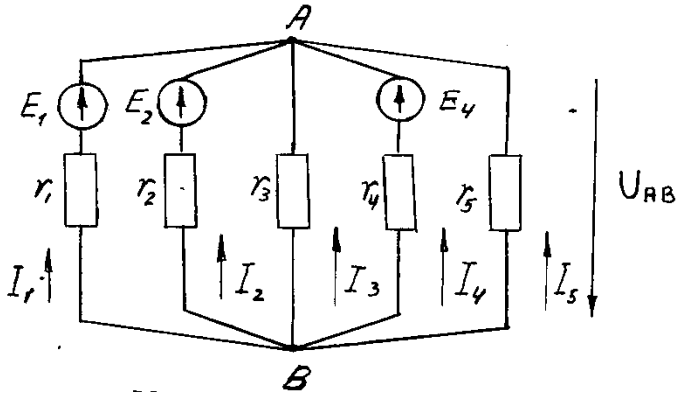
Cərəyanları üst-üstə salmaqla həqiqi cərəyanları təyin edirik:

$$I_1 = I_1' - I_2'', \quad I_2 = I_2' - I_2'', \quad I_3 = I_3' - I_3''$$

Düyüngərginliy metodu. Bu metodu ikidüyünə malik mürəkkəb elektrik dövrlərinə tətbiq etmək məqsədəuyhundur. 1.17-ci şəkildəki sxemə baxaq. Cərəyanların istiqamətini bütün budaqlarda eyni, B düyünündən A-ya doğru qəbul edək. A və B nöqtələri arasındakı gərginliyə U_{AB} düyüngərginliyi deyilir, Kirxhofun ikinci qanununa əsasən

$$E_1 = U_{AB} + I_1 r_1$$

buradan



Şəkil 1.20. Düyün, gərginliyi metodunun tətbiqi.

$$I_1 = \frac{E_1 + U_{AB}}{r_1} = (E_1 - U_{AB})g_1$$

Həmin qayda ilələnən olar:

$$I_2 = \frac{-E_2 - U_{AB}}{r_2} = (-E_2 - U_{AB})g_2$$

$$I_3 = \frac{0 - U_{AB}}{r_2} = (-U_{AB})g_3$$

$$I_4 = \frac{E_4 - U_{AB}}{r_4} = (E_4 - U_{AB})g_4$$

$$I_5 = \frac{0 - U_{AB}}{r_5} = (-U_{AB})g_5$$

Kirxhofun birinci qanununa görə

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0 \text{ və ya}$$

$$(E_1 - U_{AB})g_1 + (-E_2 - U_{AB})g_2 - U_{AB}g_3 + (E_4 - U_{AB})g_4 - U_{AB}g_5 = 0$$

Buradandüyüngərginliyinin düsturunu alırıq:

$$U_{AB} = \frac{E_1g_1 - E_2g_2 + E_3g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5} = \frac{\sum_1^n E_k g_k}{\sum_1^n g_k}$$

K budağı üçün E_k -nin istiqaməti cərəyanın qəbul edilmiş istiqamətinin əksinədirsə, $E_k g_k$ hasilinin işarəsini mənfi götürmək lazımdır.

Düyün gərginliyini yuxarıdakı düstur ilə təyin edib, ayrı-ayrı budaqlardakı cərəyanları $(a) - (F)$ dusturları ilə hesablamaq olar.

Ekvivalent generator metodu. Bəzən təcrübədə müqaviməti dəyişən mürəkkəb dövrənin yalnız bir budahının iş rejimini tədqiq etmək lazım gəlir. Belə hallarda *ekvivalent generator metodu* daha təsirli olur.

Tutaq ki, r_x müqavimətli *ob* budağında I cərəyanının təyin edilməsi tələb olunur (şəkil 1.20). Bu cərəyan sxemin sol tərəfində olan və qırıq-qırıq xətlə çərçivəyə alınmış hissəsindəki e. h. q.-lərin birgə təsirindən yaranır. Sxemin bu hissəsinə aktiv ikiqütblü deyilir və şəkildə iki qütbə malik **A** düzbucaqlısı ilə (şəkil 1.20, **b**) işarə edilir.

Hesablama üçün sxemin sol tərəfini sıxaclarına yük müqavimətə qoşulmuş bir ekvivalent qidalandırıcı mənbə ilə (e.

h. q. E_e və daxili müqaviməti r_e olan) əvəz etmək əlverişlidir. Əgər E_e və r_e kəmiyyətləri məlumdursa. axtarılan cərəyan

$$I = \frac{E_e}{r_e + r_x}$$

düsturu ilə təyin edilir. Həqiqi dövrənin ekvivalent generatorla əvəz edilməsinin mümkünlüyünü isbat edək və onun E_e , r_e parametrlərini tapaq.

Baxılan dövrəni a nöqtəsində qırsaq (şəkil 1.20, v), r_x müqavimətində cərəyan sıfır olar və dövrənin qırılmış hissəsində, a və arasında yüksüz işləmə gərginliyi U_0 yaranar.

Əgər a və b' nöqtələri arasına qiymətcə U_0 gərginliyinə bərabər və istiqamətcə ona əks olan E' e.h.q. qoşsaq (şəkil 1.20, q), r_x müqavimətində cərəyan yenə sıfır olaraq qalacaq.

Dövrəyə əlavə olaraq E' e. h. q.-nə bərabər və əks olan E'' e. h. q.-ni daxil edək (şəkil 1.20). Bu sxem, aydındır ki, ilk sxemə ekvivalent olar və ona görə də r_x müqavimətindən həmin I cərəyanı keçər.

Qondarma prinsipinə əsaslanaraq I cərəyanına:

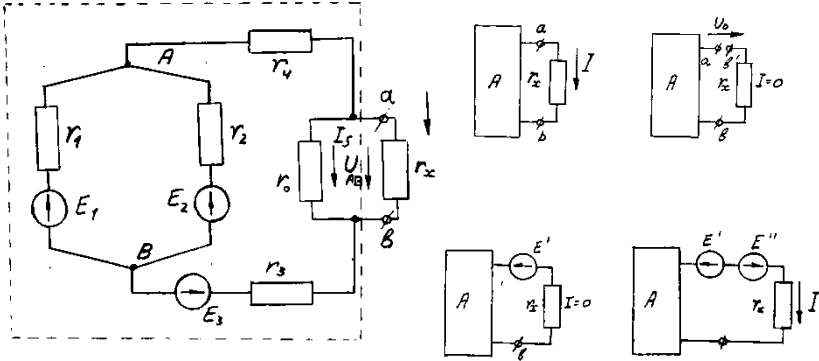
1) birgə təsirindən r_x müqavimətində sıfıra bərabər cərəyan yaradan E_e və E' e. h. q.-lərinin (şəkil 1.20, q);

2) axtarılan cərəyana bərabər cərəyan yaradan $E'' = U_0$ e. h. q.-nin (çünki başqa təsirlər birlikdə sıfırdır, şəkil 1.20, d), müstəqil təsirlərinin nəticəsi kimi baxmaq olar.

1.20-ci d şəkildəki sxem də yalnız E'' e. h. q. təsir göstərir və I cərəyanı belə təyin edilə bilər:

$$I = \frac{E''}{r_e + r_x} = \frac{U_0}{r_e + r_x}$$

Burada r_e ikiqütblünün bütün dövrəsinin nəticəvi müqaviməti olub, *giriş müqaviməti* r_k adlanır və ikiqütblüyə daxil olan e. h. q.-lərin hamısının sıfıra bərabər olduğu şəraitdə təyin edilir. Belə ikiqütblü yə *passiv ikiqütblü* (şəkil 1.20, *d*) deyilir.



Şəkil 1.21. Ekvivalent generator metodunun əsaslandırılması.

Ekvivalent generator metodu ilə hesabat apardıqda, U_0 və r_e -i tapmaq üçün əlavə üsullardan istifadə edilir.

1.20-ci şəklın *a* sxemi üçün U_0 və r_e -nin təyin edilməsi qaydasını göstərək. Əvvəlcə düyün gərginliyi metodu ilə gərginliyini tapırıq:

$$U_{AB} = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3 + r_4 + r_5}}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3 + r_4 + r_5}}$$

r_5 müqavimətindəki cərəyanı təyin edirik:

$$r_5 = \frac{U_{AB} - E_3}{r_3 + r_4 + r_5}$$

Yüksüz işləmə gərginliyi

$$U_0 = I_5 r_5$$

olar.

Passiv ikiqütblünün (*II*) əiriş müqavimətini təyin edək:

$$r_k = r_{AB} = \frac{\left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} + r_3 + r_4\right) \cdot r_5}{\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} + r_3 + r_4 + r_5}$$

r_x - müqavimətinə nəxəncərəyan:

$$I = \frac{U_0}{r_k + r_x}$$

1.15. Kondensatorlu elektrik dövrələri. Dielektriklər

Elektrik sahəsi. Məlum olduğu kimi, elektrik yüklərinin əhatə olunduğu mühitdə *elektrik sahəsi* yaranır. Sahənin varlığı oradakı yüklü hissəciklərə mexaniki təsirin yaranması ilə aşkar edilir.

Elektrik sahəsini xarakterizə edən əsas kəmiyyət elektrik intensivliyi \vec{E} vektorudur.

Kondensatorların ardıcıl və paralel birləşdirilməsi

1. **Paralel birləşdirmə.** Kondensatorların istər paralel, istərsə də ardıcıl birləşdirilməsi onlardan batareyalar təşkil etməyə imkan verir. Tutumları C_1 və C_2 olan iki kondensatoru paralel birləşdirən (şəkil 1.22). Hər bir kondensatoru yükü $q_1 = C_1(\varphi_1 - \varphi_2)$, $q_2 = C_2(\varphi_1 - \varphi_2)$ dusturu ilə hesablanır. Ümumi yük isə aşağıdakı kimi təyin edilir:

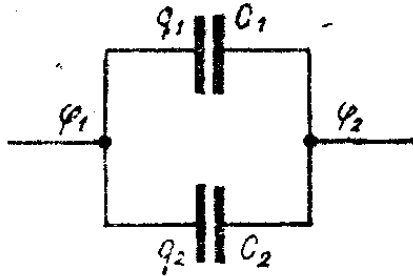
$$q = q_1 + q_2 = C_1(\varphi_1 - \varphi_2) + C_2(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$q = C(\varphi_1 - \varphi_2)$ olduğunu nəzərə alsaq:

$$C(\varphi_1 - \varphi_2) = C_1(\varphi_1 - \varphi_2) + C_2(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Bu ifadənin hər tərəfini $(\varphi_1 - \varphi_2)$ -yə bölsək:

$$C = C_1 + C_2$$



Şəkil 1.22. Kondensatorun paralel birləşdirilmiş sxemi.

Paralel birləşdirilmiş kondensatorlar batareyasının ümumi tutumu ayrı-ayrı kondensatorların tutumları cəminə bərabərdir. Əgər n dənə kondensatoru *paralel* birləşdirsək onda alarıq:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i$$

Bu kondensatorların tutumları eyni

$$(C_1=C_2 = C_3 = \dots = C_n) \text{ olarsa:}$$

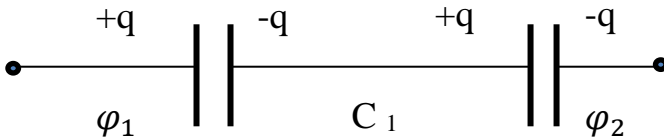
$$C = nC_3$$

Deməli, *paralel birləşdirilmiş n sayda eyni tutumlu kondensatorun yekun tutumu bir kondensatorun tutumunun onların sayına vurma hasilinə bərabərdir.*

2. Ardıcıl birləşdirmə (şəkil 1.23). Kondensatorlar batareyasının ümumi tutumu

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

düsturu ilə hesablanır.



Şəkil 1.23. Kondensatorun ardıcıl birləşdirilməsi.

φ' bir-biri ilə birləşdirilmiş köynəklərin potensialı, φ_1 və φ_2 isə kənar köynəklərin potensialı olsa, ayrı-ayrı kondensator üçün yazıla bilər:

$$C_1 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi'}; C_2 = \frac{q}{\varphi' - \varphi_2}$$

Kondensatorlar

Məlumdur ki, təklənmiş naqılın tutumu kiçik kəmiyyətdir, hətta radiusu Yer kürəsinin radiusuna bərabər olan təklənmiş kürənin tutumu kiçik kəmiyyət olub, təxminən 700 *mkF*-a bərabərdir. Praktikada isə özündə çox yük toplaya bilən böyük tutumlu naqillər sisteminə geniş tələbat olur. Bu məqsədlə *kondensatorlardan* istifadə edirlər.

Kondensator elə iki naqıl sisteminə deyilir ki, onlara qiymətcə bərabər, işarəcə əks yük verdikdə naqillərin birindən çıxan qüvvə xətləri digərində qurtarsın.

Kondensatorların ən sadə növü müstəvi kondensatordur. Müstəvi kondensator, ölçüləri, aralarındakı məsafəyə nisbətən çox böyük olan və bir-birindən nazik dielektrik qatla ayrılmış iki paralel metal müstəvi lövhədən ibarətdir (şəkil 1.23).

Dövrələrin potensiallarını φ_1 və φ_2 ilə işarə etsək, kondensatorun tutumu aşağıdakı düsturla tapılır:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

Kondensatorun yükü dövrələrin birinin yükü ilə təyin edilir. Çünki dövrələrin birini yüklədikdə induksiya nəticəsində digər lövhədə yaranan yük mütləq qiymətcə birinci lövhədəki qədər olur.

Kondensatorun elektrik sahəsi lövhələr arasında toplandığı üçün ətraf cisimlər onun tutumuna təsir etmir.

İlk dəfə Faradey müəyyən etmişdir ki, boş kondensatorun lövhələri arasında dielektrik yerləşdirdikdə onun tutumu dielektrik nüfuzluluğu ε dəfə artır:

$$C = \varepsilon C_0$$

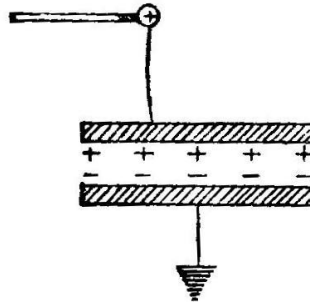
C_0 —boş kondensatorun tutumu, C —lövhələr arasında dielektrik olduqda kondensatorun tutumudur. Buradan tapırıq:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}$$

Təcrübədə C və C_0 -ı ölçərək (2)-dən mühitin dielektrik nüfuzluluğunu hesablamaq olar.

Kondensatorun tutumu onun xətti ölçülərindən asılıdır. Bu asılılığı müəyyən etmək üçün onun hər bir lövhəsinin sahəsini S , lövhələr arasındakı məsafəni d ilə işarə edək. Kondensatorun lövhələrinə müsbət və mənfi yüklə bərabər yüklənmiş müstəvilər kimi baxa bilərik. Bildiyimiz kimi bu cür müstəvilərin hər biri üçün sahə intensivliyi

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon\tau_0}$$



Şəkil 1.24. Kondensatorun yüklənmə sxemi.

Eyni şəraitdə götürülmüş müxtəlif naqilləri eyni miqdarda yüklərlə yüklədikdə onların yerə nisbətən potensialları müxtəlif olur. Radiusu kiçik olan kürənin potensialı böyük

radiuslu kürənin potensialından çoxdur. Deməli, *naqilin elektrik tutumu onun xətti ölçülərindən asılıdır.*

Məlumdur ki, vakuumda təklənmiş və bərabər yüklənmiş R radiuslu kürənin potensialı aşağıdakı düstur ilə hesablanır:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Potensialın bu qiymətini düsturda yerinə yazsaq

$$C = \frac{q}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R}} = 4\pi\epsilon_0 \cdot R$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot R$$

SQSE vahidlər sistemində:

$$\varphi = \frac{q}{R}, \quad C = \frac{q}{q/R} = R, \quad C = R$$

Deməli, vakuumda kürənin tutumu ədədi qiymətcə onun radiusuna bərabərdir.

BS-də tutum vahidi olaraq elə naqilin tutumu götürülür ki, ona 1 Kl yük verdikdə potensialı 1 V artsın. Bu vahidə Farad deyilir: $1\Phi = \frac{1\text{ Kl}}{1\text{ V}}$

Bir Farad elektrik tutumu çox böyük əhəmiyyət olduğundan praktikada pikofarad ($n\Phi$) və mikofaraddan ($mk\Phi$) istifadə edilir: $1mk\Phi = 10^{-6}\Phi$

$$1n\Phi = 10^{-6}mk\Phi = 10^{-12}\Phi$$

Tutumu 1 Φ olan kürənin radiusu Günəşin radiusundan 13 dəfə böyükdür. Yer kürəsinin tutumu 709 $mk\Phi$.

Bu tutumların tərs qiymətlərini toplasaq,

Onda:

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{\varphi_1 - \varphi'}{q} + \frac{\varphi' - \varphi_2}{q} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{q}$$

Bunu yuxarıdakı düsturla müqayisə etsək, alarıq:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Ardıcıl birləşmə zamanı batareyanın tutumunun tərs qiyməti ayrı-ayrı kondensatorların tutumlarının tərs qiymətləri cəminə bərabərdir.

N dənə kondensator ardıcıl birləşdirilsə alarıq:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Əgər $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n$ olarsa:

$$\frac{1}{C} = n \frac{1}{C_1}$$

buradan:

$$C = \frac{C_1}{n}$$

Deməli, ardıcıl birləşdirilmiş n sayda eyni tutumlu kondensatorlar batareyasının yekun tutumu bir kondensatorun tutumunun onların sayına nisbətində bərabərdir.

1.16. Sabit cərəyanlı dövrlərdə qeyri-xətti elementlər

Ümumi məlumat. Dövrə elementindən keçən cərəyanın (I) elementə tətbiq edilmiş gərginlikdən (U) asılılığına $I(U)$ həmin elementin *Volt-Amper xarakteristikası* deyilir.

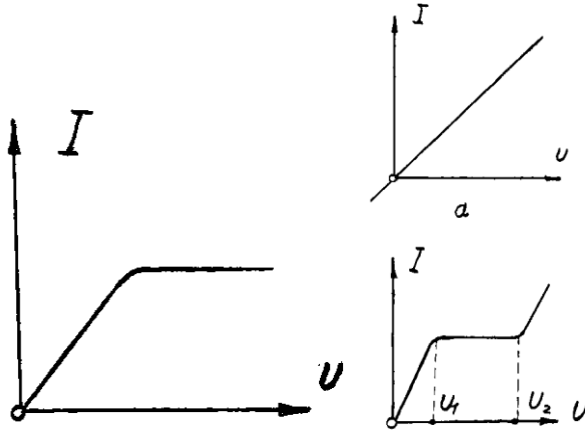
Volt-Amper xarakteristikası düz xətt olan elementlərə xətti, əyri xətt olan elementlərə isə qeyri-xətti elementlər deyilir (şəkil 1.24).

Xətti elementlərdən ibarət dövrlərə **xətti dövrlər** deyilir. Belə dövrə üçün yazılmış tənliklər də xətti tənliklər olur.

Qeyri-xətti element daxil olan elektrik dövrlərinə **qeyri-xətti dövrlər** deyilir.

Bu vaxta qədər baxdığımız dövrlər xətti dövrlər idi.

Müasir elektrik qurğularında (əsasən avtomatik sxemlərinə, hesablayıcı və radiotexniki quruluşlarda) qeyri-xətti müqavimətlərdən (cihazlardan) geniş istifadə edilir.



Şəkil 1.25. Xətti müqavimətin (a), baretterin (b) və iki elektrodlu lampanın (v) Volt-Amper xarakteristikaları

Qeyri-xətti müqavimətlərin ən sadə nümunəsi közərmə lampasıdır, çünki közərən telin müqaviməti temperaturdan və deməli, ondan axan cərəyandan asılıdır.

Müqavimətin qeyri-xəttiliyi özünü daha aşkar şəkildə xüsusi lampada — baretterdə göstərir. Bu lampa hidrogen doldurulmuş balondan və onun icərisində yerləşdirilmiş polad teldən ibarətdir.

Baretterin Volt-Amper xarakteristikasından (şəkil 1.25, b) görünür ki, tətbiq edilmiş gərginliyin U_1 –dən U_2 –yə qədər dəyişməsi zamanı cərəyan çox az dəyişir. Baretterin bu xassəsindən bəsləyici mənbənin gərginliyinin qeyri-sabitliyi zamanı elektrik dövrəsində cərəyanı sabit saxlamaq (stabiləşdirmə) üçün istifadə edilir. Belə lüzum radio texniki qurğularda meydana çıxır.

Bəzi yarımkeçirici materialların müqavimətlərinin qızma temperaturu ilə əlaqədar qeyri-xəttiliyi bu materiallardan ölçü sxemlərində istifadə etməyə imkan verir (məsələn, temperaturu, qaz axınının sürətinin və s. ölçmək üçün).

Texnikada Volt-Amper xarakteristikalarının qeyri-xəttiliyi təkcə temperatur amili ilə deyil, digər amillərlə də əlaqədar olan elementlərdən geniş istifadə olunur. Məsələn, qaz boşalmalı cihazları göstərmək olar. Bunlarda qeyri-xəttilik, alcaq təzyiqdə qazlarda elektrik boşalmasının xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır.

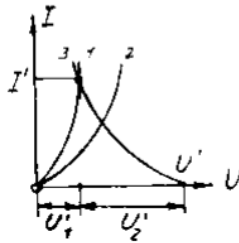
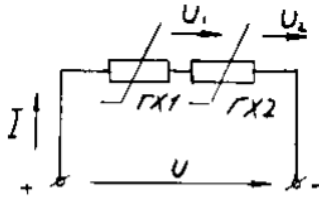
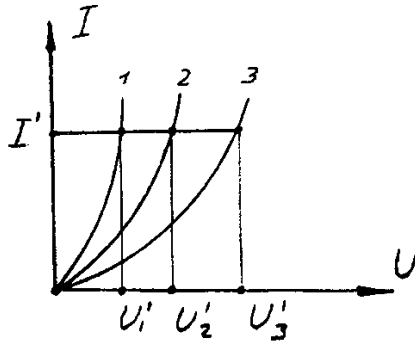
Birtərəfli keçiriciliyə malik qeyri-xətti elementlərdən - elektron lampalarından, yarımkeçirici ventillərdən və s. texnikada geniş istifadə edilir. İkielektrodlu elektron lampasının Volt-Amper xarakteristikası 1.25-ci şəkildə göstərilmişdir.

Qeyri-xətti müqavimətin sadə dövrlərin hesabı. Belə dövrləri hesab etdikdə qeyri-xətti elementlərin Volt-Amper xarakteristikaları verilmiş olur və hesabat Kirxhof qanunlarının tətbiqinə əsaslanmış qrafoanalitik metodla aparılır.

İki qeyri-xətti müqavimətdən $QX1$ və $QX2$ ibarət dövrəyə baxaq (şəkil 1.26, a). Bu müqavimətlərin Volt-Amper xarakteristikaları 1.26-ci b şəklində (1 və 2) göstərilmişdir.

Dövrədən eyni bir cərəyan keçir. Ümumi U gərginliyi U_1 və U_2 gərginliklərinin cəminə bərabərdir. Tətbiq olunmuş gərginliyin verilmiş U qiymətində cərəyanı I təyin etməküçündövrənin nəticəvi Volt-Amper xarakteristikası (əyri 3) qurulmalıdır. Bundan ötrü 1 və 2 əyriələrinin eyni bir cərəyanı uyğun absislərini toplamaq lazımdır. Alınmış qrafikdən istifadə edib, gərgiliyin istənilən U' qiyməti üçün dövrədəki cərəyanın I' qiymətini tapmaq olar. Bu cərəyan qeyri-xətti müqavimətlərdəki U'_1 və U'_2 gərginliklərini müəyyən edir.

Analoji olaraq çoxlu sayda müqavimətlərdən ibarət ardıcıl dövrəni hesablamaq olar. Bu müqavimətlərdən xətti olanlarının Volt-Amper xarakteristikaları koordinat başlanğıcından keçən düz xətlər olacaqdır.

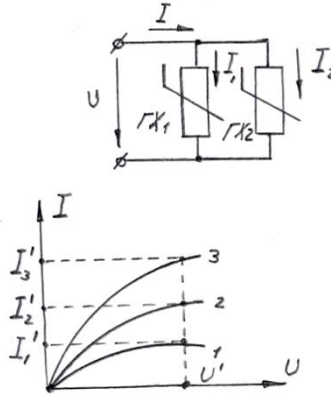


Şəkil 1.26. Qeyri-xətti müqavimətlərin ardıcıl birləşməsi
 Əgər dövrə yalnız iki $QX1$ və $QX2$ müqavimətdən ibarətdirsə və gərginliyin verilmiş bir qiyməti U' üçün cərəyanı tapmaq tələb olunursa, nəticəvi Volt-Amper xarakteristikasını qurmamaq da olar. Bu halda Volt-Amper xarakteristikalarının birinin əvəzinə (məsələn, 2 əyrisi) onun vertikalə nəzərən güzgü əksini—3 əyrisini (şəkil 1.26, *b*) qururlar.

Bu əyrinin koordinat başlanğıcı U' nöqtəsinə köçürülməlidir, 1 və 3 əyriələrinin kəsişdiyi nöqtə dövrədəki

cərəyanın I' qiymətini və eləcə də dövrənin müqavimətlərindəki (U'_1 və U'_2) gərginlikləri təyin edir.

İki və daha çox qeyri-xətti müqavimətlərin paralel birləşməsi zamanı (şəkil 1.26, a) dövrənin budaqlanmayan hissəsindən axan cərəyan ayrı-ayrı budaqlardan axan cərəyanların cəminə bərabərdir.



Şəkil 1.27. Qeyri-xətti müqavimətlərin paralel birləşməsi.

Ona görə bütün dövrənin Volt-Amper xarakteristikasını qurduqda 1 və 2 qrafiklərinin (şəkil 1.26) eyni bir gərginliyə uyğun ordinatlarını toplamaq lazımdır.

Alınmış qrafikdən 3 istifadə edib, gərginliyin istənilən qiyməti U' üçün ümumi cərəyanın qiymətini I' tapmaq olar. Həmin U' gərginliyi budaqlardakı I_1 və I_2 cərəyanlarını da təyin edir.

Qarışıq birləşmə (şəkil 1.27, a) halı üçün hesabı aşağıdakı ardıcılıqla aparırlar:

1) paralel birləşmiş $QX1$ və $QX2$ müqavimətlər bir ekvivalent qeyri-xətti müqavimətlə $QX1,2$ əvəz edilir. Bunun Volt-Amper xarakteristikası $I,2$ (şəkil 1.27, b) I və 2 əyrilərini toplamaqla alınır;

2) alınmış ardıcıl dövrə üçün 1, 2 və 3 əyriələrini toplamaqla 1, 2, 3 nəticəvi Volt-Amper xarakteristikasını alırlar;

3) nəticəvi xarakteristikadan gərginliyin verilmiş qiyməti U' üçün dövrənin budaqlanmayan hissəsindəki I' cərəyanı təyin edirlər.

4) I cərəyanı $U'_{1,2}$ və U'_3 gərginliklərini, $U'_{1,2}$ gərginliyi isə öz növbəsində 1 və 2 qrafiklərindən $QX1$ və $QX2$ budaqlarından axan I_1 və I_2 cərəyanlarını təyin edir.

1-ci fəslə aid yoxlama sualları və məsələlər

1. Elektrik veriliş xətti gərginliyinin qiyməti xətdəki itkilərə necə təsir edir?

2. Dövrə elementlərinin nominal və əlaqələndirilmiş iş rejimləri nə ilə fərqlənir?

3. Qısaqapanma rejiminin nə kimi təhlükəsi vardır və bu rejimdən dövrəni necə mühafizə edirlər?

4. Elektrik işlədiciələrinin paralel birləşdirilməsinin üstünlükləri nədir?

5. E. h. q. $E = 125 V$, daxili müqaviməti $r_k = 0,5 Om$ olan sabit cərəyan generatoru ikiməftilli xətt vasitəsilə $r_{yük} = 10 Om$ müqavimətli, yükü qidalandırır. Xəttin parametrləri: uzunluğu $l = 120 m$, məftilin en kəsiyi sahəsi $S = 10 mm^2$ məftillər misdəndir $\varphi = 0,0175 Om \cdot \frac{mm^2}{m}$. Tapmaq lazımdır: 1) dövrənin I cərəyanını; 2) generatorun sıxaclarında U_g gərginliyini; 3) yükün sıxaclarında $U_{yük}$ gərginliyini; 4) generatorun verdiyi R_g gücünü; 5) yükün tələb etdiyi $P_{yük}$ gücünü; 6) xətdə P_z güc itkisini; 7) generatorun sıxaclarında I_{qq} qısaqapanma cərəyanını; 8) xəttin γ f.i.ə.-nı.

6. 10-cu şəkildə sxemi verilmiş dövrənin parametrləri belədir: $r_1 = 12 Om$; $r_2 = 6 Om$; $r_3 = 3 Om$; $r_4 = 4 Om$; $r_5 = 12 Om$ r_3 -müqavimətindən axan cərəyan $I_3 =$

2 A. Tapmaq lazımdır: 1) dövrənin bütün budaqlarından axan cərəyanları; 2) dövrənin girişindəki U gərginliyi; 3) A və C nöqtələri arasında U_{AC} potensiallar fərqini.

7. Əvvəlki məsələni I_3 əvəzinə $U_{AB} = 12 \text{ V}$ verilməsi halı üçün həll etməli.

8. Paralel müqavimətlərdən axan cərəyanların müqavimətlərin qiymətləri ilə tərs mütənasib paylandığını isbat edin.

9. 110 V gərginliyə hesablanmış 75 və 15 Vt güclü iki közərmə lampası ardıcıl birləşdirib 220 V gərginlikli şəbəkəyə qoşmaq olarmı? Cavabı hesablamalar ilə əsaslandırmaq (lampaların müqavimətlərinin sabit olduğunu qəbul etməli).

10. 220 V-luq 75 və 15 Vt güclü isə közərmə lampasını bir acarla 220 V-luq şəbəkəyə hansı sxem üzrə qoşmaq olar ki, açar olduqda lampalardan biri, bağlı olduqda isə digəri közərib işıq versin? Cavabı hesablamalar ilə əsaslandırmaq (lampaların müqavimətləri sabit qəbul edilir).

11. Nominal gərginliyi 229 V və nominal gücü 800 Vt olan elektrik pilyatəsi 110V gərginlikli şəbəkəyə qoşulmuşdur. Pilyatənin tələb etdiyi gücü tapmaq (pilyatənin müqavimətini sabit qəbul etməli).

12. E. h. q. $E \parallel 110 \text{ V}$, daxili müqaviməti $r_g = 2 \text{ Om}$ olan generatorun sıxaclarına $r_{yük}$ yük müqaviməti qoşulmuşdur. Yük müqavimətinin 20 Om-dan 0-a qədər dəyişməsi üçün dövrənin I cərəyanını, mənbənin sıxaclarında U gərginliyi, yükün tələb etdiyi $P_{yük}$ gücünü, mənbənin f. i. ə.-ni tapmaq. Bu kəmiyyətləri $\frac{r_{yük}}{r_g}$ nisbətindən asılılıq qrafiklərini qurmaq. $\frac{r_{yük}}{r_g} = 1$ olduqda dövrənin hansı rejimi yaranır?

13. Uzunluğu $l = 50 \text{ m}$, en kəsiyi $S = 6 \text{ mm}^2$ olan mis məftilli xəttin sonunda hər birinin gücü 40 Vt-a bərabər yüz on ədəd közərmə lampası qoşulmuşdur. Xəttin sonunda gərginlik nominal qiymətə bərabərdir: $U_g = 220 \text{ V}$. Xətdən axan I

cərəyanını, xəttin əvvəlində U_1 gərginliyini, xətdəki ΔP güc itkisini və xəttin f. i. ə.-nı təyin etməli.

14. 1.16-cı şəklın a sxemində parametrlər belədir: $E_1 = 50 \text{ V}$, $E_2 = 40 \text{ V}$, $r_1 = r_2 = 1 \text{ Om}$, $r_3 = 20 \text{ Om}$. Budaqlardan axan cərəyanları: a) Kirxhof qanunları-nın bilavasitə tətbiqi, b) düyün gərginliyi, v) qondarma və q) kontur cərəyanları metodları ilə tapmalı. Nəticələrin eyni olduğunu yoxlamalı.

15. Əvvəlki məsələdə r_3 müqavimətinin elə qiymətini tapmalı ki, ondan axan I_3 cərəyanı sıfır olsun.

16. 1.17-ci şəkildə sxemi verilmiş dövrənin r_5 müqavimətindən axan cərəyanın ekvivalent generator metodu ilə təyin etməli. Dövrənin parametrləri: $E_1 = 20 \text{ V}$, $E_2 = 15 \text{ V}$, $E_4 = 25 \text{ V}$, $r_1 = 1 \text{ Om}$, $r_2 = 2 \text{ Om}$, $r_3 = 10 \text{ Om}$, $r_4 = 2 \text{ Om}$, $r_5 = 20 \text{ Om}$.

17. Nə üçün qeyri-xətti elementlər daxil olan dövrələrin hesabına qondarma metodunu tətbiq etmək olmaz?

18. İkiməftilli xətlə elektrik enerjisini $l = 250 \text{ m}$ məsafəyə ötürmək lazımdır. Əgər xəttin sonunda qoşulan yük $P = 16 \text{ Vt}$, onun gərginliyi isə $U_2 = 220 \text{ V}$, mis məftillərin en kəsiyi sahəsini tapmalı. Xətdə gərginlik itkisi 6 %-dən artıq olmamalıdır.

II FƏSİL

ELEKTROMAQNİT HADİSƏLƏRİ VƏ ONLARDAN İSTİFADƏ OLUNMASI. MAQNİT DÖVRƏLƏRİ

2.1. Maqnit sahəsinin elektromexaniki təsiri və maqnit sahəsini 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 sahəsini xarakterizə edən əsas kəmiyyət maqnit induksiya vektorudur (\vec{B}). Maqnit induksiyası maqnit sahəsinin elektromexaniki və induksion təsirlərini xarakterizə edir.

Maqnit induksiya vektorunu \vec{B} təyin etmək üçün maqnit sahəsi elektromexaniki təsirindən istifadə etmək daha rahatdır. Amper qanununa görə maqnit sahəsində yerləşdirilmiş cərəyanlı məftilə (şəkil 2.1) təsir edən qüvvə belə ifadə olunur:

$$F = BIl \sin \alpha,$$

burada B —maqnit induksiya;

I —məftilin cərəyanı, A ;

l —məftilin aktiv uzunluğu, m .

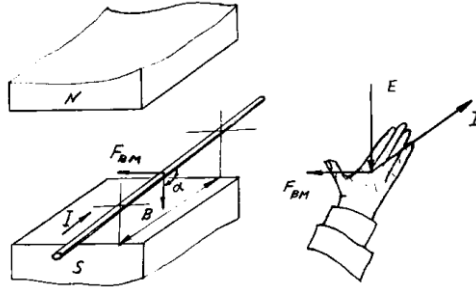
α —məftillə sahənin istiqamətləri arasındakı bucaqdır.

Bu halda F qüvvəsinin istiqamətini 2.1 –ci şəkildə göstərildiyi kimi *sol əl qaydası* ilə təyin edirlər. Yuxarıdakı ifadədən maqnit induksiya

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha}$$

$I = IA$, $l = 1 m$ və $\alpha = 90^\circ$ olsa, $B \equiv F$ alınar.

Deməli, maqnit induksiya, sahəyə perpendikulyar istiqamətdə yerləşdirilmiş vahid uzunluqlu və vahid cərəyanlı düzməftilə sahənin təsir göstərdiyi qüvvə ilə təyin edilir.



Şəkil 2.1. Maqnit sahəsinin elektromexaniki təsiri.

Sol əl qaydası

Maqnit induksiyasının vahidi BS sistemində Tesladır (TA). Mühəndis hesablamalarında Qaus adlanan vahiddən də istifadə edilir:

$1 Tl = 10^4 Qs$. Maqnit sahəsini 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 qapalıkonturlar təşkil edir və bir-biri ilə heç vaxt kəsişmir.

Burğu qaydası

Maqnit sahəsinin ikinci əsas kəmiyyəti maqnit selidir (F). Qeyri-müntəzəm maqnit sahəsində maqnit induksiyası vektorunun elementar sahədən (şəkil 2.2) seli

$$d\Phi = \vec{B}dS = B \cos \alpha dS,$$

burada α — \vec{B} vektoru ilə dS səthinin normalı \vec{N} arasındakı bucaqdır.

S səthindən keçən maqnit seli ifadəsi ilə təyin edilir:

$$\Phi = \int_S d\Phi = \int_S B \cos \alpha dS,$$

Əgər maqnit seli müntəzəm ($B = \text{const}$) və səth müstəvidirsə, maqnit seli:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

Sahə (S) maqnit selinə perpendikulyar və $\alpha = 0$ isə

$$\Phi = BS$$

olar. Maqnit selinin vahidi Veberdir.

$$1 \text{ Bb} = 1 \text{ Tl} \cdot 1 \text{ m}^2.$$

Mühəndis hesablamalarında maqnit selini Maksvellə (Mks) də ölçürlər:

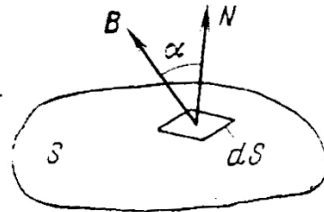
$$1 \text{ Bb} = 10^{-8} \text{ Mks}$$

Maqnit sahələrini tədqiq etdikdə və maqnit quruluşlarını hesabladıqda hesabat kəmiyyəti olan maqnit sahəsinin intensivliyi vektorundan da \vec{H} istifadə edilir. Bu kəmiyyətin vahidi Ampermetr (A/m)-dir.

Maqnit induksiya vektoru \vec{B} ilə maqnit sahəsinin intensivliyi vektoru aşağıdakı münasibətdədir:

$$\vec{B} = \mu_m \vec{H}$$

burada μ_m —mühitin mütləq maqnit nüfuzlüğudur.



Şəkil 2.2. Maqnit selinin təyini.

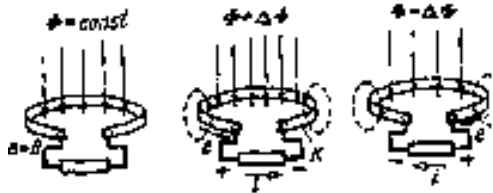
Qeyri-ferromaqnit materialların (ağac, kağız, mis, hava və s.) maqnit nüfuz əmsalı boşluğun maqnit nüfuz əmsalından, demək olar ki, fərqlənmir:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Hn}{m} (\text{Henri metr})$$

Ferromaqnit materiallar üçün μ_m sabit olmayıb, maqnit induksiyasından asılıdır.

2.2. Maqnit sahəsinin induksion təsiri. Elektromaqnit induksiya qanunu

Maqnit sahəsinin induksion təsirinin əsasını Faradey və Maksvellin elektromaqnit induksiya qanunu təşkil edir. Faradeyə 1831-ci ildə kəşf etdiyi elektromaqnit induksiya qanununa görə hər hansı konturla (K) əlaqədar olan (şəkil 2.3) maqnit seli Φ dəyişdikdə həmin konturda elektrik hərəkət qüvvəsi induksiyanır (yaranır). Bu e. h. q. maqnit selinin dəyişmə sürətinə bərabərdir, yəni:



Şəkil 2.3. Lentsin elektromaqnit ətalət prinsipinin izahı.

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Kontur ω sayda sarğıdan ibarət olsa və eyni bir maqnit seli ilə kəsilə,ə,

$$e = -\omega$$

Bu ifadə də ki mənfi işarəsi Lents tərəfindən kəşf edilmiş elektromaqnit ətalət prinsipinə əsasən yazılmışdır.

Elektromaqnit ətalət prinsipinin izahı 2.3-cü şəkildə verilmişdir. Maqnit selinin sabit qiymətində ($\Phi = const$) $\frac{d\Phi}{dt} = 0$ və $e = 0$ (şəkil 2.3, a). Maqnit seli Φ artdıqda induksiyanmış cərəyan əsas maqnit selinin əksinə yönəlmiş öz maqnit selini yaradır (şəkil 2.3, b). Maqnit seli Φ azaldıqda (şəkil 2.3, v)

induksiyalanmış 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.

Müntəzəm maqnit sahəsində maqnit xətlərini kəsərək hərəkət edən düzxətli naqildə (şəkil 2.4) induksiyanmış e. h. q. belə ifadə edilir:

$$e = Blv \sin \alpha,$$

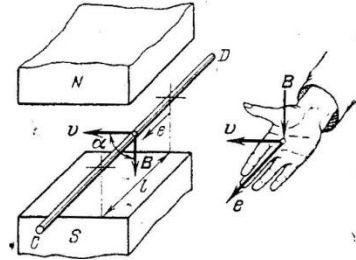
burada e — induksiyanmış e.h.q., B ;

B — maqnit induksiyası,

l — naqilin maqnit xətlərini kəsən aktiv hissəsi, m ;

v — sahəyə nəzərən naqilin hərəkət sürəti, m/san ;

α — sürət vektoru \vec{v} ilə induksiya vektoru arasındakı bucaqdır. İnduksiyalanmış e. h. q.-nin istiqamətini bu halda Lentsin prinsipinə əsaslanmış sağ əl qaydası ilə təyin etmək lazımdır.



Şəkil 2.4. Maqnit sahəsində hərəkət edən naqildə e. h. q.-nin yaranması. Sağ əl qaydası.

2.3 Maqnit dövrləri

Elektrik maşınları və aparatlarında maqnit sahələri çox vaxt elektromaqnitlərlə, tək-tək hallarda sabit maqnitlərlə yaradılır.

Elektromaqnit, ferromaqnit nüvəli maqnitləşdirici cərəyanlı sargıdan ibarətdir. Sabit maqnit hazırlamağın mürəkkəbliyi, baha 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 materiallardan 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 2.5);

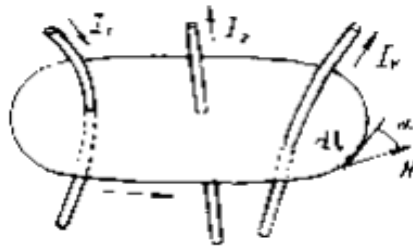
$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \oint H \cos \alpha dl = \sum$$

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;

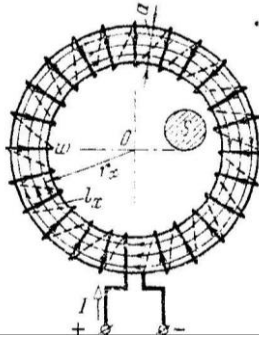
$\sum I$ – l konturundan keçən cəbri cəmidir.



Şəkil 2.5. Tam cərəyan qanunu.

l - konturundan keçən I_k cərəyanının işarəsi o vaxt müsbət götürülür ki, həmin cərəyanla konturu dolanma istiqamətləri sağ gedişli burğu qaydasında olsun.

Maqnit dövrəsi üçün Om qanunu. Bircinsli materialdan hazırlanmış qapalı üzük şəkilli (toroid) sadə maqnit dövrəsinə baxaq (şəkil 2.6).



Şəkil 2.6. Toroidal maqnit dövrəsi.

Maqnitləşdirici dolaq toroidin çevrəsi üzrə müntəzəm paylanmışdır. Üzüyün içərisində maqnit xətləri mərkəzi O nöqtəsində olan konsentrik çəvrələrdən 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 quruluşun simmetriyiyinə görə H_x -in qiymətinin sabit və konturdan keçən cərəyanlar cəminin $I\omega$ -ə bərabər olduğunu nəzərə almaq lazımdır. Onda

$$\oint H_x \cos \alpha dl = H_x \oint dl = H_x l_x = I\omega$$

buradan

$$H_x = \frac{I\omega}{l_x} = \frac{I\omega}{2\pi r_x} [A/m].$$

Bərabər paylanmış dolaqlı üzük varımaqnitkeçiricisinin 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:

$$H_{or} = \frac{I\omega}{l}$$

burada l - orta maqnit xəttinin uzunluğudur, m . $\Phi = B_{or} \cdot S$ və $B_{or} = \mu_m \cdot H_{or}$ ifadələrini nəzərə alsaq, taparıq:

$$\Phi = B_{or} \cdot S = \mu_m \cdot H_{or} \cdot S$$

(2.22) ifadəsini nəzərə alsaq,

$$\Phi = \mu_m \cdot S \frac{I\omega}{l} = \frac{I\omega}{\frac{l}{\mu_m \cdot S}} = \frac{F}{R_m}$$

Axırıncı ifadə **maqnit dövrəsi üçün Om qanunu** adlanır. Buna səbəb həmin ifadənin sabit cərəyan dövrəsi üçün Om qanununun ifadəsinə $I = \frac{I\omega}{\frac{l}{rS}} = \frac{E}{r}$ formal oxşamasıdır. Fiziki proseslərin mahiyyətə fərqi isə çox dərinidir.

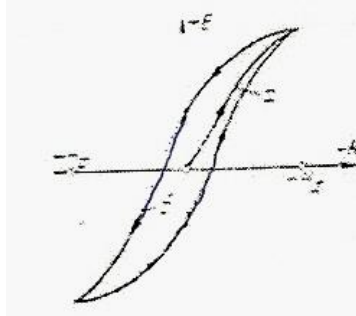
$F = I\omega$ kəmiyyətinə **maqnitləşdirici qüvvə**, $R_m = \frac{l}{\mu_m \cdot S}$ kəmiyyətinə isə maqnit keçiricisinin **maqnit müqaviməti** deyilir.

2.4. Ferromaqnit materiallar və onların xassələri

Elektrik maşın və aparatlarının maqnit dövrələrini əsasən ferromaqnit materialdan hazırlayırlar. Ona görə də ferromaqnit materialların xassələrinin öyrənilməsi vacib məsələdir. Məlumdur ki, ferromaqnit materialların maqnit nüfuzluluğu μ_m sabit olmayıb, maqnit induksiyasından asılı olaraq geniş həddə dəyişir. Bu isə R_m maqnit müqavimətinin dəyişən olmasına və maqnit dövrəsi hesabının çətinləşməsinə səbəb olur. Odur ki, maqnit dövrələrini hesablamaq üçün maqnitlənmə əyriləri verilməlidir. Bu əyrilər ($\mathbf{B(H)}$ asılılığı) təcrübə yolu ilə qapalı

maqnit keçiricisini (2.7-ci şəkildə göstəriləyi kimi) sınaqla alınır.

Nümunənin başlanğıç maqnitlənməsinə α əyrisi (şəkil 2.7) uyğun gəlir, buna **başlanğıc maqnitlənmə əyrisi** deyilir. Əgər nümunəni $-H'_x$ -dan — H_x -ya qədər dövrü maqnitləşdirsək, $B(H)$ qrafiki (b əyrisi) qapalı əyri olar. Bu əyriyə **histerezis ilgəyi** deyilir.



Şəkil 2.7. Histerezis ilgəyi.

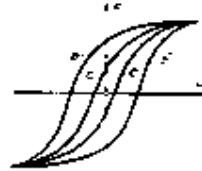
H_x – nin müxtəlif qiymətləri üçün müxtəlif histerezis ilgəklərinin ailəsini alır. H_x -nın H_{max} -dan böyük qiymətlərində histerezis ilgəyinin sahəsi daha böyükdür. $H_x—H_{max}$ uyğun histerezis ilgəyinə **sərhəd histerezis ilgəyi** deyilir (şəkil 2.8).

Sərhəd histerezis ilgəyi ferromaqnit materialın qalıq induksiyası kımı B_q və **koertsetiv qüvvəli** H_s müəyyən edir. Histerezis ilgəklərinin tərələrini birləşdirən əyriyə **əsas maqnitlənmə əyrisi** deyilir. Bu əyrilər sorğu kitablarında verilir və on-lardan maqnit dövrlərinin hesabında istifadə olunur. Koertsetiv qüvvənin qiyməti materialın qalıq maqnitliyini saxlamaq bacarığını xarakterizə edir. Ferromaqnit materialların dövrü maqnitləşməsi üçün enerji sərf etmək lazımdır. Bu enerjinin miqdarı bir dövr üçün histerezis ilgəyinin sahəsinə mütənasibdir. Buna görə dövrü maqnitlənmə şəraitində işləyən elektrotexniki quruluşların maqnit keçiricisini histerezis ilgəyi ensiz olan ferromaqnit materiallardan hazırlamaq əlverişlidir

(şəkil 2.9, *a* əyrisi). Belə ferromağnit materiallara maqnit yumşaq materiallar deyilir (elektrotexniki polad, xüsusi ərintilər, məsələn, permalloj və s.).



Şəkil 2.8. Sərhəd Histerezis maqnit ilgəyinin alınması histerezis ilgəkləri.



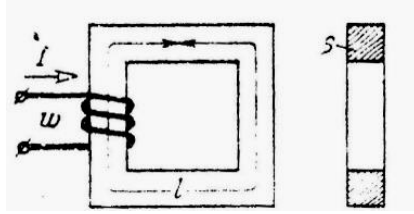
Şəkil 2.9. Maqnit-materiallarının ilgəyi: yumşaq(*a*), bərk (*b*)

Sabit maqnit hazırlamaq üçün histerezis ilgəyi enli olan (şəkil 2.9, *b* əyrisi) ferromağnit materiallardan istifadə edilir. Belə materiallara maqnit-bərk materiallar deyilir (dəmirin volframla, xromla və alüminiumla bir sıra ərintiləri).

2.5. Budaqlanmayan maqnit dövrlərinin hesabı

Bircinsli maqnit dövrəsini (şəkil 2.10) hesablamaq üçün orta qüvvə xəttini qapalı kontur qəbul edib, tam cərəyan qanununu tətbiq edirlər. Maqnit selinin bir hissəsinin havadan qapandığını çox vaxt nəzərdən atmaq və bütün selin maqnit keçiricisindən qapandığını qəbul etmək olar.

Maqnit dövrlərinin hesabında düz və tərs məsələləri fərqləndirirlər. Hər iki məsələ bircinsli maqnit dövrəsi üçün asanlıqla həll edilir.



Şəkil 2.10. Bircinsli maqnit dövrəsi.

Düz məsələdə verilmiş maqnit selinə və dövrənin həndəsi ölçülərinə görə maqnit induksiyanı $B = \frac{\Phi}{S}$, maqnitlənmə əyrisindən B -yə uyğun maqnit sahə intensivliyini H , sonra isə tam cərəyan qanununun tətbiqi ilə maqnitləşdirici qüvvəni təyin edirlər:

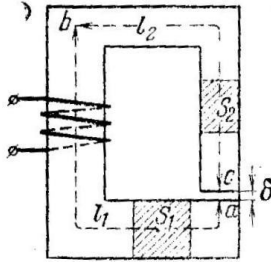
$$\Phi = I\omega = Hl$$

Bircinsli maqnit dövrəsi üçün tərs məsələni həll etdikdə yuxarıda verilən düstur ilə verilmiş maqnitləşdirici qüvvəyə və maqnit dövrəsinin həndəsi ölçülərinə əsasən H -i, sonra isə maqnitlənmə əyrisindən B -ni tapırlar.

Axtarılan maqnit selini $\Phi = B \cdot S$ düsturu ilə hesablayırlar. İndi isə bircinsli olmayan maqnit dövrəsini (şəkil 2.11) hesablayaq.

Düz məsələ: Maqnit seli, maqnit dövrəsinin həndəsi ölçüləri və ferromaqnit hissələrin maqnitləşmə əyriləri verilmişdir. Maqnitləşdirici qüvvənin təyin edilməsi tələb olunur.

Maqnit dövrəsini bircins hissələrə bölür və orta qüvvə xəttinin yolunu göstəririk. Bütün hissələrdə maqnit seli Φ eyni olduğuna görə həmin hissələrdə maqnit induksiyanı ($B = \frac{\Phi}{S}$) və maqnit sahə intensivliyi H_x sabitdir. Bu isə orta maqnit xəttinin yaratdığı kontur üçün $\oint \vec{H} d\vec{l}$ inteqralını asanlıqla hesablamağa imkan verir. $\oint \vec{H} d\vec{l}$ inteqralını dövrənin hissələri üçün yazılmış inteqralların cəmi ilə əvəz etmək olar:



Şəkil 2.11. Budaqlanmayan maqnit dövrəsi.

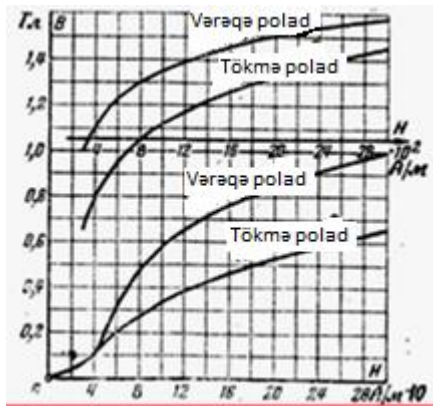
$$\oint_e \vec{H} dl = \oint_e H dl = \int_a^v H_1 dl + \int_b^c H_2 dl + \int_c^v H_3 dl = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_0 \delta = I \omega$$

burada l_1 və l_2 - dövrənin ferromaqnit hissələrinin uzunluğu, m;

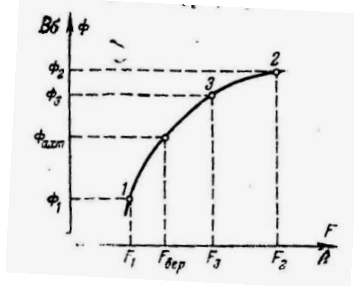
δ —hava aralığının enidir, m.

H_1 və H_2 -nin qiyməti maqnit induksiyasının qiymətlərinə ($B_1 = \frac{\Phi}{S_1}$ və $B_2 = \frac{\Phi}{S_2}$) görə maqnitlənmə əyrilərindən tapılır.

2.12-ci şəkildə vərəqə və tökmə poladları üçün maqnitlənmə əyriləri göstərilmişdir.



Şəkil 2.12. Poladın maqnitləşmə əyriləri.



Şəkil 2.13. Tərs məsələnin həlli.

Hava aralığı üçün (σ hissəsi) maqnit sahə intensivliyinin qiyməti induksiya ($B_0 = B_2$) görə münasibətindən təyin edilir.

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 8 \cdot 10^5 B_0 [A/m]$$

Bu ifadə də B_0 Tesla ilə ölçülür.

Tərs məsələ: Maqnit dövrəsinin həndəsi ölçüləri, ferromaqnit materialların xarakteristikaları və maqnitləşdirici qüvvə $F = I\omega$ verilmişdir; Φ maqnit selini təyin etmək lazımdır. Belə məsələləri ardıcıl yaxınlaşma metodu ilə həll edirlər: maqnit selinə bir neçə dəfə ixtiyari qiymətlər verib, hər bir qiymət üçün maqnitləşdirici qüvvəni düzməsələdəki kimi hesablayırlar. Alınmış nəticələrə görə $\Phi(P)$ əyrisini qururlar (şəkil 2.13). Bu əyridən maqnitləşdirici qüvvənin verilmiş qiymətinə $F_{ver} = I\omega$ görə maqnit selinin axtarılan qiymətini Φ_{axt} təyin edirlər.

2.6. Budaqlanan maqnit dövrələrinin hesabı

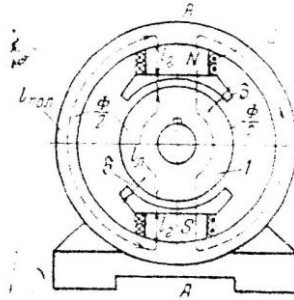
Elektrik maşınları və aparatlarının maqnit dövrələri çox az olur və maqnit seli ayrı-ayrı sellərə budaqlanaraq bir neçə yoldan qapanır (şəkil 2.14, 2.15, 2.16).

Budaqlanan maqnit dövrələri simmetrik və qeyri-simmetrik olur.

Simmetrik maqnit dövrələri. Əgər maqnit dövrəsini (şəkil 2.14) simmetriya oxu AA üzrə iki müstəqil hissəyə ayırsaq, bu, dövrənin iş şəraitini dəyişməz və maqnit selləri öz qiymətlərində qalar. Bununla əlaqədar olaraq hesabı simmetrik maqnit dövrəsinin bir hissəsi üçün aparmaq kifayətdir.

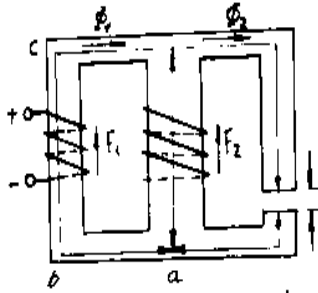
Qeyri-simmetrik maqnit dövrələri. Belə dövrələrin hesabı maqnit dövrələri üçün Kirxhof qanunlarının tətbiqinə əsaslanmışdır və qeyri-xətti sabit cərəyan dövrələrinin hesabına oxşardır.

Maqnit xətlərinin kəsilməzliyinə görə (şəkil 2.15) maqnit dövrəsinin istənilən düyünündə maqnit sellərinin cəbri cəmi sıfıra bərabərdir:



Şəkil 2.14. Elektrik maşının simmetrik maqnit dövrəsi.

$$\Sigma\Phi = 0$$



Şəkil 2.15. İki maqnitləşdirici dolaqlı qeyri-simmetrik maqnit dövrəsi .

Bu ifadə maqnit dövrəsi üçün Kirxhofun birinci qanunu adlanır.

abcd konturuna tam cərəyan qanununu tətbiq edək. Konturu dolanma istiqamətini ixtiyari (məsələn, saat əqrəbi istiqamətində) seçirik:

$$F_1 - F_2 = H_1 l_1 - H_2 l_2$$

$H_2 l_2$ həddi ona görə mənfi işarə ilə götürülmüşdür ki, H_2 -nin istiqaməti (Φ_2 ilə bir olub) konturu dolanma istiqamətinin əksinədir.

$$H_1 = \frac{\Phi_1}{S_1 \mu_1} \quad \text{və} \quad H_2 = \frac{\Phi_2}{S_2 \mu_2} \text{ əvəz etsək, alarıq.}$$

$$F_1 - F_2 = \Phi_1 \frac{l_1}{S_1 \mu_1} - \Phi_2 \frac{l_2}{S_2 \mu_2} = \Phi_1 R_1 - \Phi_2 R_2$$

və yaxud

$$\sum_{k=1}^n F_k = \sum_{k=1}^n \Phi_k R_k$$

burada F_k , Φ_k , R_k —uyğun olaraq dövrənin ikinci hissəsinin maqnitləşdirici qüvvəsi, maqnit seli və maqnit müqavimətidir.

$\Phi_k R^k$ hasili elektrik dövrəsində I_r hasilinə oxşayır. Ona görə buna maqnit gərginliyi deyilir. Yuxarıdakı tənlik maqnit dövrəsi üçün Kirxhofun ikinci qanununu ifadə edir.

Bir maqnitləşdirici dolaqlı qeyri-simmetrik maqnit dövrəsinin hesablanma qaydasına baxaq (şəkil 2.16).

Verilir: a) dövrənin həndəsi ölçüləri; b) ferromaqnit materialların maqnitlənmə əyriləri; v) dolaqın maqnitləşdirici qüvvəsi f). dövrənin bütün hissələrində maqnit sellərini təyin etmək tələb olunur.

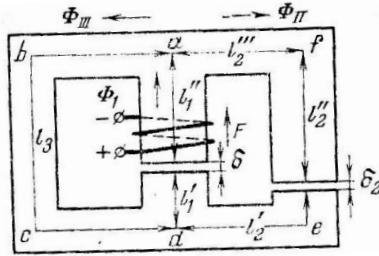
Ayrı-ayrı budaqların ad , $abcd$ və $afed$ maqnit müqavimətlərini R_1, R_{11} və R_{111} ilə, onlardan keçən maqnit sellərini isə Φ_1, Φ_{11} və Φ_{111} ilə işarə edək.

Kirxhofun qanunlarını $afeda$ və $absda$ konturlarına eləcədə a düyününə tətbiq etsək, alarıq:

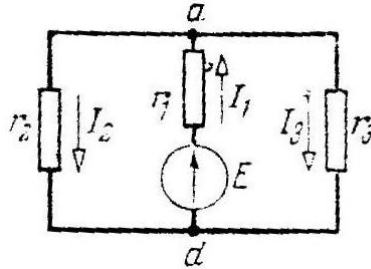
$$\left. \begin{aligned} F &= \Phi_1 R_1 + \Phi_{11}, R_{11} \\ F &= \Phi_1 R_1 + \Phi_{111}, R_{111} \\ \Phi_1 &= \Phi_{11} + \Phi_{111} \end{aligned} \right\}$$

Bu tənliklər sistemi 2.17-ci şəkildə göstərilmiş elektrik dövrəsində cərəyanları təyin etmək üçün yazılmış tənliklərsisteminə oxşardır.

$$\left. \begin{aligned} E &= I_1 r_1 + I_2 r_2 \\ E &= I_1 r_1 + I_3 r_3 \\ I_1 &= I_2 + I_3 \end{aligned} \right\}$$



Şəkil 2.17. Bir maqnitləşdirici dolaqlı qeyri-simmetrik maqnit dövrəsi.

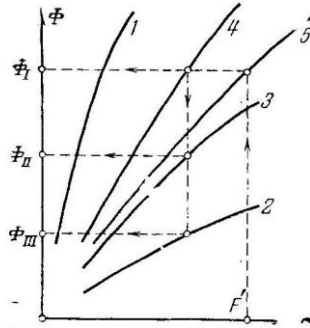


Şəkil 2.18. Bir mənbəli budaqlanan elektrik dövrəsi.

Qeyri-xətti elektrik dövrlərin qrafo analitik üsulla hesablandığı kimi, belə maqnit dövrlərində həmin üsulla aşağıdakı qayda ilə hesablanır;

Maqnit selinə Φ bir neçə qiymət verib, hər bir qiymət üçün hesabat kəmiyyətini $\Phi R = F$ təyin edirlər. Sonra hər budaq üçün Veber-Amper xarakteristikası adlanan $\Phi(F)$ qrafiklərini qururlar (2.19-ci şəkildə 1, 2 və 3 əyriləri uyğun olaraq ad , $afed$ və $abcd$ hissələri üçündür).

Maqnit dövrəsinin iki paralel budağını ($abcdvəafed$) bir ekvivalent budaqla əvəz etmək olar. Bu budağın Veber-Amper xarakteristikası (əyri 4) 2 və 3 əyrilərinin ordinatlarını toplamaqla alınır.



Şəkil 2.19. Qeyri-simmetrik maqnit dövrələri üçün Veber-Amper xarakteristikaları

Beləliklə, budaqlanan maqnit dövrəsi budaqlanmayan ekvivalent dövrə ilə əvəz edilir. 1 və 4 əyrilərinin absislərini toplamaqla bütün dövrənin Veber-Amper xarakteristikasını (əyri 5) alırlar. Bu asılılıqdan istifadə edib maqnitləşdirici qüvvənin verilmiş F^I qiymətinə görə dövrənin budaqlanmayan hissəsində maqnit selini Φ_1 təyin edirik. Bu selin hissələri Φ_{11} və Φ_{111} , 2, 3 və 4 əyrilərinin köməyi ilə tapılır.

2.7. Maqnitləşdirici qüvvələrə görə sarğacın hesabı

Maqnit dövrəsini hesabladıqda sarğacın maqnitləşdirici qüvvəsi F təyin edilir. Sonra sarğac dolağı sarğılarının sayını və icra edildiyi məftilin en kəsiyini hesablamaq tələb olunur. Sarğacın hesabında qidalandığı şəbəkənin gərginliyi U (paralel birləşmə zamanı) və yaxud sarğacın dolağından axacaq cərəyan I (ardıcıl birləşmə zamanı) verilə bilər.

Konkret misalda paralel qoşulacaq sarğacın hesablanması ardıcılılığına baxaq.

Maqnit keçiricisinin ölçüləri verilmiş hissəsində dolaq yerləşdirmək lazımdır. Dolağın maqnitləşdirici qüvvəsi $F=6000$ A olmalıdır. Bəsləyici şəbəkənin gərginliyi $U=110$ V. Dolaq

ПВД markalı pambıq-kətan izolya-siyalı mis məftildən hazırlanmalıdır. Ətraf mühitin maksimal temperaturu $\theta_{müh} = 35^{\circ}\text{S}$. Dolağın buraxıla bilən qızma temperaturu $\theta_{bur} = 100^{\circ}\text{S}$. Sargac uzun-muddətli qoşulmaya hesablanmalıdır.

Dolaq silindrik karkasa sarınacaqdır. Dolağın hündürlüyü h maqnit keçiricisinin və sargıların verilmiş ölçülərinə görə təyin edilir. Dolağın bütün qatlarının qalınlığını aşağıdakı münasibətdən təyin edirik:

$$k_o = bh\delta = I\omega = F$$

burada k_o — bh sahəsinin naqıl materialla doldurulma əmsalıdır (şəkil 2.20);

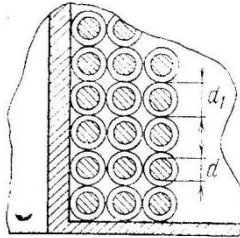
δ - cərəyanın buraxıla bilən sıxlığıdır, A/mm^2 .

İlk hesabatda $k_o = 0,5$; $\delta = 1,5 A/mm^2$ qəbul edirik.

$$b = \frac{F}{k_o h \delta} = \frac{6000}{0,5 \cdot 270 \cdot 1,5} \approx 30 \text{ mm}$$

Dolaq qalınlığının $b \approx 30 \text{ mm}$ və sağanaq diametrinin $D_1 = 230 \text{ mm}$ olduğunu bilərək, dolaq sargısının orta uzunluğunu təyin edirik:

$$l_{or} = \pi(D_1 + b) \cdot 10^{-3} = \pi(230 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,82 \text{ m}$$



Şəkil 2.20. Doldurma əmsalı k_o – in təyini

Məftilin diametrini təyin edək. Bundan ötrü

$$F = I\omega = \frac{U}{r} \omega$$

münasibətindən istifadə edirik.

Burada $r = \frac{l_{or}\omega}{\gamma^{\circ}S} = \frac{4l_{or}\omega}{\gamma\pi d^2}$ dolağın müqavimətidir.

r-in ifadəsini yuxarıdakı düsturunda yerinə yazsaq, alarıq:

$$d = \sqrt{\frac{4l_{or}F}{U\gamma\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,82 \cdot 6000}{110 \cdot 47 \cdot 3,14}} = 1,1 \text{ mm}$$

($\gamma = 47 \text{ m/om} \cdot \text{mm}^2$ — 80°S temperaturda misin xüsusi keçiriciliyidir). Sorğu kitabından diametri $d=1,12 \text{ mm}$, en kəsiyi $S=0,98\text{mm}^2$ olan məftil seçirik; izolyasiya ilə məftilin diametri $d_1=1,39\text{mm}$. d və d_1 diametrlərini bilib doldurma əmsalının həqiqi qiymətini tapırıq:

$$k_o = \frac{\pi d^2}{4d_1^2} = \frac{3,14 \cdot 1,12^2}{4 \cdot 1,39^2} = 0,51$$

k_o -in alınmış qiyməti qəbul olunmuş qiyməti ilə eynidir və hesabı dəqiqləşdirmək tələb edilmir (əks halda, b və d -nin qiymətlərini yenidən hesablamaq lazım olardı).

Dolağın cərəyanı

$$I = \delta S = 1,5 \cdot 0,98 = 1,47 \text{ A}$$

Dolağın lazımı sarğılar sayı

$$\omega = \frac{F}{l} = \frac{6000}{1,47} \approx 4100 \text{ sarğı}$$

Sarğacın tələb etdiyi güc

$$P = UI = 110 \cdot 1,47 \approx 162 \text{ Vt.}$$

İndi isə sarğacı qızma şəraitinə yoxlamaq lazımdır. Sarğacın ələb etdiyi gücün tamamilə istiliyə çevrildiyini və

istiliyin əhatə edən mühitə sarğacın yalnız yan səthindən yayıldığını nəzərə alsaq, istilik balansı tənliyi belə yazılar:

$$P = \alpha S_{yan} (\theta_{sar} - \theta_{müh})$$

(istilik vermə əmsalını $\alpha = 12 \cdot \frac{10^{-4} Vt}{sm^2}$ · dər qəbul edirik).

Sarğacın yan səthi

$$S_{yan} = \pi(D_1 + 2b) \cdot h \cdot 10^{-2} = 3,14 \cdot 290 \cdot 270 \cdot 10^{-2} \\ \approx 2500 \text{ sm}^2$$

Sarğacın qərarlaşmış qızma temperaturu

$$\theta_{sar} = \theta_{müh} + \frac{P}{\alpha S_{yan}} = 35 + \frac{162}{12 \cdot 10^{-4} \cdot 2500} = 35 + 54 = 89^\circ S$$

Sarğacın qızma temperaturu buraxıla bilən qiymətdən kiçikdir. Əgər $\theta_{sar} > \theta_{bur}$ olsaydı, hesabı yenidən δ -nın kiçildilmiş qiyməti üçün aparmaq lazım olardı. Bu halda isə cərəyan sıxlığını bir qədər artıq götürüb bütün hesabı yenidən aparmaq lazımdır. Sarğacın verilmiş F və I -yə görə hesablamaq çox sadədir. Dolağın sarğılar sayı

$$\omega = \frac{F}{I}$$

münasibətindən, məftilin diametri isə qəbul edilmiş δ -ya görə hesablanır:

$$S = \frac{I}{\delta}$$

Qızmaya yoxlama yuxarıda göstərilən qayda ilə aparılır.

2.8. Özünəinduksiya

Sabit cərəyanlı dövredə sabit maqnit seli yaranır. Əgər cərəyan dəyişməz qalırsa, maqnit selidə dəyişmir və dövrənin iş rejiminə heç bir təsir göstərmir. Dövredə cərəyanın hər hansı dəyişməsi dövrənin xüsusi maqnit selinin dəyişməsinə səbəb olur; nəticədə dövrənin elementlərində e. h. q. induksiyanı:

$$e = - \frac{d\varphi}{dt}$$

Qapalı konturda xüsusi maqnit selinin formasından nəticəsində e. h. q-nin induksiyalanması hadisəsinə özünəinduksiya hadisəsi, e. h. q.-yə isə özünəinduksiya e. h. q. deyilir.

Konturun xüsusi ilişən maqnit seli φ onun cərəyanından asılıdır və ferromaqnit mühit yoxdursa, cərəyanla i düzmütənasibdir:

$$\varphi = Li$$

Elektrik dövrəsinin ölçülərindən və formasından asılı olan L vuruğuna induktivlik deyilir. İnduktivliyin vahidi Henridir (Hn):

$$1 \text{ Henri (Hn)} = \frac{1 \text{ Veber}}{1 \text{ Amper}} = \frac{1 \text{ V. san}}{1 \text{ Amper}} = 1 \text{ Om. san}$$

Bu ifadəni nəzərə alsaq, özünəinduksiya e. h. q. üçün

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

olar. Bu ifadədə mənfi işarəsi göstərir ki, özünəinduksiya e. h. q. Onu yaradan cərəyanın dəyişməsinə əks təsir göstərir. Bu əks təsir dövrənin induktivliyi böyük olduqca böyük olur. Deməli, induktivlik dövrədən axan cərəyanın dəyişməsinə dövrənin mane olmaq qabiliyyətini göstərir. Elektrik dövrəsinin induktivliyi maqnit selinin keçdiyi mühitin maqnit xassələrindən də asılıdır. Böyük induktivlik almaq üçün sarğaclardan istifadə olunur.

Toroidal sarğacın induktivliyini hesablayaq maqnit sahəsinin intensivliyi

$$H = \frac{I\omega}{l}$$

Nüvədə maqnit seli belə ifadə edilir:

$$\Phi = BS = \frac{I\omega}{l} \mu S$$

Burada toroidal sarğacın bütün sarğularının eyni maqnit seli ilə (Φ) kəsişdiyini hesab edirik; beləliklə:

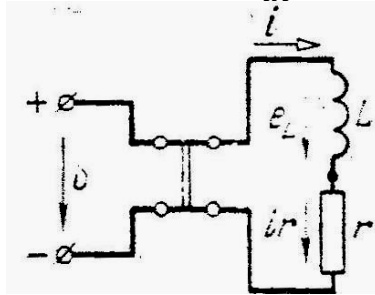
$$L = \frac{\varphi}{I} = \frac{\omega\Phi}{I} = \frac{\omega^2\mu S}{l} = \frac{\omega^2}{R_m}$$

burada R_m —nüvənin maqnit müqavimətidir.

Sarğacın maqnit sahəsinin enerjisi. Sabit U gərginlikli 2.21-ci şəkildə göstərilmiş dövrəyə baxaq. Dövrə iki hissədən — müqaviməti çox kiçik olan I induktivlikli sarğacdən və induktivliyi çox kiçik olan müqavimətdən ibarətdir.

Dövrəni qapadıqda cərəyan öz qiymətini $I = \frac{U}{r}$ Om qanunu ilə təyin edilir anıyox, özünəinduksiya e. h. q-nin təsirindən tədricən alacaqdır. Dövrəyə Kirxpofun ikinci qanununu tətbiq etsək, alarıq:

$$U = ir - eL = ir + L \frac{dl}{dt}$$



Şəkil 2.21. Sarğacın sabit gərginliyə qoşulması.

Bu ifadədən görünür ki, tətbiq edilmiş gərginlik U müqavimətdəki gərginlik düşküsünə və dövrədə yaranan özünə induksiya e. h. q.-ni dəf etməyə sərf olunur.

Bu ifadənin hər iki tərəfini idt vursaq, alarıq.

$$Uidt = i^2 r dt + Lidi$$

Bu tənlik enerjinin saxlanması qanununu ifadə edir. Buna görə dövrəyə dt müddət də daxil olmuş $Uidt$ enerjisi r

müqavimətində istiliyə ($i^2 r dt$) ayrılır və qismən indukti v sargacın maqnit sahəsində ($Li di$) toplanır.

Dövrədə cərəyanın istənilən andakı qiyməti üçün maqnit sahəsində toplanmış enerji

$$W_m = \int_0^1 Li di = \frac{Li^2}{2}$$

Qərarlaşmış cərəyan üçün ($i = I$) maqnit sahəsinin enerjisi

$$W_m = \frac{Li^2}{2}$$

Bu düsturdan görünür ki, induktivlik L dövrənin maqnit sahəsində enerji toplamaq qabiliyyətini (elektrokinetik enerji) də ifadə edir,

Elektrik dövrlərində induktivliyin təsiri formaca mexaniki sistemlərdə kütlənin ətalət təsirinə oxşardır. Buna əmin olmaq üçün özünəinduksiya e. h. q.-nin ifadəsi ($e_L = -L \frac{di}{dt}$) ilə ətalət qüvvəsinin ifadəsini ($F_{\infty} = -m \frac{dv}{dt}$) və eləcə də maqnit sahəsində toplanmış enerji $\left[W = \frac{1}{2} (Li^2) \right]$ ilə v sürəti ilə hərəkət edən m kütləsinin kinetik enerjisinin müqayisə etmək kifayətdir.

2.9. Qarşılıqlı induksiya

Elektrotexniki qurğularda ayrı-ayrı elementlər çox vaxt ümumi maqnit seli ilə kəşişir. 2.22-ci şəkildə maqnit rabitəli iki sargac göstərilmişdir.

Əgər 1 sargacından i_1 cərəyanı keçirsə (şəkil 2.22, a) və açıq olan 2 sargacı ona çox yaxın yerləşdirilibsə, onda 1 sargacının maqnit selinin bir püs səsi 2 sargacının sargıları ilə də kəşişəcəkdir. 1 sargacının ümumi maqnit selinə Φ_1 özünəinduksiya seli, hər iki sargacla eyni zamanda şən maqnit selinə $\Phi_{1,2}$ isə qarşılıqlı induksiya seli deyilir.

Ferromaqnit mühit olmadıqda Φ_1 və Φ_2 maqnit selləri və bunlara uyğun $\varphi_1 = \omega_1 \Phi_1$ və $\varphi_{1,2} = \omega_2 \Phi_{1,2}$ kəsişmə selləri cərəyanına mütənasib olacaqdır.

1 sarğacın i_1 cərəyanı dəyişdikdə 2 sarğacında induksiya olunan e.h.q.

$$e_{m2} = -\frac{d\psi_{1,2}}{dt} = -M_{1,2} \frac{di_1}{dt}$$

qarşılıqlı induksiya e.h.q. adlanır və hadisəyə qarşılıqlı induksiya hadisəsi deyilir.

Mülahizələri 2 sarğacında i_1 cərəyanının axması və 1 sarğacının açıq olması halı üçün analoji olaraq aparsaq, 1 sarğacında qarşılıqlı induksiya e.h.q. üçün alarıq:

$$e_{m1} = -\frac{d\psi_{2,1}}{dt} = -M_{1,2} \frac{di_2}{dt} ,$$

burada $M_{2,1-2}$ və 1 sarğacları arasında qarşılıqlı induktivlikdir.

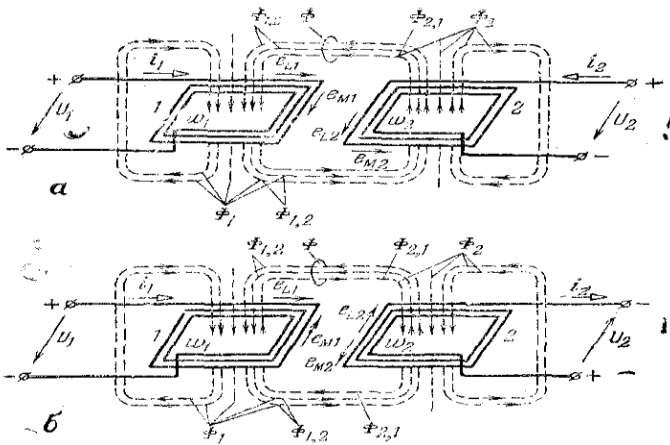
Təcrübə göstərir ki, $M_{1,2}=M_{2,1}=M$. Qarşılıqlı induktivliyin (M) vahidi Henridir.

Hər iki sarğacdən cərəyan axdığı ümumi hala baxaq (şəkil 2.27). Sarğacın cərəyanları i_1 və i_2 eyni zamanda dəyişdirilərsə, hər iki sarğacda həm özünəinduksiya, həm də qarşılıqlı induksiya e.h.q-ləri yaranır:

$$e_{L1} = -L_1 \frac{di_1}{dt},$$

$$e_{L2} = -L_2 \frac{di_2}{dt}$$

$$\left. \begin{aligned} e_{m1} &= -M \frac{di_2}{dt} \\ e_{m2} &= -M \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \right\}$$



Şəkil 2.22. İki sarğaclı konturlar sxemi.

Maqnit rabitəli iki dövrənin maqnitləşdirici qüvvələrinin təsir istiqamətlərində iki hal ola bilər:

a) düz $\Phi_{1,2}$ və $\Phi_{2,1}$ maqnit selləri eyni istiqamətdə olub bir-birini gücləndirir. Bu zaman hər sarğacda induksiylanan e.h.q.

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= e_{L1} + e_{m1} \\ e_2 &= e_{L2} + e_{m2} \end{aligned} \right\}$$

b) $\Phi_{1,2}$ və $\Phi_{2,1}$ maqnit selləri bir-birinin əksinə təsir edir və bir-birini zəiflədir. Bu zaman

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= e_{L1} - e_{m1} \\ e_2 &= e_{L2} - e_{m2} \end{aligned} \right\}$$

Maqnit rabitəli iki sarğac sisteminin maqnit sahəsində toplanan enerji

$$W_m = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} \pm M i_1 i_2$$

Bu ifadədə “müsbət” işarəsi maqnitləşdirici qüvvələrin düz təsirinə, “mənfi” işarəsi isə əks təsirinə aiddir.

Qarşılıqlı induktivliyin (M) sarğacların induktivlikləri (L_1 və L_2) hasilinin kvadrat kökünə olan nisbətində rabitə əmsalı deyilir:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

Qarşılıqlı induksiya hadisəsindən elektrotexnikada geniş istifadə olunur. Transformatorların quruluşu və iş prinsipi bu hadisəyə əsaslanmışdır. Qarşılıqlı induksiya metal məmulatları qızdırmaq və metalı əritmək üçün induksion peçlərdə istifadə edilir. Bəzi hallarda qarşılıqlı induksiya xoşagəlməz nəticələr verir. Məsələn, radio quruluşlarında həmin hadisənin təsiri ilə zərərli e.h.q.-ləri yarana bilər və bu da siqnalın təhrif edilməsinə səbəb olar.

III FƏSİL DƏYİŞƏN CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ

3.1. Sinusoidal dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin alınması

Müasir elektrotexnikanın ən çox tətbiq tapmış sahəsi, daha doğrusu sənaye, kənd təsərrüfatına və nəqliyyata tətbiq olunan hissəsi dəyişən cərəyanlar bəhsidir. Müxtəlif qanunla dəyişən cərəyanlar və e. h. r.-ləri buna misal ola bilər. Lakin müasir generatorlardan alınan e. h. q.-ləri və onların qapalı dövrlərdən keçirdiyi cərəyanlar, ümumiyyətlə sinus qanunu ilə dəyişən cərəyanlardır. Belə cərəyanların həmqiyməti, həm də istiqaməti periodik olaraq dəyişdiyi üçün bunlara sinusoidal dəyişən cərəyanlar və ya sadəcə olaraq dəyişən cərəyanlar deyilməkdədir.

Dəyişən cərəyanların texnikada daha çox işlədilməsinin səbəbi, onların həm alınmasının, həm də işlədilməsinin çox asanlıqla əmələ gətirilməsidir. Dəyişən cərəyanları daha çox tətbiq tapmasının başlıca səbəbi, onların transformasiya edilə bilməsi və buna görə də uzaq məsafələrə göndərilə bilməsidir.

İndi müasir generatorlarda hasil edilən sinusoidal dəyişən e. h. q.-nin alınması üsulunu aydınlaşdıraraq. Əvvəlcə, qeyd olunmalıdır ki, bütün müasir dəyişən (eləcə də sabit) cərəyan generatorlarının prinsipini M. Faradey və E. Lens tərəfindən tərif edilən məşhur elektromaqnit induksiya qanunu təşkil etməkdədir. Elektromaqnit induksiyası qanununa görə, bir keçiricidə e.h.q.-ni induksiyalandırmaq üçün onu maqnit sahəsi içərisində qüvvə xətlərini keçəcək bir istiqamətdə hərəkət etdirmək lazımdır. Bu halda istər keçiricinin qüvvə xətlərinə görə, istərsə də qüvvə xətlərinin keçiriciyə nisbətən hərəkət etməsinin fərqi yoxdur. Hər iki halda qüvvə xətləri kəsiləcək və induksiya qanununa, yəni $e = -\omega \frac{df}{dt}$ formuluna əsasən e. h. q.

induksiyalanacaqdır. Keçiricinin, sahəyə görə hərəkəti dairəvidirsə o zaman keçiricilərdə induksiyaalan e. h. q. periodik dəyişəcəkdir ki, bu da elektromaqnit induksiya bəhsində öyrənilmişdir.

Belə periodik şəkildə dəyişən e. h. q.-lərdən alınan periodik cərəyanlara dəyişən cərəyanlar deyilir.

Sənayedə işlədilən dəyişən cərəyanlar, sinusoidal funksiya qanunu ilə dəyişir. Belə bir dəyişən cərəyanın alınması üçün ümumiyyətlə generatordan istifadə edilir. Belə generatorlarda isə keçiricilər hərəkətsiz, maqnit sahəsi isə hərəkətli götürülür.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, induksiyaalanması məsələsində istər keçiricinin fırlanıb sahənin hərəkətsiz dayanmasının, istərsə də sahənin fırlanıb keçiricinin hərəkətsiz dayanmasının heç bir fərqi yoxdur. Odur ki, dəyişən e. h. q. induksiyaalanmasının mexanizmini göstərmək üçün birinci haldan, yəni keçiricinin hərəkətli sahəsinin isə hərəkətsiz olması halından istifadə edək.

Şəkildə göstəriləyi kimi, sabit induksiya (bircinsli) maqnit sahəsi içərisində bir sarğı fırlanır (sarğı ayrıca olaraq göstərilmişdir). Qütblərdən xaric olan sabit qiymətli maqnit seli $F_{maks}=BS$ -dir ki, burada S bir qütbün en kəsiyi sahəsidir. Həmin sahə içərisində keçirici sarğı sabit sürətlə fırlandıqda, onun müstəvisindən keçən maqnit seli (qüvvə xətləri sayı) həmişə dəyişəcəkdir.

Belə ki, sarğının müstəvisi horizontal vəziyyət aldıqda ($a=0$) onun səthindən keçən maqnit seli ən böyük qiymətinə, yəni F_{maks} bərabər olacaqdır, sarğı bu vəziyyəti tərk edib, şəkildə göstəriləyi kimi, fırlandıqda onun müstəvisi də sahənin qüvvə xətlərinə nəzərən mail vəziyyətlər almış olur. Belə hallarda sarğının müstəvisindən keçən maqnit selləri azalır. Nəhayət sarğı vertikal vəziyyət aldıqda ($a=90^\circ$), onun müstəvisindən keçən maqnit seli sıfıra bərabər olur (yəni heç bir qüvvə xətti keçmir). Beləliklə, fırlanan sarğının maqnit seli

$$f = F_m \cos \alpha$$

sarğı müstəvisinin dönüş bucağının kosinusundan asılı olaraq dəyişir. Sarğı maqnit sahəsi içərisində ω bucaq sürətilə müntəzəm olaraq fırlanır, ona görə $a = \omega t$ qiymətini yerinə qoymaqla maqnit seli üçün alınır.

$$f = F_m \cos \omega t$$

Fırlanan sarğıya nəzərən bu formul üzrə dəyişən maqnit seli sarğının məftillərində e. h. q-ni əmələ gətirir. İnduksiya qanununa görə həmin sarğıda alınan e.h.q.

$$e = -\frac{df}{dt} = -\frac{d}{dt}(F_m \cos \omega t) = \omega F_m \sin \omega t$$

Əgər hərəkət edən dolaq bir neçə, yəni w sarğıdan ibarət olarsa, o zaman dolaqda alınan e. h. q.

$$e = \omega w F_m \sin \omega t$$

olur. Konturun hərəkətinin başlanğıc vəziyyətində (yəni $\alpha = 0$ olduqda) maqnit seli öz ən böyük Φ alır, bu vəziyyətdəki keçiricilər qüvvə xətlərini kəsmədiklərindən onlarda e. h. q. induksiyanmır (yəni $e = 0$), e. h. q.-nin böyük qiyməti, keçirici kontur vertikal vəziyyətdə olduğu zaman (yəni $\alpha = 90^\circ$) alınır və qiymətcə

$$E_m = \omega w F_m$$

bərabər olur. Bu qiymətə e.h.q.-nin maksimal qiyməti deyilir. Beləliklə, maqnit sahəsi içərisində dairəvi nisbi hərəkətə malik keçirici konturda induksiyananan e. h. q.

$$e = E_m \sin \omega t$$

sinus qanunu ilə dəyişir. Belə e. h. q.-nə sinusoidal dəyişən e. h. q., bunun qapalı dövrlərdə yaratdığı cərəyana isə

$$i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

Sinusoidal dəyişən cərəyan deyilir ki, burada φ e. h. q. ilə) onun göndərdiyi cərəyan arasında alınan faza fərqidir.

Buradan aydın görünür ki, keçirici konturun sahə içərisində bir dəfə tam dövr etməsi ilə keçiricilərdə induksiyaalanan e.h.q.-də bir tam dəfə dəyişir.

Sinusoidal dəyişən e.h.q.-nin və ya sinusoidal cərəyanın tam dəyişməsi müddətində onların maksimum qiymətindən başqa yerdə qalan qiymətlərinə ani qiymətlər deyilir.

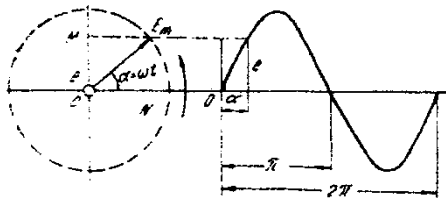
Yuxarıda qeyd olunanlardan aydın görünür ki, sinusoidal dəyişən e.h.q. öz maksimal qiymətini, maqnit qütbləri, keçiricinin altında olduğu momentlərdə alır, yəni rotor $\alpha = 90^\circ$ və $\alpha = 270^\circ$ vəziyyətləri aldığı hallarda baş verir.

3.2. Dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin period və tezliyi

Periodik dəyişən e. h. q.-nin tam bir dəfə dəyiş tsiklinin əmələ gəldiyi müddətə period adı verilir T ilə işarə edilir.

Stator üzərində qoyulmuş hər bir məftilin altından müxtəlif adlı maqnit qütbü bir dəfə keçməklə, onun içərisində induksiyaalanan e.h. q.- də tam bir dəfə dəyişmiş olur.

Müəyyən zaman fasiləsində, maqnit qütbləri bir dəfə deyil, məftilin qarşısından bir neçə dəfə keçdiyindən məftildəki e. h.q.-də bir neçə dəfə eyni qayda ilə (periodik olaraq) dəyişəcəkdir. Maqnit qütblərinin həm sürəti, həm də maqnit selləri adətən sabit qaldığından, induksiyaalanan e. h. q.-nin bütün dəyişmələri eyni xarakterli və eyni periodlu olacaqdır (şəkil 3.1.).



Şəkil 3.1. Dəyişən cərəyanın sinusoidal əyrisi.

E.h.q.-nin bir tam dəyişməsini qrafik şəkildə göstərmək üçün düzbucaqlı koordinat sistemində horizontal ox üzərində dönüş bucaqları (α) vertikal ox üzərində isə e. h. q.-nin anı qiymətləri (e) nişanlanır. Bu alınan əyriyə dəyişən e. h. q.-nin sinusoid diaqramı deyilir. Buradan, dəyişən e.h.q.-ni bir saniyə içərisindəki bütün tam dəyişmələri sayına, həmin e. h. q.-in tezliyi adı verilir.

Bu anlayış bütün periodik dəyişən kəmiyyətlər üçün, yəni, e. h.q., gərginlik, cərəyan şiddəti vəmaqnit seli üçün xarakterdir.

Bir tam dəyişmə tsiklinin periodu T saniyə olduqda, bir saniyədəki dəyişmələrin sayı, yəni tezlik

$$f = \frac{1}{T}$$

olar.

Tezlik Herts vahidilə ölçülür və he ilə işarə olunur. Bir saniyədə bir tam tsiklə ələ gətirən periodik dəyişən kəmiyyətin tezliyi bir Herts ($1\text{ hs}=1/\text{san}$) qəbul olunur.

Dəyişən e. h. q.-ni əmələ gətirən generator iki qütblü olduqda rotorun bir tam dövrünə bir period müvafiq olacaqdır.

Qütblərin sayı $2p$ olduqda isə, e.h.q.-nin dəyişmə periodlarının qiyməti kiçiləcək, qədəri isə p dəfə artacaqdır. Bu halda rotorun eyni vaxt apararı bir dövrü ərzində ə. p. q. R dəfə dəyişmiş olacaqdır.

E. h. q.-nin bir saniyədəki tam dəyişmə tsiklinin sayını, yəni tezliyi bilmək üçün bir saniyədəki dövrlər sayını $-\frac{n}{60} - ct$ cüt qütblər sayına vurmaq lazımdır. Bu halda çoxqütblü maşının hasil etdiyi dəyişən e. h. q.-nin tezliyi ilə ifadə olunacaqdır.

$$f = \frac{pn}{60}$$

Beləliklə, çoxqütblü generatorun tezliyi cüt qütblər sayından başqa, rotorun bir saniyədəki dövrləri sayından asılı

olur. Qütblərinin sayı müəyyən olan generatordan sabit tezlik almaq üçün ancaq dövrlər sayını tənzim etmək və sabit saxlamaq lazımdır.

Generatorada, rotorun α dönüş bucağı həndəsi bucaq qəbul olunduqda, sinusoidal diaqramın buna uyğun α_e bucağı elektrik bucağı adlanır.

Rotorun 360 dərəcəli həndəsi dönüş bucağı e. h. q.-nin p qədər 360 dərəcəli elektrik bucağına müvafiqdir, çünki çoxqütblü maşında hər sinusoid iki qütb bölgüsünə düşür, yəni bütün həndəsi bucağın $\frac{360^\circ}{p}$ hissəsinə bərabər olur. Buna görə hər hansı α həndəsi dönüş bucağı, α_e elektrik bucağından p cüt qütblərin sayı dəfə kiçik olacaqdır, yəni

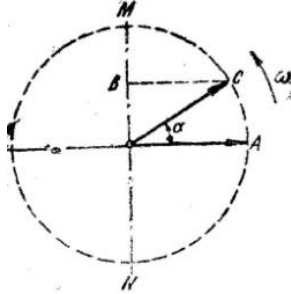
$$\alpha_e = p\alpha$$

Bu formul dəyişən cərəyan tezliyinin qütblər sayından asılı olmasını bir dəfə aydın göstərir.

Qüvvəli cərəyanlar texnikasında bəzi xüsusi məqsədlər üçün xüsusi tezliklər də işlədilir. Məsələn, enerjisi sabit cərəyana çevriləcək elektrik dəmir yolu stansiyalarında 25 Hz, bilavasitə dəyişən cərəyanla təchiz olunan (bifazlı elektrik cərəyan stansiyaları) elektrik dəmir yollarına cərəyan verən stansiyalarda $16\frac{2}{3}$ Hz qəbul olunmuşdur. Rabitə texnikasında isə işlədilən e. h. q.-lərin tezliyi, əksinə olaraq, çox yüksək olub kilohertslərlə ölçülür.

3.3. Dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin vektor diaqramı

İkiqütblü rotorun bir tam dövrü ərzində məftillərdə induksiyalanan e.h.q.-nin dəyişməsini, bir sinusoid şəklində göstərmək olar. Belə bir sinusoidi qurmaq üçün düzbucaqlı koordinat sistemi başlanğıcından, e. h. q.-nin E_m maksimal qiymətinə bərabər olan radiusla bir çevrə çəkilir (3.2-ci şəkil).



Şəkil 3.2. Dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin vektoru.

Burada OA oxunu başlanğıc vəziyyət qəbul edərək, ondan etibarən ölçülən bütün bucaqları maqnit seli oxunun vəziyyəti və rotorun dönüş bucaqları kimi nəzərə alırıq.

Maqnit seli oxu, maşının neytral oxundan bir qədər aralanmış olduqda, statorda qoyulmuş hərəkətsiz keçiricidə induksiyaalan e. h. q.-nin ani qiyməti

$$e = E_m \sin \alpha$$

olacaqdır.

Əgər həmin bucağı, şərti olaraq qəbul etdiyimiz \overline{OA} oxundan saat əqrəbi hərəkəti istiqamətinin əks tərəfinə bir \overline{OC} kimi nişanlasaq, dediyimiz e elektrik hərəkət qüvvəsi \overline{OB} proyeksiyası ilə göstəriləcəkdir.

Demək, maksimal e.h.q.-ni işarə edən \overline{OC} vektoru saat əqrəbi hərəkətinin əksinə fırlandıqca onun MN oxu üzərində olan bütün proyeksiyaları e.h.q.-nin uyğun ani qiymətlərini verəcəkdir. Beləliklə, e.h.q.-nin ani qiymətləri sıfırdan maksimuma qədər dəyişdikdə O mərkəzindən etibarən MN oxu üzərində iki parça xətt alınır (\overline{OM} və \overline{ON}). Bu parçaların bucaqlardan asılı olduğunu daha aydın göstərmək üçün, 3.1-ci şəklın sağ tərəfindəki sinusoid diaqramını qururuq.

Burada horizontal ox üzərində α bucaqları, vertikal ox üzərində isə müvafiq e.h.q.-ləri nişanlanmışdır. Alınan nöqtələri birləşdirməklə dəyişən e.h.q.-nin sinusoid diaqramı alınmışdır.

Dəyişən cərəyan kəmiyyətlərini qrafik olaraq göstərmək və həmin kəmiyyətlər üzərində əməliyyat aparmaq üçün, elektrotexnikada vektor diaqramı adlanan xüsusi diaqramından istifadə edirlər.

Bu diaqram 3.1 və 3.2-ci şəkillərdə göstərilmişdir. Periodik dəyişən e.h.q.-nin maksimum qiymətinə bərabər olan bir fırlanan vektor çəkilir. Bu vektorun vəziyyəti horizontal oxa nisbətən verilən α bucağı ilə müəyyən edilir. Bu vektorun vertikal ox üzərindəki bütün proyeksiyaları, təsvir edilən periodik dəyişən e. h. q.-nin ani qiymətlərini göstərir. Bucaqların müsbət qiymətləri, horizontal oxdan saat əqrəbi hərəkətinin əks istiqamətinə tərəf ölçülür.

Şəkildə verilən diaqramda E_m vektoru göstərilmişdir. Qurğudan aydın görünür ki, bir tam period içərisində diaqramın E_m vektoru bir tam dövr edir. Bu vektorun saat əqrəbi hərəkətinin əks istiqamətinə doğru fırlanma sürəti sabit

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \text{const}$$

olduqda, keçilmiş bucaq məsafəsi $\alpha = \omega t$ olur. Göstərdiyimiz sabit ω bucaq sürəti tamamilə tezlikdən asılıdır. Bir dövr zamanı alınan bucaq 2π , bir saniyədə f tezliklə alınan bucaq isə f dəfə böyük, yəni $2\pi f$ olur. Bu isə vektorun bucaq sürətindən başqa bir şey deyildir. Çox vaxt həmin kəmiyyət dəyişən cərəyanın bucaq tezliyi də adlanır və bu tezlik aşağıdakı formul ilə ifadə olunur:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Başlanğıc momentdən t zamanı keçmiş olduqda, vektorun dönüş bucağı $\alpha = \omega t$ olacaqdır. Hər bir moment üçün belə bucağı faza deyilir.

Dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsini qrafiki göstərən vektorları mexanika və fizikada təsadüf edən vektorlardan fərqləndirmək lazımdır. Orada vektorlar fəzada müəyyən qiymət və istiqamətə malik olub, müvafiq fiziki kəmiyyətləri ifadə edir. Burada isə sabit bucaq sürətilə fırlanan vektorlar radius-vektorlar olub, harmonik dəyişən kəmiyyətlərin ani qiymətlərini həndəsi surətdə tapmağa lazım olur. Ona görə də, bunlara vektor adı vermək bir qədər düzgün olursa da, bu ad qəbul olunmuş və işlədilməkdədir.

3.4. Dəyişən cərəyan və elektrik hərəkət qüvvəsinin effektiv və orta qiymətləri

Dəyişən cərəyan arası kəsilmədən periodik olaraq dəyişdiyi üçün onun ani qiymətini bilməklə, təsiri haqqında bir mühakimə yürütmək mümkün olmur. Buna görə də dəyişək cərəyanı xarakterizə etmək üçün elə bir ekvivalent qiymət tapılmalıdır ki, onun müəyyən zamanda gördüyü iş həqiqi dəyişən cərəyanın həmin zamanda gördüyü işə bərabər olsun, ilk baxışda, dəyişən cərəyanı xarakterizə edəcək qiymətin orta ədədi qiymət olduğu nəzərə gəlir. Halbuki, belə deyil çünki, sinusoidal dəyişən cərəyanın bir period ərzindəki orta qiyməti, onun bir tam periodunun hər iki yarım dalğası sahəsinin bir-birinə qiymətcə bərabər və işarəcə əks olduğuna görə sıfıra bərabərdir. Buna görə də dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin orta qiymətləri onları tamamilə xarakterizə edə bilmir, orta qiymət dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin ancaq dəyişməsinin xarakterini göstərir.

Dəyişən cərəyanlar texnikasında cərəyan şiddəti də e.h.q.-nin dəyişməsi xarakterini bilmək üçün onların orta qiymətlərini tapmaq lazımdır. Birinci yarım dalğanın orta qiyməti həmin yarım dalğanın dairəsi üstündə oturan və sahəsi onun sahəsinə bərabər olan bir dörd bucaqlının hündürlüyünə bərabərdir, yəni

$$I_{or} \frac{T}{2} = \int_0^{\frac{T}{2}} i dt$$

buradan

$$I_{or} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt$$

alınır.

Cərəyan şiddəti sinusoidal dəyişdiyindən, onun ani

$$i = I_m \sin \omega t$$

qiymətini yuxarıdakı ifadəyə qoyduqda

$$I_{or} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin \omega t dt = -\frac{2}{T} I_m \frac{1}{\omega} [\cos \omega t]_0^{\frac{T}{2}}$$

alarıq. Bunu isə inteqrallayıb $\omega = \frac{2\pi}{T}$ nəzərdə tutmaqla, sinusoidal cərəyanın orta qiymətini onun maksimal qiymətindən asılı olaraq,

$$I_{or} = \frac{2}{\pi} I_m = 0,637 I_m$$

əldə edərik.

Buna oxşar olaraq, sinusoidal dəyişən e. h. q. üçün də $\frac{T}{2}$ periodu ərzində orta qiymət

$$E_{or} = \frac{2}{\pi} E_m = 0,637 E_m$$

ifadəsini hasil edərik.

Demək lazımdır ki, bu əlaqələr ancaq sinus qanunu ilə dəyişən kəmiyyətlər üçündür. Əgər i və e bir başqa qanun ilə

dəyişərsə, onda bunları yenidən çıxarmaq lazımdır. İndi sinusoidal qanunla dəyişən bu kəmiyyətlərin dəyişən cərəyanlar texnikasında çox işlədilən ən əhəmiyyətli bir qiymətini, effektiv qiymətini tapaq. Effektiv qiymət, ölçü cihazları tərəfindən ölçülən və dəyişən cərəyanı tamamilə xarakterizə edən bir qiymətdir.

Effektiv cərəyan eyni müqavimətdən keçmək şərtilə dəyişən cərəyanın vahid zamanda yaratdığı qədər istilik yaradan ekvivalent sabit cərəyanın qiymətinə bərabər götürülür.

Eyni müqavimətdən müəyyən müddətdə keçən bir dəyişən cərəyanın gördüyü iş o qədər vaxtda təsir edən sabit cərəyanın əmələ gətirdiyi işə bərabər olursa, bu cərəyanlar ekvivalent qəbul olunur. Buradan, dəyişən cərəyana ekvivalent olan sabit cərəyanın qiymətinə dəyişən cərəyanın effektiv və ya təsiredici qiyməti deyilir. Dəyişən cərəyanın bu qiyməti aşağıdakı qayda ilə tapılır.

Dövrədən keçən dəyişən cərəyanın dövrənin r müqavimətindən dt zamanı ərzində gördüyü işin miqdarı $i^2 r dt$ olur. Hər bir period özündən qabaqkı perioddakı hadisəni tamamilə təkrar etdiyi üçün bir tam period içərisində görülən işin miqdarını tapmaqla kifayətlənmək olar. Beləliklə, dəyişən cərəyanın bir period ərzindəki tam işi

$$A = \int_0^T i^2 r dt = r \int_0^T i^2 dt$$

olacaqdır. I ilə işarə edəcəyimiz ekvivalent sabit cərəyana verdiyimiz tərifə görə, həmin r müqavimətindən keçdikdə eyni T zaman ərzində eyni miqdarda iş görməlidir, yəni

$$A = I^2 r T$$

olacaqdır. İndi sonuncu ifadələri bir-birinə bərabərləşdirsək, o zaman

$$\int_0^T i^2 dt = I^2 T$$

ifadəsindən ekvivalent cərəyanın qiymətini alırıq.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

Yuxarıdakı formulaya görə

$$i = I_m \sin \omega t$$

və

$$\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

ifadələrini nəzərdə tutmaqla alınan formulu həll edərək

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{I_m^2}{2} (1 - \cos 2\omega t) dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}}$$

şəklində yazırıq və buradan effektiv cərəyanın

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

olur. Dəyişən e. h. q.-nin və dövrənin iki nöqtəsi arasındakı gərginliyinin də effektiv qiymətini həmin qayda ilə tapa bilərik:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

Bu qayda ilə aldığımız formullar göstərir ki, sinusoidal dəyişən gərginlik və cərəyanın effektiv qiyməti onların maksimal qiymətindən $\sqrt{2}$ dəfə kiçik olur. Burasını da qeyd etmək lazımdır ki, tapdıqımız bu ancaq sinusoidal cərəyanlar üçün düzgün hesab oluna bilər. Qeyri-sinusoidal periodik kəmiyyətlərin effektiv qiymətini tapmaq üçün bu ifadədən istifadə etmək lazımdır. Bu ifadədən görünür ki, effektiv qiymət həqiqi dəyişən cərəyanın orta kvadrat qiymətinə bərabərdir.

Buna görə də effektiv qiymətlərə çox vaxt orta kvadrat qiymətlər deyilir. Çox vaxt dəyişən cərəyanın effektiv qiyməti məlum olduğundan, onun maksimum (amplitud) qiymətini

tapmaq lazım gəlir. Bunu aşağıdakı tənliklər vasitəsilə asanlıqla tapmaq mümkündür.

$$\begin{aligned}E_m &= \sqrt{2}E = 1,41 E; \\U_m &= \sqrt{2}U = 1,41 U; \\I_m &= \sqrt{2}I = 1,41 I;\end{aligned}$$

Bunlardan əlavə periodik dəyişən hər bir kəmiyyətin effektiv qiymətinin orta qiymətinə olan nisbətində əyrinin forma koeffisienti deyilir. Həmin koeffisientin qiyməti sinusoidal dəyişən e , u və i göstərilir:

$$k_f = \frac{E}{E_m} = \frac{U}{U_m} = \frac{I}{I_m} = \frac{1}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = 1,11$$

gördüyümüz kimi bu koeffisient orta kvadrat qiymət ilə orta qiymət arasındakı münasibəti göstərən xarakter bir kəmiyyətdir.

Bu koeffisientdən əlavə ikinci xarakter bir koeffisientdən də istifadə edilir. Bu koeffisient periodik dəyişən kəmiyyətin maksimal qiymətinin onun effektiv qiymətində olan nisbətində bərabər olub, amplitud koeffisienti adlanır. Sinusoidal dəyişən kəmiyyətlər üçün bu koeffisient bərabər alınır.

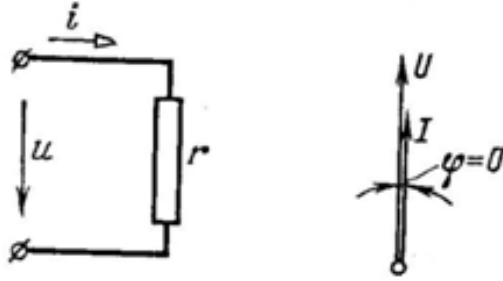
$$k_a = \frac{E_m}{E} = \frac{U_m}{U} = \frac{I_m}{I} = \sqrt{2} = 1,41$$

Bu kəmiyyətlər, dəyişən cərəyanlar əyrilərini xarakterizə etdiyindən, qeyri-sinusoidal dəyişən cərəyanlar texnikasında daha çox işlədilir.

3.5. Dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv müqavimət

Tərkibində ancaq Om müqavimətli işlədicilər olan bir dövrə təsəvvür edək. Belə işlədicilərin ətrafında maqnit sahəsi

çox zəif olduğundan, dövrdə, demək olar ki, heç bir əlavə e.h.q. induksiyalanmır. Buna görə də Om qanunu, ancaq dövrəyə tətbiq edilmiş gərginliyin, cərəyan şiddətinin Om müqavimətinə vurma hasilinə bərabər olması şəklində ifadə olunacaqdır.



Şəkil 3.3. Sadə aktiv müqavimətli bir fazlı dəyişən cərəyan dövrəsi.

Bu qanunu dəyişən cərəyanın dövrəsindəki kəmiyyətlərin ani qiymətlərinə tətbiq edərək və tətbiq olunan gərginliyin ani qiymətini k ilə işarə edib,

$$u = ir$$

ifadəsini alırıq.

Bu dövrdə təsir edən gərginlik sinus qanunu ilə dəyişdiyindən, keçən cərəyan da sinusoidal olmalıdır.

ir kəmiyyəti aktiv gərginlik düşküüsü adlanır. Demək, dəyişən cərəyanın dövrəsinə tətbiq olunmuş u gərginliyi həmin dövrdəki ir aktiv gərginlik düşküünü ödəyir. Məfillərin dəyişən cərəyanına göstərdiyi aktiv müqavimət dəyişən cərəyanın məftilin en kəsiyi sahəsində muntəzəm paylanmamasına görə, sabit cərəyanına göstərdiyi müqavimətdən bir azca böyük olur. Buna görə də məftilin dəyişən cərəyanına göstərdiyi müqavimətə aktiv müqavimət, sabit cərəyanına göstərdiyi müqavimətə isə Om müqaviməti deyilməlidir.

Sabit cərəyanında, cərəyanın sıxlığı en kəsiyinin hər bir yerində eyni qalır, dəyişən cərəyanında isə tezlikdən asılı olaraq məftilin həndəsi oxundan başlayıb, xarici səthinə yaxınlaşdıqca artır.

Yuxarıda deyilənlərə görə, eyni dövrdə dəyişən cərəyandan alınan düşküsünə aktiv gərginlik düşküsü, həmin şiddətli sabit cərəyanından alınan düşküyə isə Om gərginliyi düşküsü deyilməlidir.

Dövrəyə tətbiq edilmiş sinusoidal gərginlik verildiyindən,

$$u = U_m \sin \omega t,$$

və cərəyan şiddəti üçün

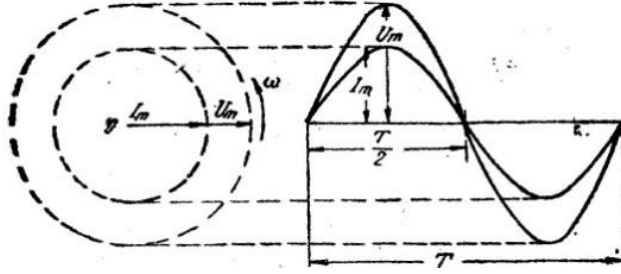
$$i = \frac{U_m}{r} \sin \omega t$$

kimi ifadə tapılır. Burada $i = \frac{U_m}{r}$ olduğundan, cərəyan üçün sinusoidal ifadə alınır.

$$i = I_m \sin \omega t,$$

Demək, sinusoidal gərginlik tətbiq edilmiş aktiv müqavimətli dövrdən keçən cərəyanın da sinusoidal olur. Tətbiq olunmuş gərginliklə dövrdə alınan cərəyanın eyni qanunla dəyişməkdən əlavə, həm də eyni momentlərdə eyni qiymətlər alır. Belə ki, gərginlik sıfıra bərabər olduqda, cərəyanın da sıfır qiymət alır, gərginlik maksimuma çatanda cərəyanın da maksimum olur. Belə kəmiyyətlərə eyni fazada dəyişən kəmiyyətlər deyilir.

Demək, aktiv müqavimətli dəyişən cərəyanın dövrlərində gərginlik və cərəyanın eyni fazada olur.



Şəkil 3.4. Bir fazlı dəyişən cərəyanın gərginlik və cərəyan sinusoidləri.

Məsələnin fiziki tərəfi bundan ibarətdir: xarici gərginliyin təsiri ilə göndərilən cərəyanın dövrədən keçməsi vaxtı gərginliklə tamamilə bir vaxta düşür.

Aktiv müqavimətli dəyişən cərəyanın dövrəsinin gərginliyi və cərəyanı üçün sinusoid və vektor diaqramları 3.4-cü şəkildə göstərilmişdir. Şəkildən kimi, gərginlik, cərəyanın sinusoidləri və ya vektorları bir-birinin üzərinə düşmüş və aralarındakı fazalar fərqi sıfıra bərabər olur.

3.6. Dəyişən cərəyanın dövrəsində induktivlik

Dəyişən cərəyanın dövrəsindən keçən cərəyan şiddəti hər bir anda öz qiymət və istiqamətini dəyişdirdiyindən, onun yaratdığı maqnit seli də dəyişən olacaqdır,

yəni

$$f = \Phi_m \sin \omega t$$

Əmələ gələn maqnit seli həmişə cərəyan şiddətilə bir fazada dəyişir. 3.5-ci şəkildə göstəriləyi kimi L induktivliyi olan bir dövrə nəzərə alınır. Həmin dövrədə əmələ gələn maqnit seli dəyişdiyi üçün onun nüfuz etdiyi dolaqda da müəyyən e.h. q. induksiyanacaqdır.

İnduksiyalanan e.h.q.-nin qiyməti induksiya qanununa görə

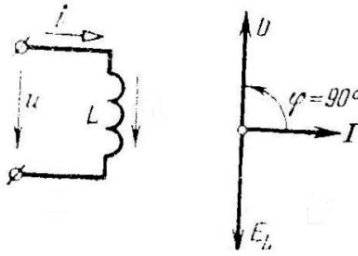
$$e = -w \frac{df}{dt} 10^{-8}$$

və ya bu e. h. q.-ni müvazinətləşdirən gərginlik

$$u = w \frac{df}{dt} 10^{-8}$$

alınır. Bu tənliyə dövrənin müvazinət tənliyi deyilir. Bu ifadədə f -in yuxarıdakı qiymətini yerinə qoymaqla alırıq.

$$\begin{aligned} e &= -\omega \frac{d}{dt} (\Phi_m \sin \omega t) = -w \omega \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\ &= E_m \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned}$$



Şəkil 3.5. İnduktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi.

Demək, sinusoidal dəyişən maqnit selinin nüfuz etdiyi hər bir konturda induksiyaalanan e. h. q.-də sinusoidal olacaqdır. Həmin e. h. q. onu yaradan maqnit selindən faza etibarilə 90° , zaman etibarilə isə $\frac{T}{4}$ saniyə geri qalır.

Bu e.h.q.-nin maksimal qiyməti bu ifadəyə əsasən

$$E_m = w \omega \Phi_m = 2\pi f w \Phi_m \text{ effektiv qiyməti isə}$$

$$E = \frac{E_m}{2} = 4,44 w f \Phi_m$$

olur.

Elektrik maşınlarının dolaqlarında induksiyaalanan e.h.q.-lər ayrı-ayrı sarğılarda faza etibarilə bir-birinin üstünə

düşməyəcəkdir. Buna görə yuxarıdakı ifadəyə dolaq koeffisienti adlanan bir k_d koeffisientini daxil etməklə

$$E_h = 4,44k_d w f \Phi_m$$

alarıq. Dolaq koeffisienti, ümumiyyətlə, w saylı sarğıda induksiyalanan e.h.q.-rin həndəsi cəmi qiymətinin (E_h) onların cəbri cəminə (E) olan nisbətinə deyilir, yəni

$$k_d = \frac{E_h}{E}$$

İçərisində maqnit sahəsi əmələ gələ bilən dövrlərdən dəyişən cərəyan keçərkən onların dolaqlarında (maqnit sahəsilə çox əlaqədar olan hissələrdə) özünəinduksiya e. h. q. əmələ gəlir.

Özünəinduksiya e. h. q.-ni həmişə e_L ilə işarə edib, onun qiymətini dövrdən keçən i cərəyanın şiddəti vasitəsilə tapırlar. Dövrədə əmələ gələn özünəinduksiya e.h. q.

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

və ya onu müvazinətləşdirən dövrə gərginliyi

$$u = L \frac{di}{dt}$$

olur. Konturdan keçən cərəyanın qiymətini

$$i = I_m \sin \omega t$$

yerinə qoyduqda, özünəinduksiya gərginliyi üçün

$$u = L \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t) = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

və ya

$$u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

olur.

Bu sinusoidal dəyişən gərginliyin maksimal qiyməti

$$U_m = \omega L I_m$$

Effektiv qiyməti isə

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \omega LI$$

olur. Bu formullardan istifadə edərək, induktivli dəyişən cərəyan dövrəsi üçün Om qanunu tapılır.

$$I = \frac{U}{\omega L}$$

Bu ifadədən ωL kəmiyyətinin müqavimət vahidində olması görünür. Dəyişən cərəyan dövrəsində Om vahidilə ölçülən bu ωL kəmiyyətinə induktiv müqavimət deyilir və x_L ilə işarə edilib, belə ifadə olunur:

$$x_L = \omega L$$

Yuxarıdakı tənliyi nəzərdə tutmaqla özünə induksiya e.h.q.-ni müvazinətləşdirən dövrə aşağıdakı şəkildə alırıq.

$$U = Ix_L$$

Demək, xalis induktiv müqavimətli işlədicilər daxil edilmiş dəyişən cərəyan dövrlərində tətbiq olunan gərginlik orada induksiyalanacaq özünəinduksiya e. h. q.-ni müvazinətləşdirir. Buna görə də gərginlik, dövrədən keçən cərəyan şiddətini zaman etibarilə $\frac{T}{4}$ saniyə, faza etibarilə isə 90° qabaqlamış olur.

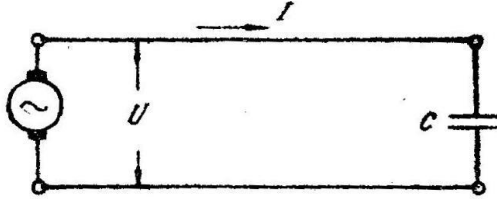
Buradan aydın görünür ki, xalis induktiv müqavimətli dövrədən keçən sinusoidal dəyişən cərəyan o dövrəyə tətbiq edilmiş gərginlikdən 90° geri qalmışdır.

İnduktiv müqavimətli dövrlərdə, xaricdən verilən elektrik enerjisi ancaq maqnit sahəsi yaratmağa sərf olunur. Lakin xalis induktivli elektrik dövrəsi tapmaq mümkün olmadığından, bu enerjinin bir hissəsi həmişə aktiv müqavimətdə istiliyə sərf olunur. İnduktiv müqavimətli dövrlərin praktiki misalı, içərisində polad nüvələr olan (və ya olmayan) sərğaclar, dolaqlar (misal üçün yüksüz işləyən transformator) və sairə bu kimi maşın və aparatlardır. Qeyd etmək lazımdır ki, elektrik işlədiçilərinin təxminən hamısı həm induktiv, həm də aktiv müqavimətli olur.

3.7. Dəyişən cərəyanın dövrəsində tutum

Sabit cərəyanın dövrəsinin tərkibində olan bir kondensator öz qərarlaşmış rejimi zamanı cərəyan keçirmir. Dəyişən cərəyan dövrəsində iştirak edən kondensatorlar isə cərəyanın keçməsinə maneçilik yaradır.

Gərginliyi sinus qanunu ilə dəyişən bir dövrəyə C tutumlu bir kondensator qoşulmuşdur. Bu polda (3.7-ci şəkil) gərginliyin arası kəsilmədən dəyişməsinə görə, kondensatorun dövrlərinə toplanmış elektrik miqdarı və dielektrikdə əmələ gələn elektrik sahəsinin gərginliyi də arası kəsilməsə dəyişəcəkdir.



Şəkil 3.7. Tutum müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi.

Kondensatorun dövrlərindəki elektrik miqdarının dəyişməsi, dövrləri cərəyanın mənbəyi ilə əlaqədar edən birləşdirici məftillərdə elektrik yüklərinin hərəkətilə, yəni xarici dövrdə müəyyən cərəyanın keçməsi ilə xarakterizə edilir.

Tutaq ki, sıxacları arasına tətbiq olunan gərginliyi sinusoidal dəyişən bir dövrəyə C tutumlu bir kondensator qoşulmuşdur. Gərginliyi arası kəsilmədən dəyişməsi zamanı onun hər bir du artımına elektrik miqdarının dq qədər artımı müvafiq olacaqdır, yəni

$$dq = Cdu.$$

Elektrik miqdarının dq dəyişməsi dt zamanı ərzində baş verdiyindən, cərəyanın i qiyməti

$$dq = idt$$

kimi ifadə olunacaqdır. İndi yuxarıdakı tənliyi nəzərdə tutsaq verilmiş dövrənin diferensial tənliyi

$$i = C \frac{du}{dt}$$

alırıq ki, burada da i - verilmiş dövrənin sıxacları arasında tətbiq olunan xarici mənbə gərginliyidir. Bu gərginlik, kondensator dolduqdan sonra onun dövrləri arasında əmələ gələcək u_c kondensator gərginliyinə bərabər olur.

Bundan başqa belə dövrdə, xarici gərginlik və kondensator gərginliyi hər bir momentdə qiymətcə bərabər olub, işarəcə bir-birinə əks olur, yəni

$$u = -u_c$$

Kondensatora sabit gərginlik tətbiq olunduqda dövrdən keçən cərəyan şiddəti

$$i = C \frac{du}{dt}$$

ifadəsindən göründüyü kimi, sıfıra bərabər olmalıdır. Bu da sabit cərəyanın keçə bilməməsi deməkdir.

Kondensator qoşulmuş dəyişən cərəyanın dövrəsində cərəyan şiddəti bu tənliyə və verilmiş xarici sinusoidal gərginliyə əsasən,

$$i = C \frac{du}{dt} = C\omega U_m \cos\omega t$$

və ya $C\omega U_m$ kəmiyyətini I_m ilə işarə edib onuyuxarıdakı tənlikdə yerinə qoymaqla cərəyan üçün

$$i = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

alırıq. Bu cərəyanın effektiv qiyməti

$$I = C\omega U \text{ və ya } I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}}$$

olacaqdır.

Bu axırıncı ifadədə $\frac{1}{\omega C}$ kəmiyyəti $\frac{U}{I}$ -yə bərabər olduğu üçün müqavimət vahidilə ölçülməlidir. Buna görə bu kəmiyyəti

$$x_c = \frac{1}{\omega C}$$

ilə işarə edib, adına tutum müqaviməti deyirik.

Kondensator gərginliyini müvazinətləşdirən xarici gərginliyi yuxarıdakı tənliklərdən tapılır.

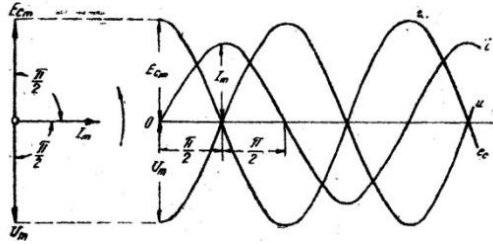
$$U = Ix_c$$

İçərisində ancaq kondensator (xalis tutum müqaviməti) iştirak edən dövrənin cərəyanını onu yaradan dövrə gərginliyindən faza etibarilə 90° , zaman etibarilə isə $\frac{T}{4}$ qədər irəli düşür.

Kondensatorun dövrləri arasındakı gərginlik isə hər bir anda xarici dövrə gərginliyi ilə müvazinətləşdiyi üçün U-dan 180° və ya $\frac{T}{2}$ qədər geri qalmış olur.

Tutum müqavimətli dəyişən cərəyanın dövrəsinin sinusoid və vektor diaqramları 3.8-cu şəkildə göstərilmişdir. Bu diaqramlardan aydın görünür ki, tutum müqavimətli dövrədə cərəyan gərginlikdən 90° irəli düşür.

Kondensator qoşulmuş dövrədə cərəyanın belə gərginlikdən 90° irəli düşməsinə təsəvvür etmək üçün aşağıdakı təcrübəyə müraciət edək.



Şəkil 3.8. Tutum və induktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsində u ilə i arasındakı asılılıq qrafiki.

3.8. Dəyişən cərəyanın dövrəsində qarışıq müqavimət

Aktiv və reaktiv müqavimətli işlədicilər qoşulmuş dəyişən cərəyanın dövrlərinin tərkibində, irəlidə ayrı-ayrı tədqiq etdiyimiz bütün müqavimətlərə təsadüf etmək mümkündür. Buna görə, belə dövrlərin tədqiqi irəlidəki qaydalara başlanıb, dəyişən cərəyanın dövrəsinin ümumi halı kimi nəzərə alınır.

Tutaq ki, öyrənəcəyimiz bir dövrə, aktiv müqaviməti r , induktivliyi L və tutumu C olan bir neçə işlədicidən təşkil olunmuşdur (3.11-ci şəkil). Bu dövrəyə sinusoidal dəyişən gərginlik tətbiq edilmişdir. Belə dövrədən sinusoidal dəyişən cərəyanın keçəcəkdir. İrəlidə öyrəndiyimiz kimi dövrənin r müqavimətində ri aktiv gərginlik düşküsü, L induktivlikli işlədicidə e_L özünəinduksiya e.h.q. və C tutumlu hissədə u_c kondensator gərginliyi yaranacaqdır. Burada Kipxhofun ikinci qanununa görə, elektrik dövrəsinin müvazinət tənliyi, sıxaqlara tətbiq olunan gərginliyin, dövrənin göstərdiyimiz hissələrindəki gərginlik düşküləri cəminə bərabərliyi şəklində ifadə olunacaqdır, yəni

$$u = ri + (-e_L) + (-u_c)$$

və ya

$$u = ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt$$

ifadəsi yazıla biləcəkdir.

İndi keçmişdən bildiyimiz

$$ri = rI_m \sin \omega t$$

$$L \frac{di}{dt} = \omega LI_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$\frac{1}{C} \int idt = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

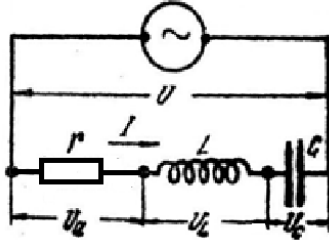
ifadələri nəzərdə tutmaqla aşağıdakı ümumi tənliyi ala bilərik:

$$u = rI_m \sin \omega t + \omega LI_m \sin(\omega t + 90^\circ) + \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ) =$$

$$= rI_m \sin \omega t + I_m \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Buradan aydın görünür ki, tətbiq olunmuş sıxac gərginliyi iki gərginlik düşküsünü müvazinətdə saxlamaq məqsədilə, iki hissəyə ayrılır: birinci hissə cərəyan ilə bir fazada dəyişən $rI_m \sin \omega t$ aktiv gərginlik düşküsünü ödəyir, ikinci hissə isə cərəyanın şiddətindən $\frac{T}{4}$ qədər fərqlənən $I_m \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \sin(\omega t + 90^\circ)$ reaktiv gərginlik düşküsünü müvazinətdə saxlayır.

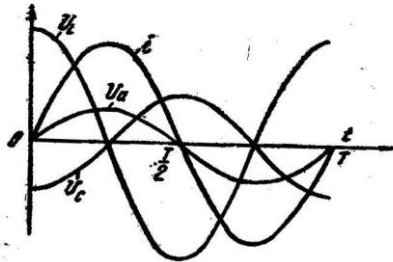
Reaktiv gərginlik düşküsü adlandırılan və yuxarıdakı şəkildə göstərilən gərginlik qismən özünə induksiya e.h.q.-ni müvazinətləşdiyi və qisməndə, kondensator doldurulan zaman orada yaranan gərginliyin qarşısını alma ha sərf olunur. 3.9-ci şəkildə, tədqiq etdiyimiz dövrdə yaranan və sıxaç gərginliyi tərəfindən müvazinətləşdirilməsi lazım gələn $u_B = ti$, aktiv gərginlik düşküsü, e_L e. h. q. və u_C kondensator gərginliyi sinusoidləri göstərilmişdir.



Şəkil 3.9. R, L, C müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsinin sxemi.

Bunları təmin edən gərginliklərin sinusoidləri 3.12-ci şəkildə göstərilmiş və e_{LUC} ayrılalarının tam əksinə çəkilməmişdir. Sinusoidlər diaqramında bunları göstərmək və bir-birilə toplayıb ümumi gərginliyi almaq bir qədər çətinlik təşkil edir. Odur ki, burada sinusoid diaqramını vektor diaqramı ilə əvəz etmək daha məsləhətdir.

3.10-ci şəkildə qarışıq dövrdə əmələ gələn gərginlik düşkülərinin vektorları həndəsi surətdə toplanmışdır. Burada horizontal istiqamətdə yönəldilmiş I cərəyanın vektoru bütün gərginlik düşküsi vektorlarına istiqamət vermək üçün qəbul edilmişdir. Aktiv gərginlik Ir eyni fazada olduğu üçün I vektoru üzərində, induktiv gərginlik $I\omega L$ cərəyanından 90° irəli, tutum gərginliyinin $\frac{I}{\omega C}$ vektoru isə cərəyandan 90° geri çəkilir. Həmin diaqramda bu vektorların həndəsi cəminə



Şəkil 3.10. R, L, C müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsində u ilə i arasındakı asılılıq diaqramı.

3.9. Dəyişən cərəyan dövrlərində rezonans hadisələri

Ardıcıl və paralel birləşmiş dövrlərin xüsusi hallarında, bəzən ümumi reaktiv müqavimət (ardıcıl dövrlərdə) və ya ümumi reaktiv keçiricilik (paralel dövrlər-də) sıfıra bərabər ola bilər. Reaktiv elementlərin qarşılıqlı kompensasiyası nəticəsində alınan belə hallarda cərəyan şiddəti gərginliklə eyni fazada alınır və dövrə özü xalis aktiv müqavimətli dövrə kimi qəbul olunur. Dəyişən cərəyan dövrlərində alınan belə xüsusi hadisələrə rezonans hadisələri deyilir. Dəyişən cərəyan dövrlərinin birləşməsindən asılı olaraq iki cür rezonans hadisəsi, yəni ardıcıl dövrlərdə gərginliklər rezonansı, paralel dövrlərdə isə cərəyanlar rezonansı alınır.

3.10. Gərginliklər rezonansı

R, L və C parametrləri ardıcıl birləşmiş dəyişən cərəyan dövrəsində reaktiv-induktiv və reaktiv-tutum müqavimətlərinin bərabərləşməsi zamanı gərginliklər rezonansı alınır. Şək. 3.11. Gərginliklər rezonansı əmələ gəlmiş dəyişən cərəyan dövrəsində reaktiv müqavimətlər bərabər:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

olduğu üçün dövrənin ümumi müqaviməti:

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = ze^{j\varphi}$$

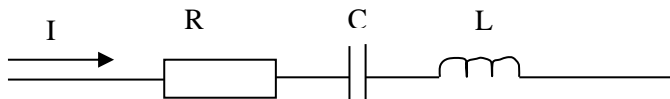
təkcə aktiv müqavimətə bərabər, yəni $z_p=R$ və $\varphi_p = 0$ olur. Belə hallarda dövrədən keçən cərəyan şiddəti artır, hətta bəzən dövrə üçün çox qorxulu qiymətlərə qədər yüksələ bilər. Cərəyan şiddətinin belə

$$i = \frac{U}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

yüksəlmiş qiymətinə rezonans cərəyanı deyilir. Rezonans cərəyanı:

$$I = \frac{U}{R}$$

şəklində alınır.



Şəkil 3.11. R L C müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi.

Ardıcıl dövrlərdə gərginliklər rezonansı üç səbəbdən əmələ gələ bilər. Əgər tezlik (f) və tutum (C) sabit verilmiş olursa, o zaman rezonans təkcə induktivliyin dəyişməsindən və induktivliyin:

$$L_p = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$$

qiymətində alınır. Əgər tezlik (f) və induktivlik (L) dəyişməz verilsə, rezonans dövrənin tutumunun dəyişməsindən və tutumun:

$$C_p = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

qiymətindən alınır. Əgər induktivlik (L) və tutum (C) sabit verilmişsə, o zaman rezonans ancaq tezliyin dəyişməsindən və verilmiş L və C üçün tezliyin göstərilən:

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{və ya} \quad f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

qiymətindən alınır. Bu qiymətlərə, rezonans induktivliyi, rezonans tutumu və rezonans tezliyi deyilir. Zəif cərəyanlar texnikasında, xüsusən radiotexnikada gərginliklər rezonansı çox vaxt tezliyin dəyişməsindən alınır. Ona görə də rezonans

tezliyinə xüsusi tezlik, rezonans əmələ gəlmiş dövrəyə isə rəqs konturu deyilir. Dövrədə rezonans, doyurucu cərəyanın tezliyi dövrənin xüsusi tezliyinə bərabərləşdiyi zaman alınır.

Rezonans əmələ gəlmiş dövrədə induktiv və tutum reaktiv müqavimətləri bərabərləşir və bundan əlavə, bu müqavimətlər üçün tezlikdən asılı olmayan qiymətlər alınır:

$$\omega_p L = \frac{1}{\sqrt{LC}} L = \sqrt{\frac{L}{C}} = z_c$$

$$\frac{1}{\omega_p C} = \sqrt{LC} \frac{1}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = z_c$$

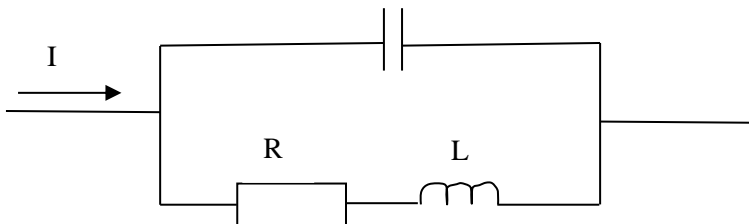
Rezonans zamanı dövrə müqavimətlərinin ağıqları bu qiymətlərə, xarakteristik müqavimətlər deyilir.

3.11. Cərəyanlar rezonansı

Parametrləri paralel birləşmiş umumi dövrədə, reaktiv-induktiv və reaktiv tutum keçiriciliklərinin bərabərləşməsi zamanı cərəyanlar rezonansı hadisəsi adlanır.

Verilmiş sxemə əsasən (şəkil 3.12.) paralel birləşmiş qollardan birində induktivlik (aktiv müqavimət ilə bir yerdə), ikincisində isə xalis tutum olduğundan, bu qolların reaktiv keçiricilikləri aşağıdakı şəkildə alınır:

$$\theta_L = \frac{\omega L}{r^2 + (\omega L)^2} \quad \text{və} \quad \theta_C = \omega C$$



Şəkil 3.12. Paralel birləşdirilmiş R L C müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi.

Hər hansı səbəbdən bu keçiriciliklərin bərabərləşməsi, həmin qollardan keçən cərəyanların rezonansa daxil olmasını göstərir:

$$\frac{\omega L}{r^2 + (\omega L)^2} - \omega C = 0$$

olduğu üçün dövrənin ümumi keçiriciliyi

$$Y = \frac{r}{z^2} - j\left(\frac{\omega L}{z^2} - \omega C\right) = ye^{-j\varphi}$$

təkcə aktiv keçiriciliyə bərabər olur.

3.12. Çoxfazlı sistemlər

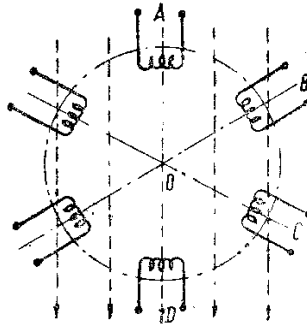
Bir-birindən müəyyən zaman fasilə qədər fərqli olan dəyişən cərəyanlara çoxfazlı cərəyanlar deyilir. Belə cərəyanların hasil edilməsi üçün çoxfazlı sistemlər yaradılmalıdır. Çoxfazlı sistem, icərisində eyni qiymətli, eyni tezlikli və bir-birinə nəzərən, eyni faz fərqli dəyişən elektrik hərəkət qüvvələri təsir edən dəyişən cərəyan dövrləri toplusuna deyilir.

Bu dövrlər qapandıqları zaman içərilərindən dəyişən cərəyanlar keçir ki, onların da tezlikləri eyni, fazları isə bir-birindən eyni bucaq qədər fərqli olur.

Çoxfazlı sistem almaq və ya çoxfazlı elektrik hərəkət qüvvələri hasil etmək üçün, bircinsli maqnit sahəsi içərisində fırlanan və bir-birindən $2\pi/m$ qədər aralı yerləşdirilən m qədər eyni dolaq götürmək lazımdır.

Şəkil 3.13. göstərilən dolaqlar hərəkətsiz, maqnit sahəsi isə hərəkətli təsəvvür olunur. Bu dalaqlara faz dolaqları deyilir və sıra ilə A, B, C, D ilə işarə edilir. Əgər faz dolaqları bir-biri

ilə elektrik əlaqədar isə, alınan çoxfazlı sistemə birləşmiş sistem, əks halda isə birləşməmiş sistem deyilir. Bundan əlavə, əgər sistemin ayrı-ayrı faz dolaqlarında induksiylanan e.h.q.-ləri qiymətə bərabər (amplitud və ya effektiv qiymətləri) faz fərqləri isə eyni olursa, sistem simmetrik, əks halda isə qeyri-simmetrik adlanır.



Şəkil 3.13. Çoxfazlı sistemin sxemi.

Ümumiyyətlə, çoxfazlı e.h.q.-ri hasil edən sistemlər (generatorlar və transformatorlar) simmetrik iş şəraiti üçün qayıdırılır. Şəkilə göstərilmiş belə bir sistemin ayrı-ayrı faz dolaqlarında induksiylanan e.h.q.-nin ani qiymətləri:

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_{mak} \sin \omega t \\ e_B &= E_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{m} \right) \\ e_C &= E_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{m} \right) \end{aligned} \right\}$$

effektiv qiymətləri isə simvolik şəkildə:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_A &= Ee^{j0} \\ \dot{E}_B &= Ee^{-j\frac{2\pi}{m}} \\ \dot{E}_C &= Ee^{-j2\frac{2\pi}{m}} \end{aligned} \right\}$$

alınır. Bu kəmiyyətlər müvafiq diaqramlarda, ani qiymətlər-sinusoid, effektiv qiymətlərlə isə vektor diaqramlarında göstərilmişdir.

E.h.q.-nin simvolik ifadələrində, onların qiymətləri yanında duran və vektorların istiqamətini horizontal oxla nəzərən göstərən ifadələri xüsusi operatorlar vasitəsilə işarə etməklə həmin ifadələri sadələşdirmək olur:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_A &= Ea^m \\ \dot{E}_B &= Ea^{m-1} \\ \dot{E}_C &= Ea^{m-2} \end{aligned} \right\}$$

Burada tətbiq etdiyimiz a^m, a^{m-1} operatorları vektorların ancaq istiqamətini, e.h.q.-nin fazalarına uyğun olaraq göstərilir. Həmin operatorlar aşağıdakı qiymətlərə bərabərdir:

$$\begin{aligned} a^m &= e^{j0} \\ a^{m-1} &= e^{-j\frac{2\pi}{m}} \\ a^{m-2} &= e^{-2j\frac{2\pi}{m}} \end{aligned}$$

Çoxfazlı sistemlərin əsas xassəsi, onlardakı bütün e.h.q.-nin hər bir andakı qiymətlərinin toplusunun sıfıra bərabər olmasıdır:

$$e_A + e_B + e_C \cdots + e_m = 0; \quad \sum_{i=1}^m e_i = 0$$

və ya

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C + \dots + \dot{E}_m = 0; \quad \sum_{i=1}^m \dot{E}_i = 0.$$

3.13. Üçfazlı sistemlər

Üçfazlı dəyişən cərəyanların xalq təsərrüfatı üçün böyük əhəmiyyəti vardır, buna görə də olduqca geniş sahədə tətbiq olunur. Elektrik energiyasını məsafəyə vermək üçün bütün dəyişən cərəyanlar arasında ən əlverişlisi üçfazlı cərəyanlardır.

Elektrik energiyasının sənayedə tətbiqinə gəlincə, bu məsələ də, ancaq üçfazlı cərəyanların kəşfindən sonra həll edilmişdir. Elektrik energiyasının istehsalı da, həmçinin, üçfazlı cərəyanlar əsasında həll edilmiş bir məsələdir. Ən qənaətcil və əlverişli elektrik generatoru üçfazlı sinusoidal dəyişən cərəyan generatorudur.

Üçfazlı cərəyanlar sənayəyə birinci dəfə M.O.Dolivo-Dobrovolski tərəfindən daxil edilmişdir. 1891-ci ildə frankfurtda açılmış sərgidə iştirak edən rus mühəndisi, dünyada birinci dəfə olaraq təşkil etdiyi mükəmməl üçfazlı cərəyanlar sistemini nümayiş etdirmişdir. Həmin sistem, Lauffen şalələsindən su turbini ilə hərəkətə gətirilən üçfazlı generator və üçfazlı yüksəldici transformator, uzunluğu 175 km olan üçfazlı veriliş xətlərindən və nəhayət, sərgidə qoyulmuş üçfazlı alçaldıcı transformator və üçfazlı mühərrikdən ibarət olmuşdur. Gücü 390 a.q., tezliyi 40 hs, faydalı iş əmsalı 0,75 və gərginliyi 30 kv olan bütün bu sistemi təşkil edən üçfazlı transformatorlar, generator və mühərrik, Dolivo-Dobrovolskinin ixtirasıdır.

Üçfazlı cərəyanların əmələ gətirilməsi üçün əsasən üçfazlı generatorlardan istifadə edilir. Belə generatorlarda stator üzərində yerləşən dolaqlar, eyni sarğılar sayına malik olur və bir-birinə nəzərən, $2\pi/3$ bucaq altında yerləşir. Bu dolaqlarda

induksiyalanan dəyişən elektrik hərəkət qüvvələri, irəlidəki düsturların xüsusi halı olaraq, alınır:

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_{mak} \sin \omega t \\ e_B &= E_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ e_C &= E_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \right\}$$

Üçfazlı generatorların sınaqlarında alınan gərginliklər:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= U_{mak} \sin \omega t \\ U_B &= U_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ U_C &= U_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \right\}$$

və ayrı-ayrı dolaqların dövrəsi qapandığı zaman keçən cərəyanlar isə:

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_{mak} \sin(\omega t \mp \varphi) \\ I_B &= I_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \mp \varphi \right) \\ I_C &= I_{mak} \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \mp \varphi \right) \end{aligned} \right\}$$

alınır. Bu sonuncu tənliklərdəki $\mp \varphi$ -faz bucağı adlanır və generatorun dövrəsinə qoşulan müqavimətin xarakterindən asılıdır. Alınan kəmiyyətlərə üçfazlı e.h.q.-ri, üçfazlı gərginliklər və üçfazlı cərəyanlar deyilir.

Üçfazlı kəmiyyətlərin effektiv qiymətlərinə gəlincə, bunları aşağıdakı simvolik ifadələrlə göstərmək olar:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= \dot{E}e^{j\varphi} & \dot{I}_A &= Ie^{\pm j\varphi} \\ \dot{E}_B &= Ee^{-j\frac{2\pi}{3}} & \dot{I}_B &= Ie^{-j\left(\frac{2\pi}{3} \pm \varphi\right)} \\ \dot{E}_C &= Ee^{-j\frac{4\pi}{3}} & \dot{I}_C &= Ie^{-j\left(\frac{4\pi}{3} \pm \varphi\right)} \end{aligned}$$

və ya irəlidə olduğu kimi, ayrı-ayrı fazlara aid kəmiyyətlərin vektorlarını istiqamətcə təyin edən operatorları daxil etməklə alırıq:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= a^3 E \\ \dot{E}_B &= a^2 E \\ \dot{E}_C &= a E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= a^3 Ie^{\pm j\varphi} \\ \dot{I}_B &= a^2 Ie^{\pm j\varphi} \\ \dot{I}_C &= a Ie^{\pm j\varphi} \end{aligned}$$

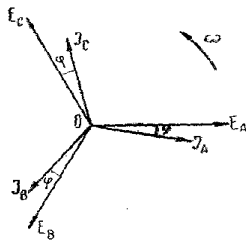
Vektor diaqramlarında hər bir vektor ($\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ və $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$) aid olduğu fazın e.h.q.-nin və ya cərəyan şiddətinin effektiv qiymətini göstərir, bu kəmiyyətlərin ani qiymətlərini tapmaq üçün həmin vektorların, şaquli ox üzərindəki proyeksiyalarını almaq lazımdır. Buna görə üçfazlı sistemin vektor diaqramlarını, ümumiyyətlə, qəbul olunduğu kimi həmişə saat əqrəbi hərəkətinin əks istiqamətinə fırlanan qəbuk etmək lazımdır. Yuxarıdakı tənliklərdə bir operator kimi iştirak edən və ancaq istiqamət göstərən vuruqlar bərabərdir:

$$a^3 = e^{j0} = ej^{360^\circ}$$

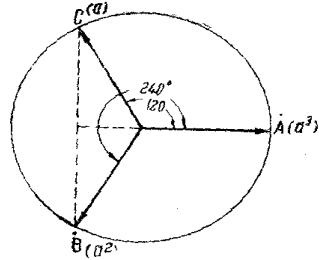
$$a^2 = e^{-j120^\circ} = ej^{240^\circ}$$

$$a = e^{-j240^\circ} = ej^{120^\circ}$$

Həmin operatorlar üçfazlı dövrlərə aid riyazi əməliyyata daxil olduqları üçün onların qiymətlərini təyin etmək lazım gəlir. Buna görə birinci qolu üfüqi istiqamətdə, digər qolları isə bir-birinə və bu, birinci qola nəzərən, 120° aralanmış üçqollu bir vektor diaqramı şəklində nəzərə alaq:



Şəkil 3.14 Üşfazlı dövrlərdə EHQ ilə cərəyan arasındakı bucaq fərqlərinin sxemi



Şəkil 3.15. Üşfazlı dövrlərdə vektor diaqramı

Bu diaqramın hər qolunun qiyməti vahidə bərabərdir. Şəklə əsasən, hər üç qolun qiymətləri bərabər; $A=B=C=1$ və istiqamətləri isə müxtəlifdir. Həmin vahid vektorlar:

$$\dot{A} = Ae^{j^\circ} = 1$$

$$\dot{B} = Be^{j240^\circ} = 1(\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\dot{C} = Ce^{j120^\circ} = 1(\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

əslində qəbul etdiyimiz operatorlara bərabərdirlər . Operatorlar üçün:

$$a^3 = 1$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

qiymətləri alınmış olur.

Operatorların hər üçünün cəmi:

$$a^3 + a^2 + a = 1 - \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = 0$$

alınır. Aşağıdakı operator münasibətlərini tapa bilirik:

$$a^3 + a^2 = -a = \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j60^\circ}$$

$$a^2 + a = -a^3 = -1 = e^{-j180^\circ}$$

$$a + a^3 = -a^2 = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j60^\circ}$$

Cox vaxt vahid vektorların fərqi ilə əlaqədar münasibətlərdən istifadə edirik:

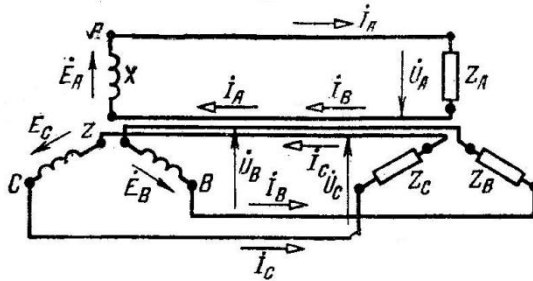
$$a^3 - a^2 = a^3(1 - a^2) = a^3\left(1 + \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = a^3\sqrt{3}e^{j30^\circ}$$

$$a^2 - a = a^2(1 - a^2) = a^2\sqrt{3}e^{j30^\circ}$$

$$a - a^2 = a(1 - a^2) = a\sqrt{3}e^{j30^\circ}.$$

3.14. Ulduz birləşmiş sistem

Tətbiq olunan üçfazlı sistemlərdə ən çox təsadüf olunan birləşmə şəkli ulduz birləşmədir. Ulduz birləşmə, faz dolaqları nəhayətlərinin uçlarının ümumi bir nöqtəyə - sıfır nöqtəsinə toplanmasından alınan birləşmədir. Şəkil 3.16.-də həm mənbə, həm də işlədici ulduz birləşdirilmiş üçfazlı bir sistem göstərilmişdir. Belə sistemlərdə iki sıfır nöqtəsinə birləşdirən xəttə sıfır xətti deyilir.



Şəkil 3.16. Ulduz birləşdirilmiş üçfazlı sistemlər.

Mənbənin faz gərginliklərinin ani və effektiv qiymətləri belə tapılır:

$$U_A = U_{\max} \sin \omega t$$

$$\dot{U}_A = a^3 U$$

$$U_B = U_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$U_B = a^2 U$$

$$U_C = U_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$U_C = a U$$

Bu tənliklərdə U_{\max} və U – faz gərginliyinin uyğun qiymətləridir.

Birləşdirici məftillərin müqavimətləri nəzərə alınmadığından onlarda əmələ gələn gərginlik düşkünləri işlədicinin fazları üzərinə əlavə olunur və mənbənin faz gərginlikləri $\dot{U}_A \dot{U}_B \dot{U}_C$ işlədicinin müvafiq faz gərginliklərinə ($\dot{U}'_A \dot{U}'_B \dot{U}'_C$) bərabər qəbul olunur.

İşlədicinin ayrı-ayrı fazlarının müqavimətləri bir-birinə bərabər və $Z_A = Z_B = Z_C = Z^{ej\varphi}$ olursa, o zaman sistemdən keçən faz cərəyanları da qiymətcə bir-birinə bərabər alınır. Bu cərəyanların ani qiymətləri:

$$i = \frac{U_A}{Z} = I_{\max} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$i_B = \frac{U_B}{Z} = I_{\max} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi)$$

$$i_C = \frac{U_C}{Z} = I_{\max} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \varphi)$$

effektiv qiymətləri isə

$$i_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = a^3 \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} \quad \dot{I}_A = a^3 I e^{-j\varphi}$$

$$i_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = a^2 \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} \quad \dot{I}_B = a^2 I e^{-j\varphi}$$

$$i_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = a \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} \quad \dot{I}_C = a I e^{-j\varphi}$$

öz aralarında qiymətcə bərabər və faz etibarilə simmetrik alındıqlarından belə sistemə müntəzəm yüklənmiş sistem deyilir.

Müntəzəm işlənmiş sistemlərdə hər üç cərəyanın toplusu hər bir anda sıfıra bərabər olduğundan, sıfır xəttindən cərəyan keçmir, ona görə də, belə sistemlərdə sıfır xəttinin çəkilməsinə ehtiyac qalmır. Ulduz birləşmiş sistemin xətləri arasındakı potensiallar fərginə xətt gərginliyi deyilir.

Həmin gərginlik (effektiv qiyməti) iki müvafiq gərginliyinin həndəsi çıxıması şəklində tapılır, çünki hər faz dolağında olan faz gərginliyi, başqa sözlərlə onun ucundakı potensiala bərabərdir.

Buna görə də iki faz gərginliyinin çıxılmasından alınan:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B = (a^3 - a^2)U = a^3 \sqrt{3} U e^{j30^\circ} \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C = (a^2 - a)U = a^2 \sqrt{3} U e^{j30^\circ} \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A = (a - a^3)U = a \sqrt{3} U e^{j30^\circ} \end{aligned} \right\}$$

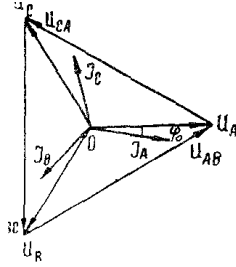
xətt gərginliklərinin faz gərginliklərindən qiymətcə $\sqrt{3}$ dəfə böyük, faz etibarilə isə 30° irəli düşdükləri isbat olunur. Burada verilmiş tənliklərdə aşağıdakı operator münasibətlərindən istifadə edilmişdir:

$$a^3 - a^2 = a^3 \sqrt{3} e^{j30^\circ}$$

$$a^2 - a = a^2 \sqrt{3} e^{j30^\circ}$$

$$a - a^3 = a \sqrt{3} e^{j30^\circ}$$

Şəkil 3.17. şəkiləki diaqramda ulduz birləşmiş sistemin bütün gərginlikləri və cərəyanları müvafiq vektorlarla göstərilmişdir. Ümumi sistemdə həm mənbə və həm də işlədicinin faz gərginlikləri eyni olduğundan (birləşdirici məftillərin müqavimətləri nəzərə alınmamalıdır), göstərilmiş diaqram həm mənbə və həm də işlədiciyə aiddir.



Şəkil 3.17.
vektor diaqramı.

Üçfazlı sistemlərin

Dövrələrdə ümumiyyətlə, işlədiciyə yük induktiv xarakterli qəbul olduğundan, verilmiş diaqramda cərəyan şiddətləri öz uyğun gərginliklərindən φ qədər geri qalmış göstərilmişdir. Həmin cərəyanlar həm də xətlərdən keçdikləri üçün e_y -ni samanda həm faz və həm də xətt cərəyanları ola bilərlər.

Çox vaxt, üçfazlı ulduz birləşmələrdə sıfır xəttindən də istifadə olunur, bu zaman sistem dördməftilli adlanır. Sıfır xəttinə, ehtiyac həmişə, faz gərginliyindən istifadə etməyə imkan yaradan sistemlərdə hiss olunur. Bu xətdən həmişə, üç faz cərəyanının cəminə bərabər bir cərəyan keçməlidir.

Bərabər yüklənmiş üçfazlı ulduz birləşmiş sistemdə bu cərəyan sıfıra bərabərdir. Ümumiyyətlə dördməftilli dövrlər, qarışıq yüklü (həm birfazlı və həm də üçfazlı) sistemlərdə işlədilir ki, bunların da misalı işıq dövrləridir.

Çoxfazlı sistemlərdə ulduz birləşmə əmələ gətirilirsə, o zaman ayrı-ayrı faz gərginliklərinin effektiv qiymətləri bir faz dolağının gərginliyinə nəzərən aşağıdakı şəkildə tapılır:

$\dot{U}_1 = Ua^m$	burada
	$a^m = e^{jm\frac{2\pi}{m}} = e^{j\circ} = 1$
$\dot{U}_2 = Ua^{m-1}$	$a^{m-1} = e^{j(m-1)\frac{2\pi}{m}} = e^{-j\frac{2\pi}{m}}$
-----	-----
$\dot{U}_{m-1} = Ua^2$	$a^2 = e^{j2\frac{2\pi}{m}} = e^{-j(m-2)\frac{2\pi}{m}}$
$\dot{U}_m = Ua$	$a^2 = e^{j\frac{2\pi}{m}} = e^{-j(m-1)\frac{2\pi}{m}}$

və sadəcə dönüş operatorlarından ibarətdir. Həmin gərginliklər şəkindəki diaqramda 0 mərkəzindən etibarən nişanlanmış ayrı-ayrı vektorlar şəklində göstərilmişdir. Buradan görüldüyü kimi hər bir xətt gərginliyi iki uyğun faz gərginliyi-ninifərqi kimi tapılır.

$$\dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = (a^m - a^{m-1})U = 2U \sin \frac{\pi}{m} \cdot e^{j(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m})}$$

və faz gərginliyindən qiymətcə $2 \sin \frac{\pi}{m}$ qədər böyük, faz etibarilə isə $(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m})$ qədər irəli düşmüş olur.

Bu münasibəti sadəcə olaraq diaqramın həndəsi əməliyyatından da almaq olar: ΔOU_1U_2 üçbucağından

$$U_1U_2 = 2OU_1 \sin \frac{\pi}{m} \quad \text{və ya} \quad U_{12} = 2U_1 \sin \frac{\pi}{m}$$

alınır.

Çoxfazlı ulduz birləşmələrin misalına, altı və on ikifazlı çevirici sxemlərində təsadüf etmək olur. Ulduz birləşmiş sistemdə, əgər faz dolaqlarından biri və ya bir neçəsi tərs yəni neytral nöqtəyə dolağın nəhayyəti əvəzində başlanğıcı birləşdirilmişsə, o zaman belə dolaqda induksiyaalanən e.h.q. əks

istiqlamətdə təsir edəcəkdir. Bununla da sistem qeyri-simmetrik gərginliklərə malik olacaqdır. Belə sistemlərdə neytral nöqtəsinin potensialı erə əsasən sıfır qiymətli və sıfır xəttindən keçən cərəyan həmişə müəyyən qiymətə bərabər olur.

Dolaqları ulduz birləşmiş generator və transformatorların dolaqlarına düşən gərginliyin, xaricfi dövredəki gərginlikdən $\sqrt{3}$ dəfə kiçik olması, onların izolyasiyasının nisbətən zəif götürülə bilməsinə imkan verir. Buna görə də çox yüksək gərginlikli maşın və transformatorlar müəyyən qədər kiçik ölçülü və müəyyən qədər ucuz alınır.

3.15. Üçbucaq birləşmiş sistem

Faz dolaqlarını bir-birilə ardıcıl olaraq, yəni birincinin sonu ikincisinin başlanğıcı ilə, ikincinin sonu isə üçüncüsünün başlanğıcı ilə və bu qayda üzrə birləşdirilərək üçfazlı sistemlər üçün üçbucaq, çoxfazlı sistemlər üçün isə çoxbucaq birləşmə alınır. Şəkildə həm mənbəyi və həm də işlədicisi üçbucaq birləşdirilmiş bir üçfazlı sistem göstərilmişdir.

Belə sistemlərdə neytral nöqtəsi olmadığı üçün sistemlər həmişə üçxətli alınır. Yenə də sadəlik alınması üçün birləşdirici naqillərin müqaviməti nəzərə alınmamışdır. Buna görə də mənbəyin və işlədicinin müvafiq faz gərginlikləri bərabər alınmışdır:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}'_{AB}$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}'_{BC}$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}'_{CA}$$

Bu gərginlik vektorlarının toplusu qapalı bir üçbucaq təşkil etməlidir ki, bu da hər üç gərginliyin cəminin sıfıra bərabər olması deməkdir. Simmetrik sistemlərdə bu diaqram bərabər tərəfli üçbucaq şəklində alınır. Üçbucaq birləşmələrdə

ümumiyyətlə faz dolaqları, xarici xətlər arasında paralel qoşulduğu üçün, belə birləşmədə, faz gərginlikləri müvafiq xətt gərginliklərinə bərabər alınır, yəni

$$\dot{U}_{AB} = a^3 U ; \quad \dot{U}_{BC} = a^2 U ; \quad \dot{U}_{CA} = a U$$

faz dolaqlarından keçən cərəyanlar, xətlərdən keçən cərəyanlardan fərqli olduqları üçün faz və xətt cərəyanları bərabər alınmır.

Həmin cərəyanlar arasındakı fərqi göstərmək üçün üçbucaq birləşdirilmiş işlədicilərin müqavimətlərini

$$Z_{AB} = z e^{j\varphi}$$

$$Z_{BC} = z e^{j\varphi}$$

$$Z_{CA} = z e^{j\varphi}$$

işarə edirik.

burada z -müqavimətlərin bərabər qiymətlərini;

φ -isə müqavimətlərin xarakterini göstərir.

İşlədicilərdən keçən simmetrik faz cərəyanlarını, tətbiq olunmuş simmetrik faz gərginlikləri və bərabər yük müqavimətləri vasitəsilə təyin edirik.

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = a^3 \frac{U}{z} e^{-j\varphi}$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}} = a^2 \frac{U}{z} e^{-j\varphi}$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}} = a \frac{U}{z} e^{-j\varphi}$$

Burada faz cərəyanlarının qiymətlərini yerlərinə qoymaqla

$$\dot{I}_{AB} = a^3 I e^{-j\varphi}$$

$$\dot{I}_{BC} = a^2 I e^{-j\varphi}$$

$$\dot{I}_{CA} = a I e^{-j\varphi}$$

Aydındır ki, işlədicinin müqavimətləri xalis aktiv olduğu zaman faz cərəyanları onları yaradan və mühafizə edən uyğun faz gərginlikləri ilə eyni fazda olacaqdır:

$$\dot{I}_{AB} = a^3 I$$

$$\dot{I}_{BC} = a^2 I$$

$$\dot{I}_{CA} = a I$$

Xətlərdən keçən xətt cərəyanlarını tapmaq üçün ayrı-ayrı düyün nöqtələri üçün Kirxhofun birinci qanunu tətbiq edilir. Qurulmuş tənliklərdən:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

xətt cərəyanları təyin olunur. Hər bir xətt cərəyanı, aid olduğu xətt ilə qonşu olan iki faz dolağının cərəyanlarının həndəsi fərqinə bərabərdir.

Faz cərəyanlarına aid qiymətləri yerlərinə qoymaqla xətt cərəyanları üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$\dot{I}_A = a^3 \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} - a \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = (a^3 - a) \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = a^3 (1 - a) \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = a^3 \sqrt{3} \frac{U}{Z} e^{-j(30+\varphi)}$$

$$\dot{I}_B = a^2 \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} - a^3 \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = (a^2 - a^3) \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = a^2 (1 - a) \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = a^2 \sqrt{3} \frac{U}{Z} e^{-j(30+\varphi)}$$

$$\dot{I}_C = a \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} - a^2 \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = (a - a^2) \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = a(1 - a) \frac{U}{Z} e^{-j\varphi} = a \frac{U}{Z} e^{-j(30+\varphi)}$$

Əgər işlədicilərin müqavimətləri aktiv müqavimət isə, o zaman xətt cərəyanları:

$$\dot{I}_A = a^3 \sqrt{3} I e^{-j30} = \sqrt{3} \dot{I}_{AB} e^{-j30}$$

$$\dot{I}_B = a^2 I e^{-j30} = \sqrt{3} \dot{I}_{BC} e^{-j30}$$

$$\dot{I}_C = a \sqrt{3} I e^{-j30} = \sqrt{3} \dot{I}_{CA} e^{-j30}$$

olur.

Bu tənliklərdən iştirak edən operatorlar aşağıdakılara bərabərdir:

$$a^3 - a = a^3 \sqrt{3} e^{-j30}$$
$$a^2 - a^3 = a^2 \sqrt{3} e^{-j30}$$
$$a - a^2 = a \sqrt{3} e^{-j30}$$

3.16. Üçfazlı dövrlərdə qeyri-simmetriklilik

Üçfazlı dəyişən cərəyan sistemlərində yol verilən qeyri-simmetriklilik, görülən bu və ya digər işin xarakterindən asılıdır. Məsələn üçün, birfazlı transformatorlardan təşkil olunmuş transformatorlar qrupunu təmirə çıxarmaq üçün, onları bir-bir işdən çıxarmaq lazımdır. Həmçinin üçfazlı veriliş xətlərində təmir işləri görmək üçün məftilləri bir-bir açmaq və təmir etmək lazım gəlir. Belə istismar işinə birfazlı açma deyilir.

Üçfazlı sistemlərin göstərilən şəkilli qeyri-simmetrik rejimlərinə, qəza və ya normal iş hallarında, ancaq qısa müddətlər üçün yol verilir.

Bunlardan əlavə, üçfazlı sistemlərdə uzun müddətli qeyri-simmetrik iş rejimlərinə də yol verilməməkdədir. Son zamanlarda tətbiq edilən birfazlı cərəyan işlədiciləri – qaynaq aparatları, elektrik ocaqları, elektrik dəmiryolları, üçfazlı sistemlərin simmetrikliliyini olduqca pozmaqdadır.

Qeyri-simmetrililiyin xüsusi halı son zamanlarda geniş tətbiqat tapan DPZ (iki məftillər) sistemidir.

Veriliş xətlərində tətbiq edilən birfazlı açma üsulu, birdövrəli hava xətlərini lazımı ehtiyat saxlamaqdan azad edir, bu da xətlərin çəkilməsinə sərf olunan xərcləri azaldır, sistemdə paralel işləyən elektrik stansiyalarının avariyları zamanı dayanıqlığını yüksəldir. Qeyri simmetrik sxemlərin göstərilən üstünlüklərindən əlavə, bir sıra tərəfləri vardır. Şəbəkələrdə əmələ gələn qeyri-simmetriklilik, gərginliklərin simmetrikliliyinin

pozulmasına səbəb olur. Qeyri simmetrik gərginliklər isə üçfazlı mühərriklərdə və transformatorlarda əlavə bərabərləşdirici cərəyanlar əmələ gətirir. Belə əlavə cərəyanlar maşın və transformatorların dolaqlarını qeyri-müntəzəm dərəcədə qızdırdığından onların gücünü azaltmaq lazım gəlir. Həmin hal üçfazlı generatorlara da aiddir. Generatorun dolaqlarından keçən qeyri-simmetrik cərəyanlar onun rotorunun massiv metallik hissələrində bə təsirləndirici dolaqlarında əlavə istilənmələr əmələ gətirir və buna görə də generatorun elektrik gücünün azaldılmasını tələb edir. Elektrik veriliş xətlərində qeyri-simmetrik cərəyanlar təsirində gərginlik və güc itkiləri yüksəlir, bundan əlavə zəif cərəyanlı rabitə xətlərində güclü elektromaqnit təsiri adlanır.

3.17. Qeyri-simmetrik yüklü üçfazlı sistemlər

Simmetrik elektrik hərəkət qüvvəli və ya gərginlikli üçfazlı mənbələrin dövrəsində, bərabər olmayan qiymətli impedanslar (zahiri müqavimətlər) qoşulduğu zaman, dövrədən keçən cərəyanların simmetriyini pozulur.

Mənbənin və işlədicinin fazlarından keçən cərəyanlar, müxtəlif fazlar üçün müxtəlif qiymətlər alır. Belə hallarda dövrədəki cərəyanların təyin edilməsi üçün simvolik kəmiyyətlər əməliyyatına əsaslanmış xüsusi metodlardan istifadə etmək lazım gəlir.

1. Ulduz birləşmə halı. Ulduz birləşmiş simmetrik gərginlikli mənbənin dövrəsinə, yenə də ulduz birləşmiş üç bərabər olmayan impedans qoşumuşdur:

$$Z_A = Z_A e^{j\varphi^a}$$

$$Z_B = Z_B e^{j\varphi^b}$$

$$Z_C = Z_C e^{j\varphi^c}$$

Əgər mənbənin bütün fazları üçün bərabər qəbul olunan faz gərginliyi (U) məlum edilirsə, o zaman ayri-ayrı fazların simmetrik gərginlikləri:

$$\dot{U}_A = a^3 U$$

$$\dot{U}_B = a^2 U$$

$$\dot{U}_C = a U$$

şəklində yazılır. İşlədicinin fazlarındakı gərginliklər:

$$\dot{U}'_A = \dot{I}_A Z_A$$

$$\dot{U}'_B = \dot{I}_B Z_B$$

$$\dot{U}'_C = \dot{I}_C Z_C$$

Buna görə də mənbənin neytralı ilə işlədicinin neytralı arasında müəyyən, \dot{U}_o qədər potensiallar fərqi alınmış olacaqdır. Əgər bu nöqtələr, müqaviməti Z' olan bir keçirici ilə birləşdirilirsə, o zaman buradan I' cərəyan şiddəti keçəcəkdir. Üçfazlı sistemlərin müxtəlif halları üçün, yəni birinci halda sıfır xətsiz dövrə üçün:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

İkinci halda isə sıfır xətlə dövrə üçün:

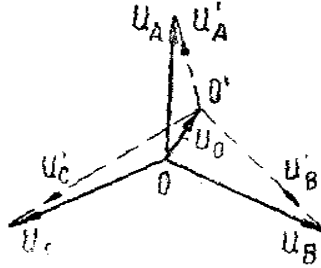
$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}' = 0$$

cərəyanların toplusu sıfıra bərabərdir.

Birləşdirici məftillərin müqavimətini nəzərdən atmaqla, mənbənin və işlədicinin eyni adlı nöqtələrinin (A və A' , B və B' , C və C') eyni potensialı olmasını alırıq. Bu nöqtələr vektor diaqramında biri-digərinin üzərinə düşməlidir.

Əvvəlcə mənbənin $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ simmetrik gərginlikləri, sonra isə işlədicinin U'_A, U'_B, U'_C gərginlikləri üçün vektor diaqramları qurulur və sonra bunlar biri-digəri üzərinə qondarılır (şəkil 3.18).

Alınan bu ümumi diaqramdan istifadə etməklə ulduz birləşmiş işlədicinin qeyri-simmetrik gərginliklərini tapmaq olur:



Şəkil 3.18. Üşfəzlü qeyri – simmetrik sistemlərin vektor diaqramı.

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_0$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_0$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_0$$

burada \dot{U}_0 - sistemdəki iki neytral, yəni mənbə ilə işlədicinin neytralları arasındakı potensiallar fərqi, bu kəmiyyətə yerdəyişmə gərginliyi deyilir.

Yerdəyişmə gərginliyi ümumiyyətlə mənbənin faz gərginliyinin müəyyən hissəsini təşkil edir, ona görə yerdəyişmə gərginliyi vasitəsilə göstərilə bilər, belə ki:

$$\dot{U}_0 = K \dot{U}$$

burada K –kompleks bir koeffisiyentdir.

Bu ifadəni nəzərə almaqla yuxarıda göstərilmiş işlədicinin qeyri-simmetrik faz gərginliklərini yenidən tapmaq olar:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_A &= (a^3 - K)U \\ \dot{U}'_B &= (a^2 - K)U \\ \dot{U}'_C &= (a - K)U \end{aligned} \right\}$$

buradan da cərəyanları asanlıqla tapmaq olar:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= (a^3 - K)UY_A \\ \dot{I}_B &= (a^2 - K)UY_B \\ \dot{I}_C &= (a - K)UY_C \end{aligned} \right\}$$

Bundan sonra bu cərəyanların cəmi üçməftilli sistem üçün sıfıra bərabər edilməklə:

$$U[(a^3 - K)Y_A + (a^2 - K)Y_B + (a - K)Y_C] = 0$$

buradan K əmsalı tapılır ki:

$$K = \frac{a^3 Y_A + a^2 Y_B + a Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}$$

bu kəmiyyətə yerdəyişmə əmsalı deyilir.

Əgər sistem dördməftilli isə, o zaman yerdəyişmə əmsalı:

$$K = \frac{a^3 Y_A + a^2 Y_B + a Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0}$$

bir qədər kiçilmiş olur. Bu tənliklərdə Y_A, Y_B, Y_C - işlədicilərin tam keçiricilikləri olub verilmiş müqavimətlər vasitəsilə tapılır:

$$Y_A = \frac{1}{Z_A}$$

$$Y_B = \frac{1}{Z_B}$$

$$Y_C = \frac{1}{Z_C}$$

Yerdəyişmə əmsalı vasitəsilə sistemi aydınlaşdıran bütün kəmiyyətlər tapılır, belə ki, yerdəyişmə gərginliyi:

3.18. Simmetrik mürəkkəbələr metodu

Qeyri-müntəzəm yüklənmə, bir və ya iki fazlı qapanma və yerləbirləşmə hadisələri, üçfazlı sistemlərdə cərəyanlar və bəzi hallarda isə gərginliklər simmetrililiyinin pozulmasına səbəb olur. Belə hallarda ayrı-ayrı fazların gərginlikləri və cərəyanları həm qiymət və həm də faz etibarilə dəyişir. Çox vaxt gərginliklərin simmetrililiyi az dəyişdiyi üçün sistemdə təkcə cərəyanlar qeyri-simmetrililiyi nəzərə alınır. Belə hallarda üçfazlı sistemdən keçən qeyri-simmetrik cərəyanları tapmaq üçün gərginlikləri simmetrik qəbul etmək lazım gəlir ki, bu vəziyyətdə çox vaxt qeyri-müntəzəm yüklənmə alınır. Bəzi hallarda gərginliklərin simmetrikliyi çox dəyişdiyi üçün, sistemdə cərəyanların qeyri-müntəzəmliyindən əlavə, gərginliklər qeyri-simmetrikliyi də nəzərə alınır. Bu vəziyyət ən çox qısa qapanma və yerlə birləşmə hadisələrindən əmələ gəlir. simmetrik mürəkkəbələr metodu adlanan bu üsula görə, hər hansı qeyri-simmetrik üçfazlı sistem, üç müstəqil və simmetrik üçfazlı sistemə ayrılır; bu sistemlərdən birincisi düz ardıcılıqla, ikincisi əks ardıcılıqla fırlanan simmetrik vektorlardan, üçüncüsü isə müsbət cəhətə fırlanan eyni fazlı vektorlardan ibarət olur. Qeyri-simmetrik sistemi təşkil edən bu simmetrik sistemlərdən birincisinə düzsıralı sistem, ikincisinə əks sıralı sistem, üçüncüsünə sıfır sıralı sistem deyilir.

Qeyri-simmetrik cərəyanlar və ya gərginliklər sistemi qiymətcə müxtəlif, fazca isə eyni olmayan üç vektor vasitəsilə verilir. Belə bir sistem, üç müstəqil sistem və simmetrik şəkildə göstərilə bilər ki, bunlardan birincisi – düz sıralı, ikincisi- əks sıralı, üçüncüsü –sıfır sıralı adlanır.

Şəkil 3.19. qeyri-müntəzəm yüklənmiş hər hansı bir qeyri-simmetrik sistemin cərəyanları göstərilmişdir. Həmin sistemi təşkil edən simmetrik sistemlərin ayrı-ayrı cərəyan vektorları;(faz cərəyanları) irəlindəki bəhslərə əsasən tapılır. Belə ki, düz sıralı cərəyanlar:

$$\dot{I}_{1A} = a^3 \dot{I}_{1A}$$

$$\dot{I}_{1B} = a^2 \dot{I}_{1A}$$

$$\dot{I}_{1C} = a \dot{I}_{1A}$$

əks sıralı cərəyanlar;

$$\dot{I}_{2A} = a^3 \dot{I}_{2A}$$

$$\dot{I}_{2B} = a \dot{I}_{2A}$$

$$\dot{I}_{2C} = a^2 \dot{I}_{2A}$$

sıfır sıralı cərəyanlar isə: $\dot{I}_{0A} = \dot{I}_{0B} = \dot{I}_{0C}$ bərabərdir.

Qeyri-simmetrik sistemin ayrı-ayrı faz cərəyanları bu üç sistemin müvafiq mürəkkəbələri cəminə bərabərdir:

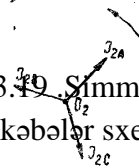
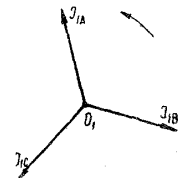
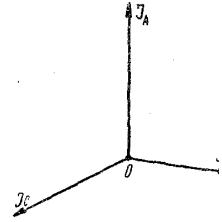
$$\dot{I}_A = \dot{I}_{0A} + \dot{I}_{1A} + \dot{I}_{2A}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{0B} + \dot{I}_{1B} + \dot{I}_{2B}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{0C} + \dot{I}_{1C} + \dot{I}_{2C}$$

və ya bütün yuxarıdakı qiymətləri A fazının kəmiyyətləri ilə əvəz edərək tapırıq:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{0A} + a^3 \dot{I}_{1A} + a^3 \dot{I}_{2A}$$



Şəkil 3.19. Simmetrik mürəkkəbələr sxemi.



$$\dot{I}_B = \dot{I}_{0A} + a^2 \dot{I}_{1A} + a \dot{I}_{2A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{0A} + a \dot{I}_{1A} + a^2 \dot{I}_{2A}$$

Bu tənliklərə toplama tənlikləri deyilir. Verilən tənlikləri bir yerdə həll etməklə, toplayıb üçə bölməklə sıfır sıfır sıralı cərəyanı:

$$\frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = \dot{I}_{0A} + \frac{1}{3}\dot{I}_{0A}(a^3 + a^2 + a) + \frac{1}{3}\dot{I}_{2A}(a^3 + a + a^2)$$

$$\dot{I}_{0A} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C)$$

Sonra bu tənliklərdən birincisini a^3 , ikincisini a , üçüncüsünü isə a^2 vurmaq və toplayıb üçə bölməklə düz sıralı cərəyanı:

$$\frac{1}{3}(a^3 \dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C) = \frac{\dot{I}_{0A}}{3}(a^3 + a + a^2) + \dot{I}_{1A} + \frac{\dot{I}_{2A}}{3}(a^3 + a^2 + a)$$

$$\dot{I}_{1A} = \frac{1}{3}(a^3 \dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C)$$

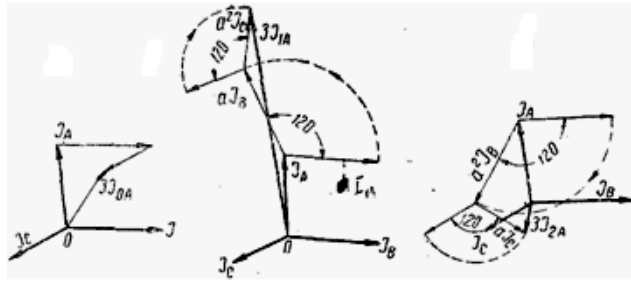
Tənliklərdən birincisini a^3 , ikincisini a^2 , üçüncüsünü isə a vurmaqla və toplayıb üçə bölməklə əks sıralı cərəyanı:

$$\frac{1}{3}(a^3 \dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C) = \frac{\dot{I}_{0A}}{3}(a^3 + a^2 + a) + \frac{\dot{I}_{1A}}{3}(a^3 + a + a^2) + \dot{I}_{2A}$$

$$\dot{I}_{2A} = \frac{1}{3}(a^3 \dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C)$$

alırıq .

Bu tənliklərə ayırma tənlikləri deyilir və bunların vasitəsilə ayrı-ayrı mürəkkəbə sistemlər, qeyri-simmetrik sistemin müfəfiq şəkildə parçalanması yolu ilə tapılır. Yuxarıdakı toplama və ayırma tənlikləri analitik əməliyata yol verdikləri kimi, qrafik əməliyat üçündə əsasdır. Qeyri-simmetrik sistemin vektor diaqramı verildiyi zaman, onun vektorlarını, tənliklərə əsasən, fırlandırılıb toplamaqla və sonra üçə bölməklə simmetrik mürəkkəbə vektorlarını tapmaq olur.



Şəkil 3.20. Simmetri mürəkkəblərin vektor diaqramları.

Tutaq ki, üçfazlı sistemi xarakterizə edən cərəyan şiddətləri ancaq vektor diaqramışəklində verilmişdir .

Bu halda simmetrik mürəkkəblərin tapılması üçün qrafiki üsüldən başqa qeyri hesablama metodu seçmək mümkün deyildir. Ona görə, irəlidə ayırma formulaları adlandırdığımız tənlikləri əsas tutub verilmiş qeyri-simmetrik diaqramı təhlil edirik.

Sıfır sıralı cərəyanı tapmaq üçün, I_A vektorunun ucundan etibarən I_B və I_C vektorları özlərinə paralel və bərabər çəkilir. Alınan çoxbucaqlının uclarını qapayan vektorun üçdə biri A fazanın sıfır sıralı cərəyanını verəcəkdir .

Düz sıralı cərəyanı tapmaq üçün I_A vektorunun nəhayətindən aI_B ,yəni müsbət cəhətə 120° .

3.19. Qeyri-sinusoidal e.h.q. və cərəyanlar

Dəyişən cərəyan generatorlarından alınan e.h.q.-nin tam sinusoidal olmaması nəzərə çarpır. Osilloqraflar vasitəsilə cızılan e.h.q.-ləri əyriləri , az və ya çox dərəcədə sinusoid formasından kənar çıxırlar ki, bunun da iki səbəbi var-

dır. Generatorlarda induksiyaalan e.h.q.-nin qeyri-sinusoidallığının birinci səbəbi, hava məsafəsində (stator və rotor arasında) maqnit induksiyasının paylanması generatorun yükündən asılı olaraq dəyişməsidir. İkinci səbəb, faz dolaqlarının stator çevrəsi üzrə qeyri-simmetrik paylanmasıdır.

Çox vaxt induksiyalanmış e.h.q.-nin hələ sinusoidal olması şəraitində belə, materialların keçirəcəkləri cərəyanlar qeyri-sinusoidal ola bilər. Bunun səbəbi cərəyan dövrəsi parametrlərinin sabit qalmamasıdır. Bunlardan əlavə cərəyanların qeyri-sinusoidalılığına dövrdə olan tutum da əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilər.

Bütün dəyişən cərəyan quruluşlarında həm gərginlik və həm də cərəyanların qeyri-sinusoidal alına bilməsi görünür. Odur ki, belə elektrik dövrlərini hesablamaq üçün qeyri-sinusoidalığı öyrənmək və bunun üçün də qeyri-sinusoidal ayrılıqları təhlil etmək qaydalarını bilmək lazımdır. Buna görə dəyişən cərəyan dövrlərini xarakterizə edən qeyri-sinusoidal gərginlik və cərəyan tənliklərinin periodik funksiyalar olmasını nəzərə alaraq onları məlum fəzə sırası əsasında bir sıra sinusoidal mürəkkəblərə ayırmaq lazımdır.

3.20. Qeyri-sinusoidal kəmiyyətlərin təhlili

Dəyişən cərəyan dövrlərində təsir edən qeyri-sinusoidal dəyişən kəmiyyətlərin tənlikləri, periodik funksiyalar şəklində göstərilə bilər və fəzə sırasından istifadə edilir. Məsəl üçün, bir dövrdə təsir edən qeyri-sinusoidal periodik cərəyanı $i = f(\omega t)$ funksiyası şəklində göstərmək olur. Fəzə sırası formulu tətbiq olunmaqla həmin funksiyayı bir triqonometrik sıraya ayırmaq mümkündür:

$$i = f(\omega t) = I_0 + I_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) + I_{3\max} \sin(3\omega t + \psi_3) + I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) + \dots$$

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) \quad \text{alırıq.}$$

burada I_0 –qeyri-sinusoidal kəmiyyətin sabit mürəkkəbəsi, $I_{\max} \sin(\omega t + \psi_1)$ - birinci və ya əsas harmoniki, yerdə qalanlar isə $I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k)$ - ali dərəcəli harmonikləri adlanır.

Qeyri-sinusoidal cərəyanı təşkil edən ayrı-ayrı harmoniklərin tənliklərindən görüldüyü kimi, əsas harmonikin tezliyi funksiyanın ös tezliyinə bərabər, ali dərəcəli harmoniklərin tezlikləri isə hərəsi öz dərəcəsi dəfə yüksək olur.

Fürə sırasını ikiqat triqonometrik sıra şəklində göstərmək əlverişli olur, belə ki, hər bir harmoniki göstərən sinusoidal ifadəni iki hissəyə bir sinusoid və bir kosinusoida ayırmaq mümkündür:

$$\begin{aligned} I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) &= \\ &= I_{k\max} \sin k\omega t \cos \psi_k + I_{k\max} \cos k\omega t \sin \psi_k \end{aligned}$$

Buradakı sabit kəmiyyətləri aşağıda göstərilən şəkildə:

$$I'_{k\max} = I_{k\max} \cos \psi_k$$

$$I''_{k\max} = I_{k\max} \sin \psi_k$$

işarə edib alınan kəmiyyətləri uyğun harmoniklərin amplitudları adlandırmaq lazımdır. Bu kəmiyyətlər yerlərinə qoyulursa:

$$\begin{aligned} I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) &= \\ &= I'_{k\max} \sin k\omega t + I''_{k\max} \cos k\omega t \end{aligned}$$

şəklini alır, o zaman cərəyan şiddəti üçün yazılmış birqat sıra şəklə, yəni:

$$i = I_0 + I'_{1\max} \sin \omega t + I'_{2\max} \sin 2\omega t + I'_{3\max} \sin 3\omega t + \\ + \dots + I'_{k\max} \sin k\omega t + I''_{1\max} \cos k\omega t + \\ + I''_{2\max} \cos 2k\omega t + I''_{3\max} \cos 3k\omega t + \dots + I''_{m\max} \cos k\omega t + \dots$$

və

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I'_{k\max} \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} I''_{k\max} \cos k\omega t$$

düşmüş olur.

Əgər sinusoidal kəmiyyət yuxarıdakı tənlik şəklində verilirsə, o zaman onun ayrı-ayrı harmoniklərinin amplitud və fazı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$I_{k\max} = I'_{k\max} + jI''_{k\max}$$

$$I_{k\max} = \sqrt{I'^2_{k\max} + jI''^2_{k\max}}$$

$$\operatorname{tg} \psi_k = \frac{I''_{k\max}}{I'_{k\max}}$$

3.21. Sabit mürəkkəbənin təyini

Qrafikin müsbət yarımdalğasının sahəsi mənfi yarımdalğasının sahəsinə bərabər olan qeyri-sinusoidal kəmiyyətlərin tərkibində sabit mürəkkəbə alınmır. Bunu isbat etmək üçün, qeyri-sinusoidal funksiyanın bir tam period ərzində orta qiymətini tapmaq lazımdır. Qeyri-sinusoidal periodik kəmiyyətin tənliyi $i = f(\omega t)$ verilmişdir, bunun orta qiyməti:

$$\frac{1}{T} \int_0^T i dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_0 dt + \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{k=1}^{\infty} I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) dt = I_0$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sum_{k=1}^{\infty} I_{k\max} \sin(k\omega t + \psi_k) dt = 0$$

bərabərdir.

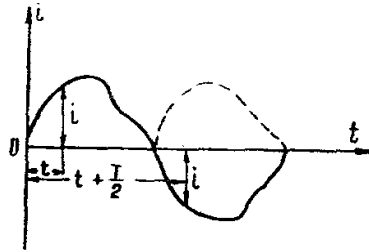
Horizontal oxa nəzərən simmetrik olan funksiyalar üçün bu orta qiymət sıfır olduğundan, sıranın içərisindəki sabit mürəkkəbə də sıfıra bərabər alınır.

3.22. Horizontal oxa nəzərən simmetrik olan əyrinin təhlili

Əyrilən vertikal oxa nəzərən simmetrik olan qeyri-sinusoidal kəmiyyətlərin tərkibində cüt dərəcəli harmoniklər alınmır (şəkil 3.21) . Belə simmetrik əyriləri qeyri-sinusoidal kəmiyyətlərin tənliyi aşağıdakı şərtlərə tabe olmalıdır:

$$i = f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$$

$$f(\omega t) + f(\omega t + \pi) = 0$$



Şəkil 3.21. Qeyri – sinusoidal cərəyanın diqramı.

$$I_0 + I_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) + I_{3\max} \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots + I_0 + I_{1\max} \sin(\omega t + \pi + \psi_1) + I_{2\max} \sin(2\omega t + 2\pi + \psi_2) + I_{3\max} \sin(3\omega t + 3\pi + \psi_3) + \dots = 0$$

Fürə sırası üzrə bütün qiymətlər yerinə yazılırsa aşağıdakı triqonometrik ifadə alınır:

Ayrı-ayrı harmoniklərin fazını tək fazını tək π qədər dəyişməklə sinusoidlərin işarələri dəyişir, cüt π qədər dəyişməklə dəyişmir. Bunları nəzərə almaqla yuxarıdakı sırada:

$$2I_0 + I_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) + I_{3\max} \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots \\ - I_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) - I_{3\max} \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots = 0$$

bütün tək dərəcəli harmoniklərin işarələrinin müxtəlif olması və buna görə də qarşılıqlı ixtisar olunmaları nəticəsində:

$$2I_0 + 2I_{2\max} \sin(2\omega t + \psi_2) + 2I_{4\max} \sin(4\omega t + \psi_4) + \dots = 0$$

alınır. Bu da ancaq müvafiq harmoniklərin amplitudlarının sıfıra bərabər olması ilə, yəni $I_0 = I_2 = I_4 = I_6 = \dots = 0$ alınır.

Beləliklə verilmiş simmetrik funksiya üçün aldığımız sıranın tərkibində ancaq tək dərəcəli harmoniklər iştirak edəcəkdir.

$$i = I_{1\max} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{3\max} \sin(3\omega t + \psi_3) + \\ + I_{5\max} \sin(5\omega t + \psi_5) + \dots$$

IV FƏSİL ELEKTRİK ÖLCÜLƏRİ

4.1. Ölcmələr haqqında məlumat və əsas anlayışlar

Ölcmə hər hansı kəmiyyətin, şərti olaraq, vahid qəbul edilmiş eyni cinsli digər kəmiyyətlə müqayisəsi prosesinə deyilir. Ölçü vahidi qəbul edilmiş və dəqiq hazırlanmış nümunə kəmiyyəti **ölçü** adlanır.

Ölcülən kəmiyyəti ölçü vahidi ilə müqayisə etməyə imkan quruluşlara **ölçü cihazları** deyilir. Hər bir ölçmədə tamamilə müəyyən ölçü vahidləri sistemindən və müvafiq ölçü qurğularından istifadə edilməlidir. Dünyada BS vahidlər sistemi qəbul olunmuşdur ki, bunun da bir hissəsini təşkil edən elektrik və maqnit vahidləri sistemi dörd əsas vahidlərə (metr, kiloqram, saniyə, Amper) əsaslanır. Bu və ya digər elektrik kəmiyyətini ölçən quruluşlar **elektrik ölçü cihazları** adlanır.

Elektrik avadanlığının iş rejiminə müntəzəm surətdə nəzarət yetirmək, istehsal olunan və müxtəlif işlədicilər tərəfindən sərf edilən elektrik enerjisini hesaba almaq üçün elektrik dövrlərinə müxtəlif işlədicilər tərəfindən sərf edilən elektrik enerjisini hesaba almaq üçün elektrik dövrlərinə müxtəlif ölçü cihazları qoşulur. Bu cihazlarla cərəyanı, gərginliyi gücü, $\cos\varphi$, tezliyi, elektrik enerjisini və s. ölçürlər. Bəzi elektrik ölçü cihazları elektrik avadanlığının vəziyyətini təyin etmək üçün (izolyasiyaya nəzarət, müqavimətlərin ölçülməsi) tətbiq olunur.

Müasir dövrdə bütün ölçü növləri və vasitələrindən ən geniş inkişaf ediləni elektrik ölçü üsullarıdır. Bunlar yüksək dəqiqliyi etibarlılığı ilə fərqlənir. Oudur ki, elektrik ölçü cihazlarının mexanzmləri bir çox qeyri-elektrik kəmiyyətləri ölçmədə istifadə edilməklə, son zamanlar müxtəlif istehsal proseslərinin avtomatlaşdırılması və nəzarət işlərində daha geniş tətbiq olunur.

Elektrik ölçü cihazları bilavasitə qiymətləndirən cihazlara və müqayisə cihazlarına bölünür.

Bilavasitə qiymətləndirən və ya göstərişi cihazlar, bu və ya digər ölçülən kəmiyyəti bilavasitə cihazın şkalası üzrə hesablamağa imkan verən cihazlara deyilir. Belə cihazlara misal olaraq ampermetr, voltmetr, hersmetr, vattmetr və s östərmək olar.

Müqayisə elektrik ölçü cihazlarında ölçmə, ölçülən kəmiyyətin verilən kəmiyyət ölçüsü ilə müqayisəsi yolu ilə icra edilir. Bunlara müxtəlif körpülər və kompensasiya ölçü quruluşları aiddir. Elektrik ölçüləri texnikasında bilavasitə göstərən cihazlar daha geniş yayılmışdır. Bu ölçmə üsulu nisbətən dsadə olub, tez ölçü aparmağa imkan verməklə, kifayət qədər dəqiq (0,05-2% xəta ilə) nəticələr verir.

Müqayisə üsulu nümunəvi ölçülər və dəqiq cihazlar tələb etməklə, ölçü aparmağa kifayət qədər çox vaxt sərf olunması və nisbətən mürəkkəb vəübaa cihazların tətbiqi ilə əlaqədardır.

4.2.Bilavasitə qiymətləndirən cihazlarla ölçmənin əsas göstəriciləri.

Elektrik ölçü cihazlarının göstərişi, adətən, ölçülən kəmiyyətin həqiqi qiymətindən bir qədər fərqlənir. Bu ölçü dövrəsi parametrlərinin qeyri-sabitliyi, ölçü mexnizmi konstruksiyasının qeyri-mqkəmməliyi (sqrtünmə, havanın müqaviməti və.s) və xarici amillərin (kənar maqnit və elektrik sahələri, mühitin tempraturu və.s) təsiri ilə dardır. Cihazın göstərişi x_c ilə ölçülən kəmiyyətin həqiqi qiymətinin x_h fərqi cihazın mütləq xətası adlanır: $\Delta x = x_c - x_h$. Mütləq xətanın əks qiymətinə isə **düzəliş** deyilir $k = -\Delta x = x_h - x_c$.

Buradan ölçülən kəmiyyətin həqiqi qiyməti:

$$x_h = x_c + k.$$

Cihazın şkalasının verilmiş hissəsində ölçmənin dəqiqliyini *nisbi xəta* müəyyən edir, və faizlərlə ifadə

edilir: $\gamma\% = \frac{\Delta x}{x_h} \cdot 100\%$. Mütləq xəta cihazın bütün şkalası üzrə sabit qaldığı halda, nisbi xəta şkalanın başlanğıcına doğru artacaqdır. Ona görə də cihazlar elə seçilməlidir ki, ölçülən kəmiyyət onların nominal ölçü həddindən çox fərqlənməsin. Cihazın xətasını onun tam şkalası üzrə qiymətləndirmək üçün *əsas köçürülmüş xəta* məfhumundan istifadə edilir ki, bu da ən böyük mütləq xətanın cihazın nominal göstəriş həddinə nisbəti ilə təyin olunur:

$$\gamma\% = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = \frac{x_c - x_h}{x_n} \cdot 100\%$$

Bu kəmiyyətin ən böyük qiyməti cihazların təsnifatında onların dəqiqlik dərəcəsini müəyyən edilir.

Cihazın göstəricisinin Δa bucaq və ya Δl xətti yerdəyişmə artımının (dərəcə, millimetr, yaxud sadəcə olaraq şkala bölgüsü ilə ifadə olunmuş) ölçülən müvafiq artımına nisbəti *cihazın həssaslığı adlanır*. Məsələn, ampermetr üçün həssaslıq belə təyin edilir.

$$S = \frac{\Delta a}{\Delta i} \text{ (bölgü/ Amper)}$$

Qeyri-müntəzəm şkalada cihazın həssaslığı skalanın ayrı-ayrı hissələrində müxtəlif qiymətlərə malik olacaqdır.

Həssaslığın tərs qiyməti cihaz sabiti və ya bölgüsünün qiyməti adlanır. Məsələn, voltmetr üçün

$$C = \frac{1}{s} = \frac{\Delta u}{\Delta a} \text{ B bölgü}$$

Bu kəmiyyəti skalanın bölgüləri sayına vurmaqla ölçülən kəmiyyətin qiyməti alınır.

4.3. Qeyri - elektrik kəmiyyətlərin elektrik üsulları ilə ölçülməsi

Qeyri – elektrik kəmiyyətlərin ölçülməsində elektrik ölçmə üsullarının tətbiqi müasir texnikada geniş yayılmışdır. Ölçmələrin yüksək dəqiqliyi, cihazların həssaslığı, ölçü həddinin genişliyi, istənilən kəmiyyətin uzaq məsafədən ölçülməsi və qeyd edilə bilməsi və s. buna səbəb olmuşdur. Hər hansı qeyri elektrik kəmiyyəti elektrik vasitələrlə ölçmək üçün ilk növbədə onu elektrik kəmiyyətə çevirmək lazımdır. Bu vəzifəni yerinə yetirən quruluş və cihazlar *çeviricilər və ya vericilər* adlanır. Çeviricilərin əsas xarakteristikaları onların həssaslığı, dəqiqliyi, xəttliliyi, çevirmə həddi və ətalətliyidir.

İstənilən çevirici aşağıdakı əsas hissələrdən ibarət olur:

- a) həssas element: bu ölçülən kəmiyyəti bilavasitə qəbul edir;
- b) verici: bu isə həssas elementin çıxış kəmiyyəti ölçü cihazına vermək üçün əlverişli şəkllə çevirir.

Praktikada elektrik üsulu ilə əsasən aşağıdakı qeyri - elektrik kəmiyyətlər ölçülür: mexaniki 9 xətti yerdəyişmə, sürət, təzyiq, deformasiya və.s), istilik (temperatur, istilik miqdarı), maqnit maqnit kəmiyyətləri (maqnit sahəsinin intensivliyi, maqnit nüfuzluluğu və.s.), zaman (zaman fasilələri) və s.

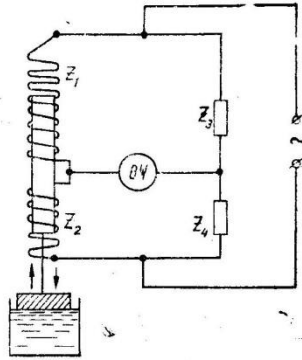
Çeviricilər iki əsas qrupa bölünür: parametrik və generator. Parametrik çeviricilərdə qeyri – elektrik kəmiyyət hər hansı elektrik və ya maqnit parametrinin (müqavimət, induktivlik, tutum, maqnit nüfuzluluğu və s.) dəyişməsinə səbəb olur. Generator çeviricilərində isə ölçülən kəmiyyət e.h.q.-nə və ya cərəyana çevrilir

a) Parametrik çeviricilər. Bunlara reostat çeviricilər, məftilli çeviricilər, termomüqavimətlər, həmçinin induktiv, tutum və fotoelektrik çeviricilər aiddir.

Reostat çeviricilər, adından məlum olduğu kimi, sürüngəçi ölçülən kəmiyyətin təsiri ilə vəziyyətini dəyişən reostat və ya potensiometrədən ibarətdir. Sürüngəcin hərəkəti ölçü cihazının göstərişinin dəyişməsinə səbəb olur, bununla da ölçülən qeyri – elektrik kəmiyyətin qiymətini müəyyən etmək olur. Bu prinsiplə quyuların diametrini ölçürlər.

Məftilli çeviricilər (tenzometrələr) deformasiyaları ölçmək üçün tətbiq edilir. Tenzometrələr yüksək xüsusi müqavimətə malik olan nazik məftildən (20-30 mk) hazırlanır. Məftil sınaq xətt şəklində kağız üzərində yerləşdirilir və həmin kağızla birlikdə tədqiq edilən nümunəyə yapışdırılır. Həmin nümunənin uzanması və ya qısalması nəticəsində məftil deformasiyaya məruz qalır və ya qısalması nəticəsində məftil deformasiyaya məruz qalır və müqaviməti dəyişir.

Termomüqavimətlər məftilli və yarımkeçiricili olur. Bunlardan quyularda temperaturu ölçmək üçün istifadə edirlər.



Şəkil 4.1. Məftilli termomüqavimət sxemi.

Məftilli termomüqavimətlər platin və ya misdən sarğac və ya nazik məftil şəklində hazırlanır. Quyudakı temperaturu ölçmək üçün termomüqaviməti körpü sxeminə qoşub, məlum r (θ) asılılığına əsasən müqavimətin qiymətinə görə temperaturu təyin edirlər.

Yarımkeçiricili termomüqavimətlər yüksək temperatur əmsalına malikdir, bu isə çeviricinin həssaslığının artmasına səbəb olur. Lakin müqavimətin r , temperaturdan θ asılılığı geyri-xətti olduğundan bunların ölçü sxemlərində tətbiqi mürəkkəbləşir.

İnduktiv çeviricilərin iş prinsipi ölçülə kəmiyyətin təsirindən sargacın induktivliyinin dəyişməsinə əsaslanır.

Üzgəc hərəkət etməklə dəyişən cərəyan körpü sxemini n budaqlarına birləşdirilmiş iki elektromaqnitin dolaqlarının induktivliyini dəyişir və körpünün müvazinətini pozur. Bu halda körpünün dioqanalına qoşulmuş ölçü cihazı (ÖC) nüvənin yerdəyişməsinə mütənasib olaraq müəyyən bir cərəyanı göstərir. Ölçü cihazını mayenin səviyyəsinə görə dərəcələmək olar.

Tutum çeviriciləri funksional olaraq dielektrik nüfuzludundan ϵ , lövhələrin sahəsindən S və ya aralarındakı d məsafəsindən asılı olan müxtəlif qeyri – elektrik kəmiyyətləri ölçmək üçün tətbiq edilə bilər. Tutum çeviricilərinin tətbiqinə misal olaraq, (rezin, qara, kağız ,və.s)materialdan olan lentin qalınlığının ölçülməsi üsulunu göstərmək olar. Tədqiq edilən lent (I) diyircəklər vasitəsilə kondensatorun (2) lövhələri arasından keçirilir. Çeviricinin tutumu lentin qalınlığından asılı olduğundan, tutumu ölçən ölçü cihazı lentin qalınlığından asılı olduğundan, tutumu ölçən ölçü cihazı lentin qalınlığına görə dərəcələnilir.

Fotoelektrik çeviricilər işıq selinin və ya onun spektral tərkibinin dəyişməsinə həssas olan quruluşlardır. Bunlardan radioaktiv şüalanmanın intensivliyini və energetik spektrini ölçdükdə, avtomatik idarəetmə sxemlərində və.s istifadə edilir.

(b) **Generator çeviriciləri.** Bu növ çeviricilərdə induksion pyezoelektrik maqnitostaksion çeviricilər aiddir.

İnduksion çeviricilərdə mexaniki rəqslər sargacı kəsən maqnit selinin dəyişməsinə və onda e.h.q-nin induksiyanmasına səbəb olur. Beləliklə, ölçülən mexaniki induksiya e.h.q.-nin induksiyanmasına səbəb olur. Beləliklə, ölçülən mexaniki kəmiyyət induksiya e.h.q.-nə çevirilir. Bu cür çeviricilərdən mayələrin sərfiyyatını ölçdükdə istifadə edilir. İnduksion sərfiyyatölçənin quruluşu 4.1–ci şəkildə göstərilir.

Cihazın iş prinsipi elektrik keçirən maye selinin maqnit sahəsində keçməsi samanı onda induksiya e.h.q. yaranmasına əsaslanır. İ qeyri – maqnit borusundan elektriki keçirən maye axır. Maye seli 2 elektromaqnitinin yaratdığı dəyişən maqnit seli tərəfindən kəsilir. Maye selində yaranan e.h.q. 3 elektrodları vasitəsilə 4 ölçü qurgusuna verilir.

Belə sərfiyyat ölçənlərin çeviriciləri praktiki olaraq ətalətsizdir. Odur ki, induksion sərfiyyat ölçənləri dəyişən sərfiyyatları ölçməklə tətbiq etmək daha məqsədə uyğundur. Bu cihazın göstərişi mayenin fiziki parametrlərindən (təzyiq, temperatur, sıxlıq, özlülük) asılı deyil. Lakin elektrodlarda induksiyalanan kənar parazit e.h.q. –rin təsiri cihazın xətasını artırabilir.

Pyzeoelektrik çeviricilərin işi mexaniki təsir nəticəsində bəzi kristalların səthində elektrik yüklərinin yaranması ilə əlaqədar olan düzünə pyzeoelektrik effektinə əsaslanır.

Qazların təzyiqini ölçmək üçün tətbiq edilən pyzeoelektrik çeviricinin sxemi şəkildə göstərilmişdir.

P təzyiqi İ metal membranı vasitəsilə 2 metal araqaatlarında sıxılmış 3 kvarts lövhəsinə verilir. 4 diyircəyinin vəzifəsi təzyiqi kvarts lövhələri səthində müntəzəm paylamaqdır. Orta araqaatı 5 çıxacı ilə birləşdirilir. P təzyiqinin təsirindən 5 çıxacı ilə çeviricinin gövdəsi U arasında U potensiallar fərqi yaranır. Bu potensiallar fərqi qiyəti P təzyiqi ilə mütənəsb olur.

Maqnitostriksion çeviricilər mexaniki təsirlərdən ferromaqnetikin maqnitləşməsinin dəyişməsi hadisəsinə əsaslanır. Bu çür çevirici nüvəsi maqnitostriksion materialdan (adətən lövhə şəkilli dəmir–nikel ərintisi) hazırlanmış transformatorlardan ibarətdir.

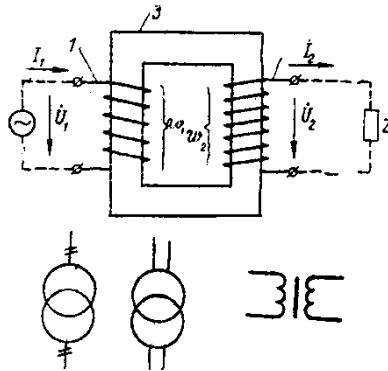
Şərh edilən sxemlər ən sadə ölçmə quruluşlarına aiddir. Texnikada daha mürəkkəb quruluşlu və dəqiq nəticələr verən ölçü sxemləri tətbiq edilir.

V FƏSİL TRANSFORMATORLAR

5.1. Transformatorun quruluşu və iş prinsipi

Transformator qapalı maqnit keçicisindən (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 aqrılıqda göstərilmişdir. Maqnit keçiricisi isə maqnit itkilərini azaltmaq üçün elektrotexniki polad vərəqələrdən hazırlanır (adətən qalınlığı 0,35 mm).

Şəkil 5.1-də birfazlı transformatorun şərti işarələri göstərilmişdir. Transformatorun dolaqlarından biri elektrik eneriyə mənbəyinə qoşulur; bu dolağa **birinci dolaq** deyilir. Transformator **ikinci dolağı** adlanan o biri dolağından enerji işlədicilərə ötürülür. Bu dolaqlara uyğun kəmiyyətlər uyğun olaraq 1 və 2 indeksi ilə nişanlanır (məsələn: E_1 , U_1 , I_1 , v_1 və E_2 , U_2 , I_2 , v_2 və s.). Bundan başqa, transformatorun alçaq və yüksək gərginlikli dolaqlarını fərqləndirmək lazımdır.



Şəkil 5.1. Transformatorun (a) sxemi və şərti işarələri (b)

Birinci dolağa tətbiq edilmiş gərginliyin təsirindən həmin dolaqda i_1 cərəyanı axır və transformatorun nüvəsində Φ maqnit seli yaranır. Bu maqnit seli hər iki dolağı kəsir və onlarda e.h.q.-ni induksiylayır:

$$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Əgər ikinci dolağın dövrəsi qapalıdırsa, onda e_2 e.h.q.-nin təsiri altında həmin dövrdə i_2 cərəyanı axacaqdır.

Dolaqlarda induksiyanmış e.h.q.-lərin təsiredici qiymətləri:

$$\left. \begin{aligned} E_{1_1} &= 4,44f \omega_1 \Phi_1 \\ E_{2_2} &= 4,44f \omega_2 \Phi_2 \end{aligned} \right\}$$

Bu e.h.q.-lərin nisbətinə **transformasiya əmsalı** deyilir:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Dolaqların e.h.q.-lərini gərginliklərə təxminən bərabər götürmək olar, onda:

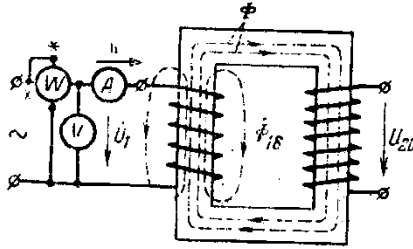
$$k = \frac{\omega_1}{\omega_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$$

Əgər $k > 1$ isə transformator alçaldıcı, $k < 1$ isə, yüksəldici olur. Ferromağnit nüvəli birləzalı transformator 1876-cı ildə rus ixtiraçısı P.İ.Yabloçkov tərəfindən təklif edilmişdir.

5.2. Transformatorun yüksüz işləmə rejimi

Transformatorun ikinci dolağının ucları açıq olduqda və o birinci dolağı mənbəyə qoşulan haldakı rejiminə **yüksüz işləmə** rejimi deyilir. Bu rejimdə transformator mahiyyətə polad nüvəli induktiv sarğacdən fərqlənir.

Yüksüz işləmə rejimində birinci dolaqdan axan cərəyanı transformatorun **yüksüz işləmə cərəyanı** deyilir. Ferromağnit nüvə lazımı maqnit seli yaratmaq üçün kiçik maqnitləşdirici qüvvə tələb edir. Odur ki, transformatorun yüksüz işləmə cərəyanı I_0 birinci tərəf I_{1N} normal cərəyanının 2,5-10%-ini təşkil edir.



Şəkil 5.2. Transformatorun yüksüz işləmə cəmi.

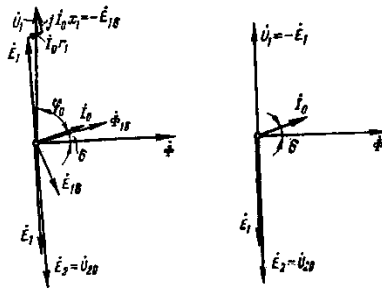
Birinci dolağın maqnitləşdirici qüvvəsini $F_0=I_0$ və təsiri altında yaranan maqnit selini iki hissədən ibarət götürmək məqsəduyğundur:

- 1) Maqnit keçiricisindən qapanan əsas maqnit seli Φ ;
- 2) Havadan qapanan və yalnız və yalnız birinci dolağı kəsən səpələnmiş maqnit seli Φ_1 .

Əsas maqnit seli dolaqlarda E_1 və E_2 e.h.q.-lərini yaradır. E_1 və E_2 isə Φ selindən fazaca dördü bir period geri qalır.

Əsas maqnit seli fazaca, maqnit itkilərinin mövcud olmasına görə I_0 cərəyanından δ bucağı qədər geri qalır.

Səpələnmiş maqnit seli havadan qapandığına görə çox zəifdir və I_0 cərəyanı ilə eyni fazada olur. Bu sel birinci dolaqda $E_{1\sigma}=4,44f$ və $\Phi_{1\sigma}$ səpələnmiş e.h.q. yaradır.



Şəkil 5.3. Yüksüz işləmə rejimində transformatorun dəqiq(a) və təxmini (b) vektor diaqramları.

Bu e.h.q. $\Phi_{1\sigma}$ maqnit selindən fazaca dördə bir period geri qalır.

Bir işçi dolağa tətbiq edilmiş gərginlik U_1 əsas maqnit selinin yaratdığı e.h.q.-ni E_1 , səpələnmə e.h.q.-ni $E_{1\sigma}$ və birinci dolağın aktiv müqavimətindəki r_1 gərginlik düşküsünü müvazinətdə saxlayır:

$$U_1 = -E_1 - E_{1\sigma} + I_{0\sigma} r_1.$$

Səpələnmə maqnit seli $\Phi_{1\sigma}$ və onun induksiyaladığı e.h.q. $E_{1\sigma}$ birinci dolağın cərəyanına mütənasibdir. Odur ki, induktiv müqavimət anlayışından

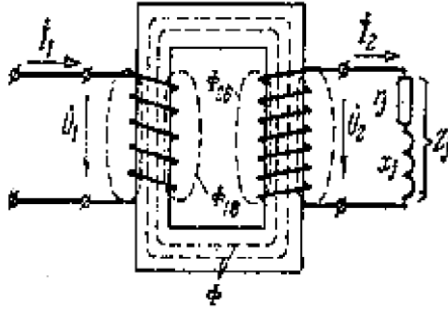
istifadə edib, $E_{1\sigma} = -jI_0\chi_1$ qəbul etmək olar. Onda elektrik müvazinət tənliyi birinci dolaq üçün $U_1 = -E_1 + I_{0\sigma} r_1 + jI_0\chi_1$ kimi yazılır. Yuxarıda deyilənlərə görə transformatorun yüksüz işləmə rejimi üçün vektor diaqramı a şəklində qurulmuşdur.

Yüksüz işləmə rejimində E_1 e.h.q. U_1 gərginliyindən çox az fərqlənir. Bu fərqi nəzərə almasaq, transformatorun yüksüz işləmə rejimi üçün vektor diaqramı b şəklindəki kimi olar. Burada $U_1 = -E_1$. Yüksüz işləmə rejimində $U_2 = E_2$ olur.

5.3. Transformatorun yüklü rejimi

Transformatorun maqnitləşdirici qüvvələr tənliyi.

Transformatorun ikinci dolağına yük müqaviməti $Z_j = r_1 + jx_j$ qoşsaq, E_2 e.h.q.-nin təsiri ilə ikinci dövrdə I_2 cərəyanı yaranacaqdır. Enerjinin saxlanması qanununa görə, birinci dolaqdakı cərəyan da I_1 artacaqdır.



Şəkiil 5.4. 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 qiymətlərini təxmini saxlayacaqdır. Yüklü halda transformatorada əsas maqnit selinin hər iki dolaqdakı maqnitləşdirici qüvvələrin birgə təsirindən yarandığını nəzərə alsaq, yaza bilərik:

$$F = I_1 v_1 + I_2 v_2 \approx I_0 v_1$$

Bu tənliyə **transformatorun maqnitləşdirici qüvvələr tənliyi** deyilir. Tənlikdən gürün düyü kimi, I_2 cərəyanı maqnitləşdirici təsir göstərir (Lents prinsipinə görə) və bununla da I_1 cərəyanının artmasına səbəb olur. Bundan başqa, I_2 cərəyanı özünün səpələnmə maqnit selini Φ_{20} yaradır. Bu selin induksiya adığı $E_{20} = 4,44 f v_2 \Phi_{20m}$ səpələnmə e.h.q.-nin təsirini ikinci dolağın induktiv müqavimətindəki (x_2) gərginlik düşküsü kimi nəzərə alırlar:

$$E_{20} = -j I_2 x_2.$$

Yüklü transformatorun vektor diaqramı. Yüklü transformatorun vektor diaqramını ikinci dolağın sıxıcılarındakı gərginlikdən U_2 başlayaraq qurmaq yaxşıdır. Dolaqların parametrləri ($v_1, v_2, r_1, r_2, x_1, x_2$), yüksüz işləmə verilənləri (I_0, δ), yük müqavimətinin qiymət və xarakteri ($Z_j, \cos \phi_j$) mə'lum

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \cdot \frac{v_1}{v_2} = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \cdot \frac{1}{k} = \dot{I}_0 + \dot{I}_2$$

Birinci dolağa tərtib edilmiş gərginliyi U_1 belə təyin edirik

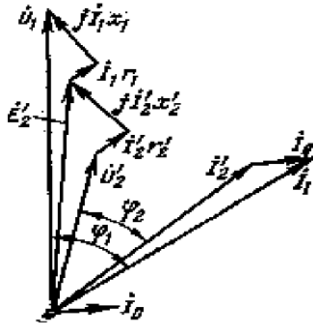
$$U_1 = -E_1 + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 x_1$$

İfadədən görünür ki, birinci dolağın cərəyanı \dot{I}_1 iki toplanana malikdir: bunlardan biri \dot{I}_0 yüksüz işləmə rejimində olduğu kimi əsas maqnit selini yaratmaq, digəri isə \dot{I}_2 ikinci dolağın cərəyanının maqnitləşdirici təsirini kompensasiya etmək, yəni əsas maqnit selinin dəyişməz qalmasını təmin etmək üçündür.

Əvəz sxemi. Transformatorun iş rejimlərini təsdiq etmək üçün dolaqlar arasındakı maqnit rabitəsini elektrik rabitəsi ilə əvəz etmək məqsədüdyğündür. Belə etdikdə transformatorun daxil olduğu elektrik şəbəkələrinin hesabı 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, $E'_2 = E_1 = kE_2$.



Şəkil 5.6.Transformatorun çevrilmiş vektor diaqramı.

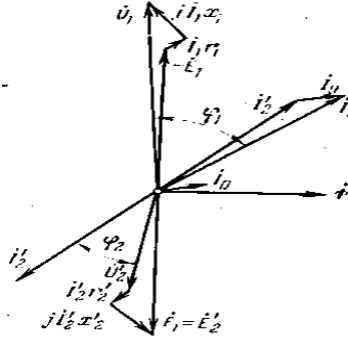
Çevrilmənin energetik ekvivalentliyi şərtlərindən transformatorun ikinci tərəf dövrəsinin çevrilmiş kəmiyyətlərini təyin edirik:

$$\begin{aligned} S_2 &= S'_2 & E_2 I_2 &= E'_2 I'_2 \\ P_2 &= P'_2 & I_2^2 r_2 &= I'^2_2 r'_2 \\ Q_2 &= Q'_2 & I_2^2 x_2 &= I'^2_2 x_2 \\ S_j &= S'_j & I_2 U_2 &= I'_2 U'_2 \end{aligned}$$

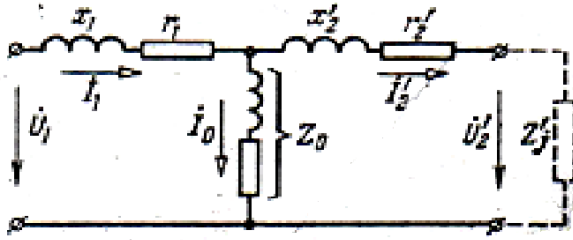
Buradan

$$\begin{aligned} I'_2 &= I_2 \cdot \frac{E_2}{E'_2} = I_2 \cdot \frac{E_2}{k E_2} = \frac{1}{k} I_2 \\ U'_2 &= U_2 \cdot \frac{I_2}{I'_2} = U_2 \cdot \frac{E_2}{\frac{1}{k} E_2} = k U_2 \\ r'_2 &= r_2 \frac{I_2^2}{I'^2_2} = k^2 r_2, \\ x'_2 &= x_2 \frac{I_2^2}{I'^2_2} = k^2 x_2, \\ z'_2 &= \sqrt{r'^2_2 + x'^2_2} = k_2 z_j \\ z'_j &= k_2 z_j \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} I'_2 &= I_2 \cdot \frac{E_2}{E'_2} = I_2 \cdot \frac{E_2}{k E_2} = \frac{1}{k} I_2 \\ U'_2 &= U_2 \cdot \frac{I_2}{I'_2} = U_2 \cdot \frac{E_2}{\frac{1}{k} E_2} = k U_2 \\ r'_2 &= r_2 \frac{I_2^2}{I'^2_2} = k^2 r_2, \\ x'_2 &= x_2 \frac{I_2^2}{I'^2_2} = k^2 x_2, \\ z'_2 &= \sqrt{r'^2_2 + x'^2_2} = k_2 z_j \\ z'_j &= k_2 z_j \end{aligned}} \right\}$$

$E_2 = E_1$ olduğunu nəzərə alıb, diaqramın aşağı hissəsini 180° döndərüb yuxarı hissəsinin üzərinə salmaq olar. Beləliklə, alınmış diaqrama transformatorun **birləşdirilmiş** vektor diaqramı deyilir.



Şəkil 5.7. Transformatorun birləşmiş vektor diaqramı. Transformatorun tam əvəz sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 5.8. Transformatorun tam əvəz sxemi.

U_1 gərginliyi əvəz sxemindən və ya birləşdirilmiş vektor diaqramından təyin edilir:

$$U_1 = U'_2 + I'_2 r'_2 + j I'_2 x'_2 + (I'_2 + I_0) r_1 + j (I'_2 + I_0) x_1 = U'_2 + I'_2 r'_2 + j I'_2 x'_2 + I_1 r_1 + j I_1 x_1$$

Bir çox praktik hesablamalarda transformatorun sadələşmiş əvəz sxemindən istifadə etmək məqsədə uyğundur.

Bu sxem tam əvəz sxemindən $I_0 = 0$ qəbul etməklə alınır. Sadələşmiş əvəz sxeminin müqavimətləri transformatorun uyğun olaraq aktiv, induktiv və *tam və qısaqapanma müqavimətləri* adlanır.

$$r_q = r_1 + r'_2$$

$$x_q = x_1 + x'_2$$

$$z_q = \sqrt{r_q^2 + x_q^2}$$

Transformatorun ikinci tərəf gərginliyinin dəyişməsi.

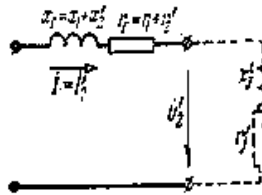
Transformatorun yükü dəyişdikdə onun ikinci dolağının uclarındakı gərginlik U_2 də dəyişir.

Transformatorun ikinci dolağının uclarındakı yüksüz və yüklü rejimlər üçün gərginliklərin hesabi fərqi ΔU_2 işarə edək:

$$\Delta U_2 = U_{20} - U_2$$

Əgər ΔU_2 məlumdursa, ikinci dolağın uclarındakı gərginlik belə təyin edilə bilər:

$$U_2 = U_{20} - \Delta U_2$$



Şəkil 5.9. Transformatorun sadələşmiş əvəz sxemi

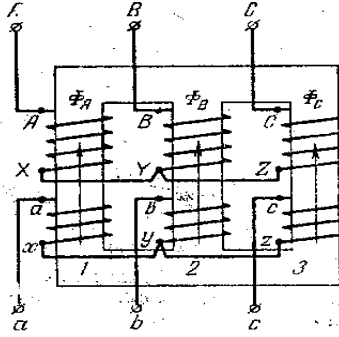
U_2 gərginliyinin I_2 cərəyanından asılılıq qrafikinə *transformatorun xarici xarakteristikası* deyilir. Yükün $\cos\varphi$ -sinin üç müxtəlif qiyməti üçün transformatorun xarici xarakteristikaları göstərilmişdir. Tutum xarakterli yük zamanı transformatorun U_2 gərginliyi yüksüz işləmə U_{20} gərginliyindən böyük ola bilər.

5.4. Üçfazlı transformatorlar

Üçfazlı cərəyanın enerjisini transformasiya etmək üçün üç ədəd birləşməli 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 birləşməli transformatorlar işlədilir. Bu onunla əsaslandırılır ki, böyük güclü üçfazlı transformatorların hazırlanması texnologiyası və nəql edilməsi çox çətindir.

Üçfazlı transformatorun quruluşu. Üçfazlı transformatorun maqnit keçiricisi üçqublu götürülür. Hər qubda 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 üçqublu 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 birinci dolaqlara tətbiq edilmiş faza gərginliklərinə U_A , U_B , U_C mütənasib Φ_A , Φ_B , Φ_C maqnit selləri yaranır. Dolaqlar fazalarda simmetrik olduğuna görə maqnit sellərinin Φ_{Am} , Φ_{Bm} , Φ_{Cm} amplituda qiymətləri bir-birinə bərabər olacaq. Bu sellərin istənilən anda cəmi sıfıra bərabərdir.



5.12.Üçfazlı transformatorun quruluş sxemi.

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. Yüksək gərginlik dolaqlarının başlanğıc ucları A, B, C bunlara uyğun, son ucları isə X, Y, Z hərfləri ilə nişanlanır. Alçaq gərginlik dolaqlarının ucları isə analogi olaraq a, b, c və x, y, z, ilə işarə edilir.

Eyni bi çubuqda yerləşdirilmiş dolaq sıxaclarının nişanlanması elə olmalıdır ki, maqnit selinin induksiyaladığı e.h.q.-lər, məsələn, E_{AX} və E_{ax} fazaca eyni olsun. Nişanlanma düz olmadıqda E_{AX} və E_{ax} e.h.q.-ləri fazaca yarım period fərqlənəcəklər.

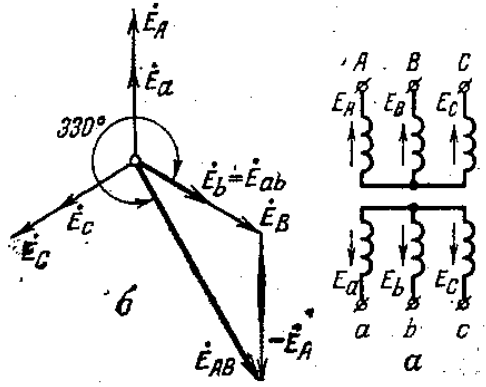
Müxtəlif çubuqlarda yerləşdirilmiş dolaqların sıxaclarının nişanlanması bir-biri ilə elə əlaqələndirilməli və

icra edilməlidir ki, hər üç çubuqda maqnit selləri eyni olsun. Maqnit sellərinin müsbət istiqamətləri, cərəyanların dolaqların sonundan əvvəlinə doğru qəbul olunmuş müsbət istiqamətinə görə təyin edilir.

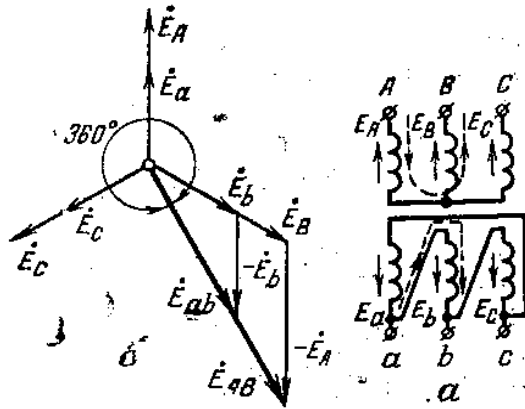
5.5.Üçfazlı transformatorların birləşmə qrupları

Maqnit keçiricisinin eyni çubuğunda oturdulmuş yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarında faza eyni olan e.h.q.-lər induksiyanı. Yüksək və alçaq gərginlik tərəfdə eyni adlı sığaclar arasında tə'sir edən elektrik hərəkət qüvvələri (xətt e.h.q.-ləri), məsələn, E_{AB} və E_{ab} ya fazaca eyni olur, ya da 30^0 -li bucağın misli qədər fərqlənir. Bu müddəanı izah etmək üçün Y/Δ sxemi üzrə birləşmiş üçfazlı transformatora baxaq. Oxlarla faza e.h.q.-nin qəbul edilmiş müsbət istiqamətləri göstərilmişdir. Transformator dolaqlarının faza e.h.q.-lərinin vektor diaqramı b şəkildə təsvir edilmişdir.

E_{AB} xətt e.h.q.-nin vektorunu A sığacından B sığacına doğru hərəkət yolunda rast gələn faza e.h.q.-nin həndəsi cəmi kimi qurmaq olar (hərəkət yolu şəkildə qırıq xətlə göstərilmişdir). Bu yolda iki e.h.q. E_A və E_b rast gəlir, belə ki, E_b -ni müsbət işarə ilə (çünki onun istiqaməti hərəkət istiqaməti ilə eynidir), E_A -nı isə mənfi işarə ilə götürürük. Anoloji olaraq E_{ab} e.h.q. vektorunu qururuq. Vektor diaqramından görürük ki, eyni adlı e.h.q.-lər E_{AB} və E_a arasındakı bucaq 330^0 təşkil edir.



Şəkil 5.13. Transformatorun dolaqlarının Y/Δ birləşmə sxemi (a) və uyğun vektor diaqramı (b)



Şəkil 5.14. Transformatorun dolaqlarının Y/Y birləşmə sxemi (a) və uyğun vektor diaqramı.

Şəkildə transformator dolaqlarının birləşmə sxemi Y/Y-dur; eyni adlı e.h.q.-lər E_{AB} və E_{ab} arasında bucaq burada 0^0 -dir (e.h.q.-lər eyni fazadadır).

Eyni adlı xətt e.h.q.-ləri arasındakı bucağı transformatorun *birləşmə qrupunu* müəyyən edir. Bubucağın

qiymətini şərti olaraq hər vahidinə 30^0 uyğun gələn ədədlə göstərmək qəbul edilmişdir. Beləliklə şəkildəki sxem üzrə birləşmiş transformatorun qrupu 11 ($330:30=11$), şəkildəki sxem üçün isə 0 ($0:30=0$) olur.

Dolaqları müxtəlif sxem üzrə birləşdirməklə müxtəlif birləşmə qrupunu alırıq. Birləşmə qruplarının çox müxtəlif olması transformatorların istismarı üçün rahat deyildir. Odur ki, QOST birləşmə sxemi və qrupları 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.

5.6. Transformatorun parametrlərinin və f.i.ə-nin 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

$$\Delta P_e = 3(I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2) = 3(I_1^2 r_1 + I_2'^2 r_2) \approx 3I_1^2 r_2$$

Bu itkilər transformator yükünün qiymətindən asılıdır. Buna *dəyişən itkilər* də deyilir.

Transformatorun maqnit keçiricisinin poladındakı güc itkiləri ΔP_M (maqnit itkiləri) maqnit selinin kvadratı ilə və deməli, gərginliyin kvadratı ilə U_1^2 mütənasibdir, çünki $U_1 \approx E_1 = 4,44 f v_1 \Phi_m$. Bu itkilər transformatorun yükündən asılı olmadığına görə sabit itkilər də adlanır.

Transformatorada itkilər onun qızmasına səbəb olur və temperaturunu artırır. İtkilərin müəyyən qiymətində temperatur buraxılabilən qiymətə çatır. İtkilərin qiyməti ilə transformatorun buraxılabilən uzunmüddətli maksimal yükü, yəni nominal gücü təyin edilir:

$$S_n = \sqrt{3} U_{2n} I_{2n}.$$

Transformatorun normal gücü kilovoltametrilərlə (*kBA*) göstərilir. Transformatorun gücü kilovatlarla göstərmək mümkün deyildir, çünki transformatorun verdiyi aktiv güc yükün $\cos\varphi$ -sindən də asılıdır və $\cos\varphi$ istismar zamanı dəyişə bilər.

Normal gərginliklər U_{1n}, U_{2n} və normal cərəyanlar I_{1n}, I_{2n} , normal 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 aparırlar. Transformatorun nominal yükünə uyğun elektrik itkilərini qısaqapanma təcrübəsindən tapıb, qısaqapanma müqavimətlərini təyin etmək olar.

Bu təcrübədə transformatorun ikinci dolağı qısa qapanır və birinci dolağına elə azaldılmış qiymətdə gərginlik U_q verilir ki, dolaqlarda cərəyanlar nominal qiymətə bərabər olsun. U_q kəmiyyətinə transformatorun qısaqapanma gərginliyi deyilir. Bu gərginliyi, adətən, nominala görə faizlə ifadə edirlər:

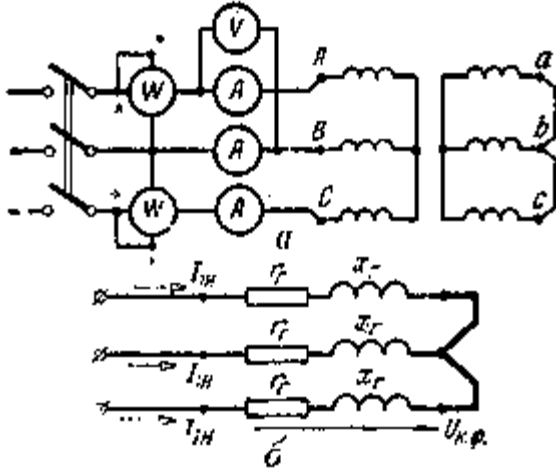
$$u_q = \frac{U_q}{U_{1n}} \cdot 100\%.$$

Standart güc transformatorları adətən üçün $u_q = 5,5\%$ olur.

Transformatorun qısaqapanma təcrübəsində vattmetrlərin göstəriciləri transformatorun nominal yük rejmindəki elektrik itkilərinə bərabərdir:

$$P_q = \Delta P_{en} = 3 I_{1n}^2 \cdot r_q$$

Bu təcrübə zamanı maqnit itkiləri çox kiçikdir (çünki U_r kiçikdir) və onu nəzərdən atmaq olar. Qısaqapanma təcrübəsinə əsasən ölçülmüş kəmiyyətlərə (U_q , I_{1n} və P_q) görə



transformatorun əvəz sxeminin parametrlərini təyin edirik:

$$\left. \begin{aligned} Z_q &= \frac{U_{q\phi}}{I_{1n}} \\ r_q &= \frac{P_q}{3I_q^2} \\ x_q &= \sqrt{Z_q^2 - r_q^2} \end{aligned} \right\}$$

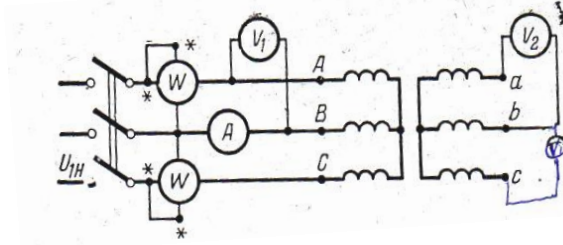
Şəkil 5.15. Transformatorun qısaqapanma təcrübəsi:

a-həqiqi sxemi; b- əvəz sxemi

Yüksüz işləmə təcrübəsi. Transformatorun maqnit keçiricisində histerezis və dövrü cərəyanlarla əlaqədar maqnit itkilərini yüksüz işləmə təcrübəsindən təyin edirlər. Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsində tələb etdiyi güc P_0 maqnit itkilərinə bərabər götürülür:

$$P_0 = \Delta P_M$$

Elektrik itkiləri bu təcrübə zamanı çox kiçikdir (çünki $I_0 = 0,025 - 0,1 \cdot I_{1n}$ və $I_2 = 0$) və onları nəzərə almamaq olar.



Şəkil 5.16. Transformatorun yüksüz işləmə təcrübəsinin sxemi.

Transformatorun f.i.ə. Transformatorun faydalı iş əmsalı η transformatorun verdiyi gücün P_2 onun bəsləyici şəbəkədən tələb etdiyi gücə P_1 olan nisbətində bərabərdir:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Güc transformatorlarının faydalı iş əmsalı 95-99% qiymətlərində olur. Təcrübədə transformatorun f.i.ə.-ni hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilir:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_M + \Delta P_e}$$

Transformatorun yükləmə əmsalından istifadə etsək:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}} \approx \frac{\sqrt{3}U_2 I_2}{\sqrt{3}U_{2n}I_{2n}} = \frac{S_{yük}}{S_n}$$

və nəzərə alsaq ki, $P_2 = \sqrt{3}U_{2n}I_{2n}\cos\varphi_2 = \beta S_n \cdot \cos\varphi_2$

$$\Delta P_M = P_0, \Delta P_e = 3I_1^2 r_q \approx 3\beta^2 I_{1n}^2 r_q = \beta^2 P_q$$

onda düsturunu belə yazma bilərik:

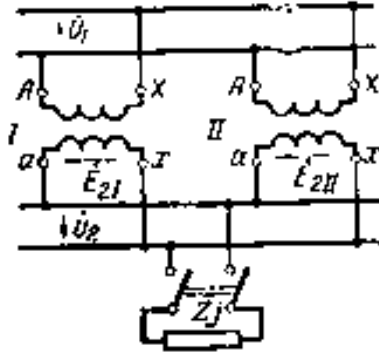
$$\eta = \frac{\beta S_n \cdot \cos\varphi_2}{\beta S_n \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_q}$$

Bu düsturdan birfazlı transformatorun f.i.ə.-nin təyini üçün istifadə etmək olar.

5.7. Transformatorların paralel işləməsi

Elektrik enerjisi tələbatçılarının gücü daim dəyişdiyinə görə sənaye müəssisələrində bir-birinə paralel qoşulub işləyən bir neçə transformator qoyulur. Yarımstansiyada bir neçə transformatorun olması enerji paylanması sisteminin qənaətlə və etibarlı işləməsini təmin edir. Qəza halında və yaxud təmir üçün transformatorlardan biri açıldıqda qalan transformatorlar ən məsul işlədicilərin yükünü daşıyacaqlar. Yük azaldıqda transformatorlardan birini açmaq bə bununla da, qalan transformatorların nominal gücə qədər yüklənməsini təmin etmək məqsəddəuyğundur, çünki bu zaman qurğunun f.i.ə. artır.

Transformatorların paralel qoşulma şərtlərini birfazlı transformatorların misalında təyin edək.



Şəkil 5.17. Birfazlı transformatorların paralel işə qoşulma sxemi.

Transformatorların normal paralel işləməsinin əlamətləri: a) yüksüz işləmə zamanı transformatorların ikinci dolaqlarının dövrəsində cərəyanın olması və b) paralel işləyən transformatorlar arasında yükün onların nominal güclərinə mütənasib paylanmasıdır.

Birinci şərt transformatorların ikinci dolaq e.h.q.-lərinin E_{2I} və E_{2II} qiymət və fazaca bərabərliyi zamanı ödənilir. Doğrudan da, bu halda transformatorların ikinci dolaqlarının dövrəsindən axan cərəyan

$$I = \frac{E_2 - E_{2II}}{Z} = 0,$$

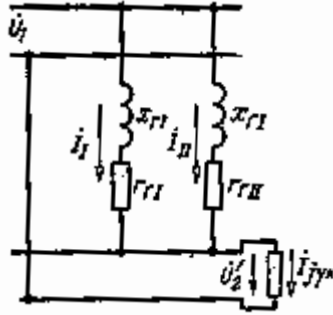
burada Z - transformatorların ikinci dolaqları dövrəsinin müqavimətlər cəmidir.

Elektrik hərəkət qüvvələrinin bərabərliyi transformasiya əmsallarının bərabərliyi şəraitində mümkündür. $k_I = \frac{U_1}{E_{2I}}$ və

$$k_{II} = \frac{U_1}{E_{2II}}$$

$$k_I = k_{II}$$

Beləliklə, transformatorların paralel işləməsinin birinci şərti, onların transformasiya əmsallarının bərabərliyidir.



Şəkil 5.18.Paralel işləyən transformatorlarınəvəz sxemi.

Yükün transformatorlar arasında düzgün paylanması şərtini tapmaq üçün paralel qoşulmuş transformatorların əvəz sxemindən istifadə edək. Paralel işləmədə transformatorların dolaqlarında cərəyanlar onların müqavimətlərinə tərs mütənəsib olaraq paylanır:

$$\frac{I_1}{I_{II}} = \frac{Z_{qII}}{Z_{qI}}$$

Digər tərəfdən transformatorlar arasında yükün düzgün paylanmasına aşağıdakı münasibət uyğun gəlir:

$$\frac{I_1}{I_{II}} = \frac{S_{nI}}{S_{nII}} = \frac{I_{nI}}{I_{nII}}$$

$$I_{nI} \cdot Z_{qI} = I_{nII} Z_{qII}$$

$$U_{qI} = U_{qII}.$$

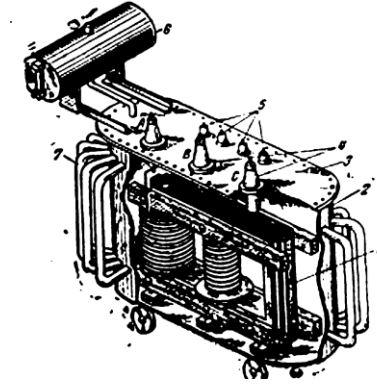
Deməli, transformatorların paralel işləməsinin ikinci şərti onların qısaqapanma gərginliklərinin bərabərliyidir.

Üçfazlı transformatorların paralel işləməsi üçün bu şərtlərdən başqa, onların birləşmə qruplarının eyni olması şərti də ödənilməlidir. Birləşmə qruplarının eyni olması transformatorların ikinci dolaqlarının eyni adlı e.h.q.-nin fazaca üst-üstə düşməsinə təmin edir. Şərtin ödənilməməsi bərabərləşdirici cərəyanın əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu isə

transformatorların artıq yüklənməsinə və paralel işləməsinin qeyri-mümkün olmasına gətirib çıxarır.

5.8. Güc transformatorlarının konstruksiyası

Güc transformatorları, adətən, yağla soyudulan quruluşda hazırlanır. Belə transformatorun xarici görünüşü (kəsiklə) şəkildə göstərilmişdir.



Şəkil 5.19. Üçfazlı transformatorun ümumi görünüşü.

Üç çubuqlu polad maqnit keçiricisi (1) çubuqlarında oturdulmuş dolaqlarla birlikdə tökmə poladdan hazırlanmış bakın (2) içərisində yerləşdirilmişdir. Daha əyani olmaqdan ötrü maqnit keçiricisinin çubuqlarından biri dolaqsız, ikincisi təkə alçaq gərginlik dolağı, üçüncüsü isə hər iki dolaq ilə birlikdə təsvir edilmişdir. Bak üst tərəfdən qapaqla (3) kəp bağlanmışdır. Bak mineral yağ ilə (transformator yağı) doldurulur. Transformator yağının elektrik möhkəmliyi böyükdür. Yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarının ucları (4 və 5) forfor izolyatorlar vasitəsilə xaricə çıxarılır. Bu izolyatorlar transformatorun qapağına bərkidilir. Yağ qızdıqda genişləndiyinə görə

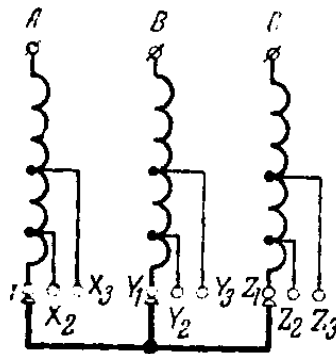
transformatorun üstündə genişləndirici- qab (6) qoyulmuşdur ki, bu da baka boru vasitəsilə birləşdirilir.

Transformatorada yağ iki rol oynayır. əvvəlcə yağ transformatorada istifadə edilən hiqroskopik materialların (pambıq-kətan izolyasiya, ağac və s.) yüksək izolyasiya xassələrini saxlamağa imkan verir ki, buradan da istilik xarici mühitə ötürülür. Soyuma səthini artırmaq üçün transformatorun baki soyuducu borularla (7) və yaxud radiatorlu hazırlanır.

Yanğın təhlükəsizliyi tələb edilən hallarda hava ilə soyudulan quru (yağsız) transformatorlardan istifadə edilir.

Alçaldıcı transformatorun yüksək gərginlik dolağı hər fazada 3 budaqlanmaya malik olur. Bu işə müxtəlif iş şəraitində transformatoradan nominala yaxın gərginlik almağa imkan verir.

Qidalandırıcı şəbəkənin gərginliyinin nominal qiymətində dolaqların sıfır nöqtəsi X_2 , Y_2 və Z_2 sıxaclarını, artmış qiymətində X_1 , Y_1 və Z_1 sıxaclarını, azalmış qiymətdə isə X_3 , Y_3 və Z_3 sıxaclarını birləşdirməklə alınır. Beləliklə transformatorun ikinci tərəf gərginliyini $\pm 5\%$ həddə tənzim etmək olur.



Şəkil 5.20. Gərginliyi tənzimləmək üçün əlavə sıxaclar.

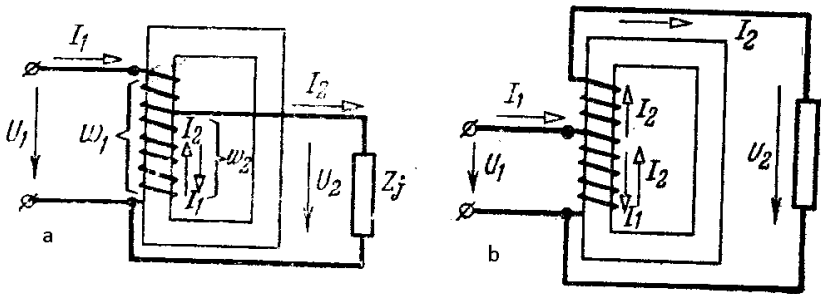
Keçmiş SSRİ zavodlarında yüksək gərginliyi 6 və ya 10 kV alçaq gərginliyi isə 400/230 V olan güc transformatorları aşağıdakı güclərdə hazırlanır: 10,16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000 və 6300 kVA. Bu transformatorlar sənaye müəssisələrində işlədilir. Energetik sistemlərdə daha yüksək gərginlikli (gücü 100000 kVA və daha çox) üçfazlı transformatorlardan, habelə güclü üçfazlı üçdolaqlı transformatorlardan istifadə edilir. İkincilər 35 və 110 kV-luq xətlər çıxan elektrik stansiyalarında qoyulur. Üçfazlı transformator iki ədəd ikidolaqlı transformatoru əvəz edir.

Kiçik güclü çoxdolaqlı transformatorlardan radiotexnik quruluşlarda və avtomatika sxemlərində istifadə edilir.

5.9. Avtotransformatorlar

İkinci tərəf gərginliyi birinci tərəf gərginliyindən az fərqləndikdə, yəni transformasiya əmsalı vahidə yaxın olan halda **avtotransformatorlardan** istifadə etmək daha əlverişlidir.

Avtotransformator adı transformatorun onunla fərqlənir ki, avtotransformatorun alçaq gərginlik dolağı yüksək gərginlik dolağının bir hissəsini təşkil edir.



Şəkil 5.21. Alçaldıcı (a) və yüksəldici (b) avtotransformatorların sxemi

Alçaldıcı avtotransformatorun sxemi a şəklində göstərilmişdir. Dolaqlarda gərginlik düşkünlərini nəzərə almasaq, transformasiya əmsalı üçün yaza bilərik:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

($v_1 - v_2$) sarğılarından I_1 cərəyanı, v_2 sarğılarından isə ($I_2 - I_1$) cərəyanı axır. Yüksüz işləmə cərəyanını nəzərdən atsaq və dolaqlarda cərəyanların, istiqamətini nəzərə alsaq, maqnitləşdirici qüvvələr tənliyini aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$I_1(v_1 - v_2) - (I_2 - I_1)v_2 = 0$$

Buradan asanlıqla $\frac{I_1}{I_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{k}$ münasibətini alırıq. Aktiv materialların (mis və polad) çəkisi transformatorda olduğu kimi avtotransformator da dolaqların gücünə mütənasibdir. Transformator dolaqlarının güclər cəmi transformasiya əmsalından asılı deyildir:

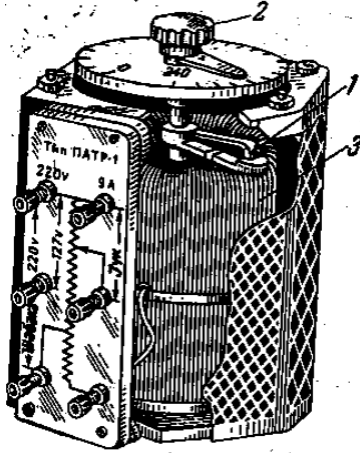
$$U_1 I_1 + U_2 I_2 \approx 2U_2 I_2$$

Avtotransformator dolaqlarının gücləri cəmi isə transformasiya əmsalından asılıdır:

$$I_1(U_1 - U_2) + (I_2 - I_1)U_2 \approx 2U_2 \cdot I_2 \left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

Yuxarıdakı ifadələrdən görürük ki, transformasiya əmsalı k nə qədər vahidə yaxındırsa, dolaqların gücləri cəmi bir o qədər kiçikdir və avtotransformator istifadə etmək əlverişlidir. $k \leq 2$ olduqda avtotransformatorlardan istifadə etmək daha yaxşıdır.

Şəkildə yüksəldici avtotransformatorun sxemi göstərilmişdir. Lazımi hallarda avtotransformatorlar istismar zamanı transformasiya əmsalını dəyişdirə biləcək quruluşla təmin edilir. Laboratoriya avtotransformatorunu (LATR-1) buna misal göstərmək olar.



Şəkil 5.22.Laboratoriya avtotransformatorunun ümumi görünüşü.

İkinci dolağın sıxaclarından biri sürüşən fırçalı kontaktdan (1) ibarətdir. Kontakt 2 dəstəyi vasitəsilə dolağın (3) bir tərəfdən (yuxarıdan) izolyasiyası təmizlənmiş sarğıları üzərində gəzdirilə bilər. Beləliklə, ikinci tərəf gərginliyini səlislə tənzimləmək olur.

Avtotransformatorlar birləzalı və üçfazlı olur. Uçfazlı avtotransformatorların dolaqları, adətən, ulduz sxemi ilə birləşdirilir.

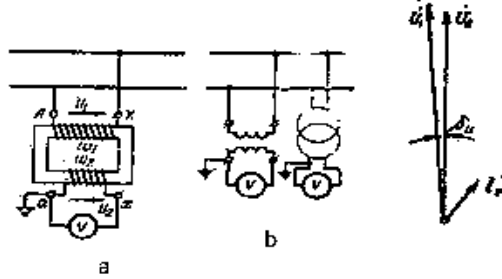
5.10. Ölçü transformatorları

Dəyişən cərəyan elektrik ölçü cihazlarının ölçmə həddini artırmaq və cihazları yüksək gərginlik dövrlərindən izolə etmək

məqsədilə ölçü transformatorlarından istifadə olunur. Ölçü transformatorları qapalı maqnit keçiricisinə və onun üzərində yerləşdirilmiş iki (və daha çox) dolağa malikdir. Birinci dolaqlar elektrik şəbəkəsinə, ikinci dolaqlar isə elektrik ölçü cihazlarına birləşdirilir. Yüksək gərginlik şəbəkələrində ölçü transformatorlarının ikinci dolaqlarının bir sıxacı və polad örtüyü torpaqlanır. Bu isə xidmətçi personalın cihazlara toxunmasını təhlükəsiz edir. Ölçü transformatorları **cərəyan** və **gərginlik** transformatorlarına ayrılır.

Gərginlik transformatoru. Gərginlik

transformatorlarından voltmetr və vattmetrlərin, hesabçıların və başqa cihazların paralel dolaqlarını qoşmaq üçün istifadə edilir. Gərginlik transformatorunun prinsipial sxemi (a) və şərti işarəsi (b) şəklində göstərilmişdir. Quruluşuna görə gərginlik transformatoru kiçik güclü güc transformatoruna oxşardır.



Şəkil 5.23. Gərginlik transformatorunun qoşulma sxemi: (a), şərti işarəsi (b) və vektor diaqramı.

Sarğılar sayı v_1 çox olan birinci (yüksək voltlu) dolaq gərginliyi ölçüləcək şəbəkəyə paralel qoşulur. Sarğılar sayı v_2 az olan ikinci (alçaq voltlu) dolağa isə ölçü cihazlarının paralel dolaqları birləşdirilir. Yüksək ölçmə dəqiqliyinə nail olmaq üçün gərginlik transformatorunun yükünü elə məhdudlaşdırılır ki, o yüksüz işləmə rejiminə yaxın rejimdə işləsin.

Gərginlik transformatorunun birinci tərəf nominal gərginliyi U_{1n} yüksək voltlu qurğunun nominal gərginliyinə

bərabərdir, ikinci tərəf nominal gərginliyi U_{2n} isə, adətən, 100 B-a bərabər götürülür. Gərginlik transformatorları birfazlı və üçfazlı olur. Gərginlik transformatorunun *transformasiya əmsalı*

$$k_{GT} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{v_1}{v_2}$$

Nəzarət edilən dövrdə gərginliyin həqiqi qiymətini almaq üçün voltmetrin göstərişini k_{GT} -ə vurmaq lazımdır.

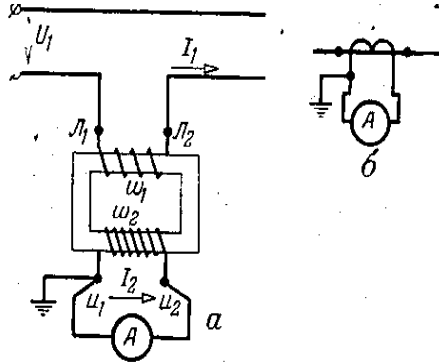
Gərginlik transformatorundan istifadə olunması ölçmənin xətasını artırır. Dolaqlarda gərginlik düşküünün olması transformatorun transformasiya əmsalının nominal qiymətdən fərqlənməsinə səbəb olur. Transformasiya əmsalındakı xətadan başqa birləşmiş vektor diaqramında U_1 və U_2 vektorları arasındakı bucaqla b_u təyin edilən bucaq xətası da müşahidə olunur. Transformatorun yükü artdıqca xətalər da artır. Voltmetrlərin göstərişinə transformasiya əmsalındakı xəta təsir göstərir.

Vattmetrlər, elektrik sayğacları və fazometrlər üçün isə hər iki xəta əhəmiyyətə malikdir, çünki bucaq xətası $\cos\varphi$ -nin qiymətini təhrif edir.

Cərəyan transformatoru. Cərəyan transformatorlarından yüksək və alçaq gərginlik qurğularında ampermetr və vattmetrlərin sayğacların və başqa cihazların cərəyan dolaqlarını qoşmaq üçün istifadə edilir.

Cərəyan transformatorunun prinsiplial sxemi (a) və şərti işarəsi (b) şəkildə göstərilmişdir. Cərəyan transformatorunun birinci dolağı L_1 və L_2 sığacları ilə cərəyanı ölçüləcək dövrəyə (xəttə) ardıcıl bağlanır. İkinci dolağın u_1 və u_2 sığaclarına cihazların cərəyan dolaqları bir-biri ilə ardıcıl qoşularaq birləşdirilir, belə ki, bunların hamısından eyni cərəyan keçir.

Cərəyan transformatorunun ikinci dolağının sarğılar sayı u_2 birinci dolağının sarğılar sayından u_1 çir neçə dəfə çoxdur.



Şəkil 5.24. Cərəyan transformatorunun qoşulma sxemi:
(a) və şərti işarəsi (b).

Cərəyan transformatorunun transformasiya əmsali birinci dolağın nominal cərəyanının I_{1n} ikinci dolağının nominal cərəyanına I_{2n} olan nisbətində deyilir:

$$k_{GT} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{v_2}{v_1}$$

Cərəyan transformatoru üçün məchul kəmiyyət ölçülən cərəyandır I_1 . İkinci dolağın nominal cərəyanı I_{2n} adətən 5A-ə bərabər götürülür. Nəzarət edilən dövradəki cərəyanın həqiqi qiymətini tapmaq üçün ampermetrin göstərişini k_{CT} -ə vurmaq lazımdır. Ampermetrin və başqa cihazların cərəyan dolaqlarının ümumi müqaviməti kifayət qədər kiçik (1 Om-dan kiçik) olur. Buna görə cərəyan transformatorunun ikinci dolağının uclarını açıq qoymaq olmaz. Çünki bu zaman $I_2=0$ olur, birinci dolağın maqnitləşdirici qüvvəsi $I_1 v_1$ isə sabit qalır. Bununla əlaqədar olaraq maqnit keçiricisində maqnit seli Φ dəfələrlə arta bilər. Bu isə maqnit keçiricisində itkilərin artmasına və onun həddən artıq qızmasına səbəb olar. Bundan başqa artmış maqnit seli ikinci dolaqda xidmətçi heyətin həyatı və izolyasiyanın bütövlüyü üçün təhlükəli olan böyük e.h.q. induksiyalayar. Cihazı işləyən transformatorun açmaq tələb olunduqda əvvəlcə transformatorun ikinci dolağını qsa qapamaq lazımdır.

Cərəyan transformatorları da transformasiya əmsalı və bucaq xətlərinə malikdir və bunlar ölçmənin xətasını artırır.

Məsələ 5-1. Nominal gücü $S_n=2,5$ kVA olan birfazlı transformatorun T-şəkilli əvəz sxeminin parametrlərini tapmalı. Yüksüz işləmə və qısaqapanma təcrübələrinin nəticələri verilmişdir: $U_{1n}=220V$, $U_{2n}=127V$, $I_0=1,4A$, $P_0=30Vt$, $U_q=8,8V$, $P_q=80Vt$

Məsələnin həlli. Əvəz sxemində yüksüz işləmə budağının müqavimətləri:

$$Z_0 = \frac{U_{1n}}{I_0} = \frac{220}{1,4} = 157 \text{ OM},$$

$$r_0 = \frac{U_{1n}}{I_0} = \frac{30}{1,4^2} = 15,3 \text{ OM}$$

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{157^2 - 15,3^2} = 156 \text{ OM},$$

Transformatorun nominal cərəyanı

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{2500}{220} = 11,35 \text{ OM},$$

Transformatorun qısaqapanma müqavimətləri:

$$z_q = \frac{U_q}{I_{1q}} = \frac{8,8}{11,35} = 0,78 \text{ OM},$$

$$r_q = \frac{P_q}{I_{1n}^2} = \frac{80}{11,35^2} = 0,62 \text{ OM},$$

$$x_q = \sqrt{z_q^2 - r_q^2} = \sqrt{0,78^2 - 0,62^2} = 0,47 \text{ OM}.$$

Dolaqların müqavimətlərini bərabər götürsək, alırıq:

$$r_1 = r_2 = \frac{r_q}{2} = \frac{0,62}{2} = 0,31 \text{ OM},$$

$$x_1 = x_2 = \frac{x_q}{2} = \frac{0,47}{2} = 0,235 \text{ OM},$$

Transformatorun transformasiya əmsalını tapıb

$$k = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{220}{127} = 1,73,$$

ikinci dolağıni həqiqi müqavimətlərini hesablayırıq:

$$r_2 = \frac{r'_2}{k^2} = \frac{0,31}{1,73^2} = 0,103 \text{ OM},$$

$$x_2 = \frac{x'_2}{k^2} = \frac{0,235}{1,73^2} = 0,078 \text{ OM},$$

Məsələ 5-2. TCM60/35 tipli transformatorun verilənləri belədir: $S_n=60\text{kVA}$, $U_{1n}=35\text{kV}$, $U_{2n}=400 \text{ V}$, $I_0=11,1\%$, $u_q=4,55\%$, $P_0=502 \text{ Vt}$, $P_q=1200 \text{ Vt}$, birləşmə qrupu Y/Δ. İkinci tərəf gərginliyinin dəyişmə faizinin yüksəlmə əmsalından asılılığını təyin etməli. Yüknün güc əmsalı $\cos\varphi_2=0,9$.

Məsələnin həlli. Tənliyindən ikinci tərəf gərginliyinin dəyişməcini faizlə belə yazı bilərik:

$$\Delta u_2\% = \frac{\beta I_n}{U_{1n}} (r_q \cos\varphi_2 + x_q \sin\varphi_2) \cdot 100.$$

$$r_q = z_q \cos\varphi_q, \quad x_q = z_q \sin\varphi_q, \quad I_n \cdot z_q = U_q$$

və

$$\frac{U_q}{U_{1n}} \cdot 100 = u_q$$

olduğunu nəzərə alsaq,

$$\Delta u_2\% = \beta u_q (\cos\varphi_q \cdot \cos\varphi_2 + \sin\varphi_q \cdot \sin\varphi_2) = \beta u_q \cos(\varphi_2 - \varphi_q)$$

olar. Verilmiş transformator üçün

$$\cos\varphi_q = \frac{P_q}{S_q} = \frac{P_q}{\sqrt{3} I_n U_q} = \frac{P_q \cdot 100}{\sqrt{3} I_n U_{1n} u_q} = \frac{P_q \cdot 100}{S_n u_q},$$

$$\cos\varphi_q = \frac{1200 \cdot 100}{600,00 \cdot 4,55} = 0,442; \quad \varphi_q = 64^\circ.$$

$$\cos\varphi_2=0,9 \text{ olduqda } \varphi_2=26^\circ$$

$$\text{Ona görə də} \quad u_2\% = \beta \cdot 4,55 \cdot \cos(26^\circ - 64^\circ) = 3,58\beta.$$

Məsələ 5-3. TCM320/35 tipli transformator üçün $\cos\varphi_2=0,7$ qiymətində maksimal f.i.ə.-ni və buna uyğun yüklənmə əmsalını tapmalı. Transformatorun texniki verilənləri belədir: $S_n=320$ kVA, $U_{1n}=35$ kV, $U_{2n}=6,3$ kV, $P_0=1750$ Vt, $P_q=4793$ Vt, $u_q=4,8\%$.

Məsələnin həlli. Transformatorun f.i.ə.-nin maksimal qiymətini tapmaq üçün onun ifadəsindən

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos\varphi_2}{\beta S_n \cos\varphi_2 + \beta^2 P_q + P_0}.$$

β -ya görə törəmə alıb sifıra bərabər etmək lazımdır.

Onda

$$\beta_{maks} = \sqrt{\frac{P_0}{P_q}} = \sqrt{\frac{1750}{4793}} = 0,605.$$

Bu yüklə f.i.ə. maksimal olacaqdır:

$$\beta_{maks} = \frac{0,605 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{0,605 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 0,7 + 0,605^2 \cdot 4793 + 1750} = 0,975.$$

Fəslə aid yoxlama sualları və məsələlər.

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. Transformatorun iş prinsipini izah edin. İkinci tərəf cərəyanı dəyişdikdə birinci tərəf cərəyanının dəyişməsi necə izah olunur?

6. Qısaqapanma təcrübəsi ilə yarım nominal cərəyanda transformator üçün ΔP_e 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 da dolaqların səpələnmə e.h.q.-ləri necə ifadə edilir?

9. Tətbiq edilmiş gərginliyi iki dəfə azaltdıqda transformatorun yüksüz işləmə cərəyanı necə dəyişir?

10. Transformatorun əvəz sxemini çəkin.

11. Parametrləri $S_n=100$ kVA, $P_0=1,8$ kVt, $P_q=2,4$ Vt, $\cos\varphi_{yük}=0,75$, $\beta=0,65$ olan birfazlı transformatorun f.i.ə.-ni tapmalı.

12. Üçfazlı transformatorun maqnit keçiricisinin üçcubuqlu hazırlanmasının mümkünliyünü aydınlaşdırın.

13. Avtotransformatorların üstün və nöqsan cəhətlərini göstərin.

14. Ölçü transformatorunun vəzifələrini izah edin.

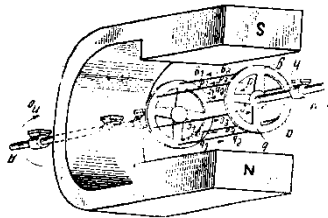
VI FƏSİL ELEKTRİK MAŞINLARI

6.1. Asinxron maşınlar. Asinxron mühərrikin vəzifəsi və iş prinsipi

Fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə elektrik və mexaniki enerjiləri qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevirən dəyişən cərəyan elektrik maşınına **asinxron maşınlar** 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. Konstruksiyanın sadəliyinə, ucuz olmasına və istismarda e'tibarlılığına 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.

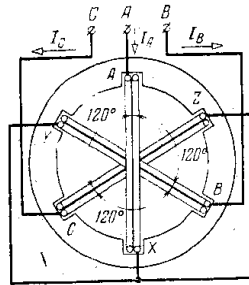
Asinxron mühərrikin iş prinsipini şəkildə təsvir edilmiş elektromaqnit mexanizminin misalında izah edək.



Şəkil 6.1. Asinxron elektromaqnit mexanizm.

İkiqütblü nal şəkilli sabit maqnit A-A oxu ətrafında sabit n_0 sürət ilə fırlanır. Maqnitli qütblər 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 $e_a, e_b, e_c \dots e_h$ induksiyalayır. E.h.q.-nin istiqaməti sağ əl qaydası ilə təyin edilir. E.h.q.-nin 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 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 müvazinət yaranır. Müqavimət momenti $M_{müq}$ rotor oxunun yastıqlara rotor çubuqlarının havaya sürtünməsi ilə əlaqədardır. Müvazinət halında rotor sabit sürətlə fırlanır.



Şəkil 6.2. Asinxron mühərrikin üçfazlı dolağı.

Sabit sürətlə fırlanan rotorun oxuna xaricdən müqavimət momenti əlavə etsək, müvazinət pozulur, müqavimət momenti fırlandırıcı moment artır. Sürətn müəyyən təzə qiymətində ($n < n_0$) yenidən müvazinət yaranır. Buradan belə çıxır ki, müqavimət momentinin hər bir qiymətinə rotorun fırlanma sürətinin müəyyən qiyməti uyğun gəlir. Rotorun sürətin maqnit sahəsinin sürətinə n_0 çata bilməz, çünki yalnız bu halda rotor çubuqlarında cərəyanlar induksiya oluna bilər və fırlandırıcı moment yaranar. Rotorun fırlanma sürətinin maqnit sahəsinin fırlanma sürətdən geri qalmaq dərəcəsi sürüşmə adlanan kəmiyyətlə qiymətləndirilir:

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0},$$

$$n = n_0(1 - s) = n_0 - sn_0.$$

Rotorun sürəti $n=0$ -dan $n=n_0$ -a qədər dəyişdikdə sürüşmə $s=1$ -dən $s=0$ -a qədər dəyişir.

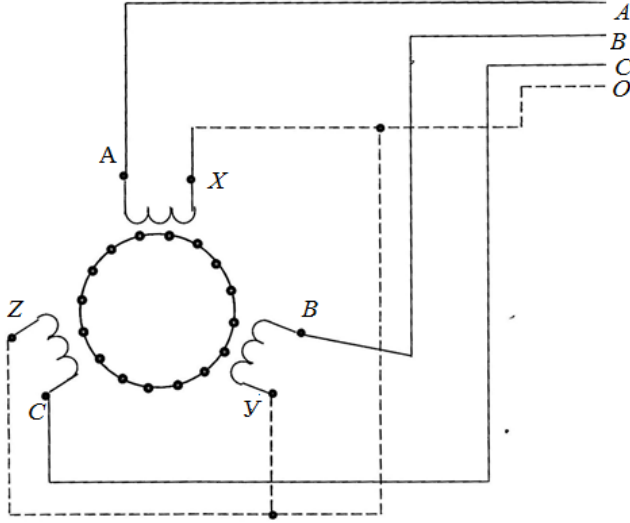
Baxılan mexanizm elektrik mühərriki deyildir. Burada elektrik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi getmir, mexaniki enerjinin elektromaqnit üsulla bir oxdan digər oxa ötürülməsi baş verir. Asinxron mühərrikdə isə fırlanan maqnit sahəsi elektrik üsulu ilə yaradılır.

6.2. Fırlanan maqnit sahəsinin alınması

Fırlanan maqnit sahəsinin alınmasını izah etmək üçün şəkildə göstərilən vərəqə poladdan yığılmış və içərisində yuvalar açılmış içiboş silindrə müraciət edək.

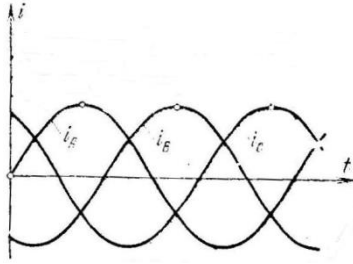
Slindirin diametral əks yuvalarında A və X, B və Y, C və Z sarğılar sayı eyni olan üç sarğac yerləşdirilmişdir. Bu sarğaclaın müstəviləri öz aralarında 120° bucaq təşkil edir.

Slindirin “uldüz” sxemi üzrə birləşdirilib üçfazlı şəbəkəyə qoşulmuşdur. Sarğacın dolaqlarından fazaca üçdə bir period fərqlənən sinusoidal cərəyanlar I_A ,



Şəkil 6.3. Asinxron mühərrikin üçfazlı dolağı

I_B , I_C axır. Hər bir sarğac ayrılıqda döyünən maqnit seli yaradır. Bu sellərin oxları uyğun sarğacın oxu ilə bir olur. Döyünən bu üç maqnit selinin birlikdə qiymətcə sabit, istiqamətcə isə sabit bucaq sürət ilə fırlanan ümumi maqnit seli yaratmasını göstərək.



Şəkil 6.4. Üçfazlı cərəyanın qrafiki.

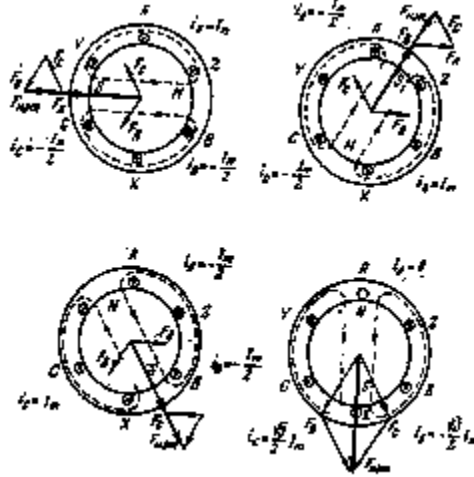
Zamanın bir neçə ardıcıl t_1 , t_2 və t_3 anları üçün sarğaclarda cərəyanların qiymət və istiqamətini təyin edək.

Cərəyanlar üçün müsbət istiqamət kimi sarğacın əvvəlindən sonuna doğru istiqaməti qəbul edirik.

t_1 anında i_1 cərəyanı və F_A maqnitləşdirici qüvvəsi ($M.q.$) müsbət və maksimal qiymətə malikdir ($I_m, I_m v$).

i_B və i_C cərəyanları və uyğun olaraq F_B və $F_C M.q.$ -ləri mənfidir və amplituda qiymətinin yarısına bərabərdir ($-\frac{1}{2}I_m, -\frac{1}{2}I_m v$). $F_A, F_B, F_C M.q.$ vektorlarını toplasaq, nəticəvi $M.q.$ vektorunu $F_{nət}$ alarıq. Onun qiyməti $\frac{13}{2}I_m v$ -ə bərabərdir, istiqamətə isə baxılan t_1 anında AX sarğacının oxu istiqamətindədir.

$t_2 = t_2 + \frac{T}{3}$ anında cərəyanların və $M.q.$ -lərin paylanması b şəklində təsvir edilmişdir. Burada da $F_{nət} = \frac{3}{2}I_m v$. Beləliklə sübut etmək olar ki, istənilən anda nəticəvi $M.q.$ qiymətə sabit qalır və $\frac{3}{2}I_m v$ -ə bərabərdir. Şəkilə t_A anı üçün də ($i_A=0$ olduqda) bu müddəə təsvir edilmişdir.



Şəkil 6.5. İkiqütblü fırlanma maqnit sahəsinin alınması.

Şəkiləki quraşdırmalardan görünür ki, nəticəvi fırlanan maqnit sahəsi iki qütblü alınmışdır. Silindrin daxili səthinin maqnit xətləri çıxan hissəsinə şimal qütbü, maqnit xətləri daxil

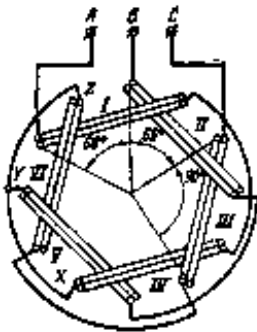
olan hissəsinə isə cənub qütbü kimi baxmaq olar. Baxılan şəkillərin müqayisəsindən belə nəticəyə gəlirik:

1. Nəticəvi ikiqütblü maqnit sahəsi bir period ərzində bir dövr edir; fırlanma sürət $n_0=60f=60 \cdot 50=3000 \text{ dövr/dəq}$.

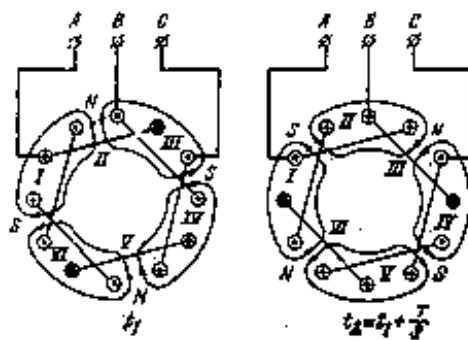
2. Maqnit sahəsinin fırlanma istiqaməti qidalandırıcı şəbəkənin faza ardıcılığı ilə ($A \rightarrow B \rightarrow C$) eynidir.

Kiçik fırlanma sürət almaq üçün sarğacaların sayını 3-dən 6, 9, 12 və s. qədər artırmaq lazımdır. Məsələn, əgər 6 sarğac götürsək, I sarğacını IV sarğacı ilə, II sarğacını V sarğacı ilə və III sarğacını VI sarğacı ilə ardıcıl birləşdirsək (şəkil), onlardan üçfazlı cərəyan axdıqda dörd qütblü ($2p=4$) fırlanma maqnit sahəsi yaranır. Buna əmin olmaq üçün şəkllə baxmaq kifayətdir. a və b şəkilləri t_1 və $t_2 = t_1 + \frac{T}{3}$ anları üçün qurulmuşdur. Bu şəkillərin müqayisəsindən görürük ki, üçdə bir period ərzində maqnit sahəsi 60° dönmüşdür, yəni dördqütblü maqnit sahəsinin sürət ikiqütblü maqnit sahəsinin sürətindən iki dəfə kiçik alınır. Sarğacaların sayını 9 götürsək, fırlanan maqnit sahəsi altıqütblü alınar və fırlanma sürət üç dəfə azalır. Beləliklə cüt qütblərin sayı p və şəbəkənin tezliyi f_1 olarsa, fırlanan maqnit sahəsinin sürəti belə təyin edilir:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}$$



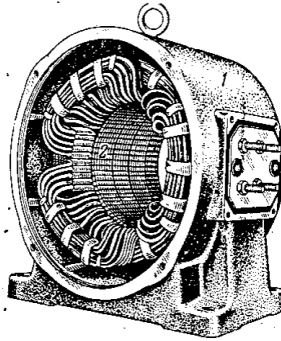
Şəkil 6.6. Dördqütblü mühərrikin



Şəkil 6.7. Dördqütblü mühərrikin maqnit üçfazlı dolacağı sahəsi

Asinxron mühərrik iki əsas hissədən ibarətdir: tərpənməz stator v  fırlanan rotor. Stator  uqun və yaxud polad gövdədən (1) və bunun i erisində yerləşdirilmiş elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış içiboş silindird n (2) ibarətdir. Silindirin daxili səthində açılmış yuvalarda   fazalı cərəyan şəbəkəsindən bəslənən v  fırlanan maqnit sahəsi yaradan dolaq (3) yığılmışdır. Rotor elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış slindird n ibarətdir. Rotorun səthində olan yuvalarda rotor dolağı yığılmışdır. Bu dolaq bəsləyici şəbəkə ilə elektrik rabitəsinə malik deyildir. Rotor dolağından axan cərəyan fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə induksiyanır.

Rotor dolağının tipindən asılı olaraq, asinxron mühərriklər *qısa qapanmıř rotorlu* və *faza rotorlu* mühərriklərə ayrılır.

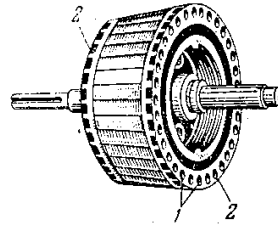
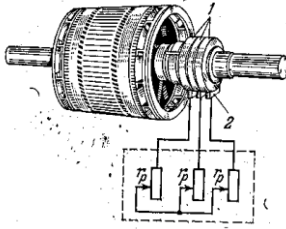


Şəkil 6.8. Asinxron mühərrikin statoru.

Qısa qapanmıř rotorun dolağı “d l  qəfəsi” şəklində yığılır: rotorun y valarına mis və ya alüminium  buqlar (1) qoyulur. Bu  buqların ucları hər iki alın tərəfdən  z kl rl  (2) birləşdirilir.

Faza rotorunun dolağı stator dolağı kimi   fazalıdır. Fazaların sarğacları ulduz birləşdirilir. Rotor dolağının sərbəst

qalmış üç ucu rotorun valında oturdulmuş kontakt üzərinə (1) birləşdirilir. Kontakt üzüklərinə söykənmiş tərpnəmz fırçalarla (2) rotor dolağının dövrəsində xarici r_p reostatu qoşmaq olur. Faza rotoruna çox vaxt kontakt üzüklü rotor da deyilir. Mühərrikin rotoru startorun içərisində yerləşdirilir və bu vəziyyətdə yastıqlarla saxlanılır. Startorun daxili səthi ilə rotorun xarici səthi arasında kiçik hava aralığı qalır.



Şəkil 6.9. Kısa qapanmış dolaqlı rotor Şəkil 6.10. Reostata birlikdə

6.4. Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə rejimi

Startorun və tərpnəmz rotorun elektrik hərəkət qüvvələri. Rotor dolağının açıq halında faza rotorlu asinxron mühərrikdə baş verən hadisələrə baxaq. Startor dolağını üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə qoşsaq, bu dolaqdan axan faza cərəyanları fırlanan maqnit sahəsi yaradacaqdır. Bu maqnit sahəsi n_0 sürət ilə fırlanacaqdır. Fırlanan maqnit sahəsi startor və rotor dolaqlarını kəsib onlarda elektrik hərəkət qüvvələri induksiylayacaq. Rotor dolağının dövrəsi açıq olduğuna görə ondan cərəyan axmayacaq və fırlandırıcı moment sıfır olacaqdır. Tərpnəmz dolaqlarda induksiylanan e.h.q.-lərinin tezliyi

$$f = \frac{pn_0}{60} = \frac{p}{60} \cdot \frac{60f_1}{p} = f_1$$

qidalandırıcı şəbəkənin tezliyinə (f_1) bərabər olacaqdır.

Real dolaqlarda startor dolaqları (və faza rotorun) sarğaçlarının hər tərəfi bir yuvada deyil, bir neçə qonşu yuvalarda yerləşdirilmişdir. Bununla nəinki stator və rotorun silindrik səthlərindən yaxşı istifadə edilməsi, həm də maqnit induksiyasının-sinusoidal paylanması əldə edilir. Ona görə də sarğacın hər sarğısını kəsən maqnit seli sinus qanunu ilə dəyişir:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t.$$

Transformatorla olduğu kimi, stator və rotor dolağının hər sarğısında induksiyaalan e.h.q.-nin effektiv qiyməti belə təyin edilir:

$$E = 4,44 f_1 \Phi_m.$$

Stator və tərpənməz rotorun hər faza dolağında induksiyaalanmış e.h.q.-lər belə ifadə edilir:

$$E_1 = E \omega_1 k_1 = 4,44 f_1 \omega_1 k_1 \Phi_m \approx 4,44 \omega_1 f_1 \Phi_m$$

$$E_2 = E \omega_2 k_2 = 4,44 f_2 \omega_2 k_2 \Phi_m \approx 4,44 \omega_2 f_2 \Phi_m$$

Burada ω_1 və ω_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 fərqinə malik olmasını nəzərə alır (k_1 və k_2 qiymətləri vahidə yaxındır).

Transformatorla analogi olaraq

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{v_1}{v_2} \approx \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = k$$

nisbətində transformasiya əmsalı deyilir ($U_{1\phi}$ və $U_{2\phi}$ -stator və tərpənməz rotor dolaqlarının faza gərginlikləridir).

Asinxron mühərrikin yüksüz işləməsi. Rotor dolağının açıq halında asinxron mühərriki şəbəkəyə qoşduqda rotor tərpənməz qalır. Startor dolağından I_1 cərəyanı axır, rotor dolağından isə cərəyan axmır. Rotorun dolağı qapalı olduqda ondan axan cərəyan sıfır olmaq üçün rotorun sürət 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 startor dolağından I_0 cərəyanı axacaqdır. Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə cərəyanı startorun nominal cərəyanının 20-40%-ni təşkil edir ($I_0 = 0,2-0,4 \cdot I_{1n}$). 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 $I_0 v_1$ tələb olunur.

6.5. Asinxron mühərrikin dövrələrində gedən elektromaqnit proseslər

Fırlanan rotorun elektrik hərəkət qüvvəsi. Rotorun dolağının qısa və ya hər hansı müqavimətlə qapasaq, ondan I_2 cərəyanı axar. Rotor cərəyanı ilə fırlanan maqnit sahəsinin qarşılıqlı təsirindən yaranan elektromaqnit fırlandırıcı moment rotoru $n < n_0$ sürət ilə fırlanmağa başlayır. Sürüşmənin qiyməti $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ mühərrikin valındakı müqavimət momentinin $M_{müq}$ qiymətindən asılıdır. Mühərrikin tam (nominal) yükündə sürüşmə 2-8% təşkil edir (kiçik qiymətlər daha güclü mühərriklərə aiddir).

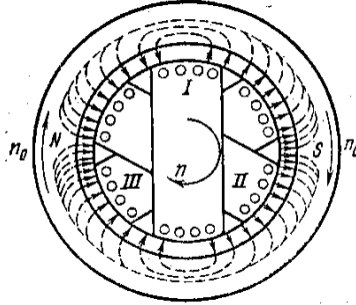
n sürət ilə fırlanan rotorun dolağında induksiyaalan e.h.q.-rin qiymətini E_{2s} və tezliyini f_2 təyin edək.

Maqnit sahəsinin rotora nisbətən fırlanma sürətinin ($n_0 < n$) olduğunu nəzərə alsaq, f_2 tezliyini belə taparıq:

$$f_2 = \frac{p(n_0 - n)}{60} = \frac{pn_0}{60} \cdot \frac{n_0 - n}{n_0} = f_1 s.$$

$f_1 = 50$ hc olduqda $s = 0,02-0,08$ nominal sürüşmələrdə $f_2 = 1-4$ hc olur. Fırlanan rotorun dolağında induksiyaalan e.h.q., fırlanan rotorun dolağında induksiyaalan e.h.q., $f_2 = f_1 s$ olduğunu nəzərə alsaq, $E_{2s} = 4,44 v_2 f_2 \Phi_m = E_{2s}$ olar. E_{2s} e.h.q. tərənəmz 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.



Şəkil 6.11. Rotor fırlanan maqnit sahəsinin

Rotor maqnit sahəsi. Rotor maqnit sahəsinin fırlanan olması rotor dolağının üçfazlı olub, bir-biri ilə 120° bucaq təşkil edən üç sargacdən ibarət olmasından irəli gəlir. Maqnit sahəsinin rotora nəzərən nisbi sürət

$$\frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1}{p} \cdot s = n_0 s.$$

Rotorun maqnit sahəsi rotorun fırlanma istiqamətində fırlanır. Rotor maqnit sahəsinin fəzada fırlanma sürəti iki sürətn cəmindən ibarətdir: rotorun özünün mexaniki fırlanma sürət $n=n_0(1-s)$ və maqnit sahəsinin rotora nəzərən fırlanma sürət n_0s : $n_0(1-s)+n_0s=n_0$.

Bu ifadədən görünür ki, rotor maqnit sahəsinin sürət startorun maqnit sahəsinin sürətnə bərabərdir.

Fırlanan rotorun cərəyanı. Rotorun cərəyanı ümumi fırlanan maqnit selinin yaradılmasında iştirak etməkdən başqa, səpələnmə seli də yaradır: $\Phi_{2\sigma}$. Bu sel I_2 cərəyanına mütənəsib olub, rotor dolağının hər fazasında səpələnmə e.h.q. yaradır:

$$E_{2\sigma}=4,44v_2 f_2 \Phi_{2\sigma}.$$

Səpələnmə e.h.q.-nin təsirini rotorun induktiv müqavimətində gərginlik düşküsü ilə nəzərə alırlar: $E_{2\sigma} = -j_2 I x_{2\sigma}$. İnduktiv müqavimətin $x_{2\sigma}$ sürüşmədən asılıdır:

$$x_{2\sigma} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 \cdot L_2 \cdot s = x_2 \cdot s,$$

burada L_2 - rotor dolağının induktivliyi;

$x_{2\sigma} = 2\pi f_2 L_2$ - tərənəmz rotor dolağının induktiv müqavimətidir.

Rotorun dolağından axan cərəyan belə təyin edilir:

$$I_2 = \frac{E_2 s}{z_2} = \frac{E_2 \cdot s}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 \cdot s)^2}}$$

burada r_2 - rotor dolağının aktiv müqavimətidir.

Rotorun dolağından 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 startor dolağının maqnitləşdirici qüvvəsi tərəfindən yaradılır:

$$F_0 = \frac{3}{2} = I_{0m} \cdot v_1$$

Yüklü rejimdə ($I_2 \neq 0$) ümumi maqnit seli startor və rotorun m.q.-lərinin birgə təsirindən yaranır:

$$F_{\text{nət}} = F_1 + F_2 = \frac{3}{2} I_{1m} v_1 + \frac{3}{2} I_{2m} \cdot v_2.$$

Startor dolağına tətbiq edilmiş gərginliyin amplituda qiyməti sabit qalır və bu gərginlik startor dolağında e.h.q.-ni müvazinətdə saxlayır (startor dolağında gərginlik düşküsü 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:

$$\frac{3}{2} I_{1m} v_1 + \frac{3}{2} I_{2m} \cdot v_2 \approx \frac{3}{2} I_{0m} v_1$$

Startor cərəyanının ifadəsi üçün alırıq:

$$I_1 = I_0 - I_0 - I_2 \frac{v_2}{v_1} = I_0 + I_2.$$

Burada $I_2 = -I_2 \frac{v_2}{v_1}$ -rotorun çevrilməsi cərəyanıdır.

Startor cərəyanına (I_2) maqnitləşdirici cərəyan (I_0) və rotorun cərəyanının maqnitləşdirici təsirini kompensasiya edən çevrilmiş I_2 cərəyanının cəmi kimi baxmaq olar.

Asinxron mühərrikin energetik diaqramı. Asinxron mühərrikin aktiv güclər balansını aşağıdakı tənliklə göstərmək olar.

$$P_e = \Delta P_{1e} + \Delta P_m + \Delta P_{2e} + P_{mex} + P,$$

burada $P_e = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ - mühərrikin şəbəkədən tələb etdiyi güc;

$\Delta P_{1e} = 3I_1^2 r_1$ – startor dolağında elektrik itkiləri;

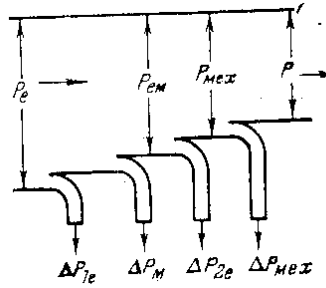
ΔP_m - startor poladında maqnit itkiləri (rotorda maqnit itkiləri çox kiçikdir);

$\Delta P_{2e} = 3I_2^2 r_2$ – startor dolağında elektrik itkiləri;

P_{mex} -mühərrikin yaratdığı tam mexaniki güc;

ΔP_{mex} - mühərrikdə mexaniki itkilər;

P - mühərrikin valında mexaniki gücdür.



Şəkil 6.12. Asinxron mühərrikin energetik diaqramı.

Asinxron mühərrikin aktiv güclər balansı əyani olaraq şəkildə energetik diaqramda təsvir edilmişdir.

$P_{em} = P_e - \Delta P_{1e} - \Delta P_M$ kəmiyyətinə mühərrikin **elektromaqnit gücü** deyilir. Bu güc fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə startordan rotora ötürülür.

Mühərrikin zavod pasportunda nominal rejimdəki faydalı *mexaniki güc* P göstərilir. Faydalı güc mexaniki gücdən mexaniki itkilər qədər kiçik olur:

$$P - P_{mex} - \Delta P_{mex}.$$

6.6. Yüklü asinxron mühərrikin əvəz sxemi

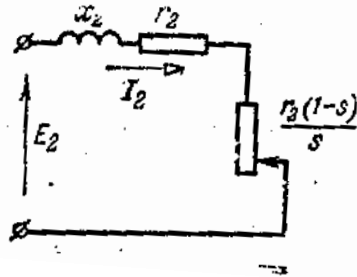
Asinxron mühərrikin startor və rotor dolaqlarının dövrələrindən axan cərəyanlar müxtəlif tezlikli olduğundan (f_1 və f_2) asinxron mühərrik üçün ümumi vektor diaqramı m qurmaq olmaz, çünki vektor diaqramında bütün sinisoidal elektrik kəmiyyətləri eyni tezlikli olmalıdır. Lakin fırlanan rotorun həqiqi dövrəsini $f_{\text{tət}}=f_1$ tezlikli tərpənməz rotorun ekvivalent dövrəsi ilə əvəz etsək, onda yüklü asinxron mühərrik vektor diaqramını və buna uyğun əvəz sxemini çəkə bilərik.

Rotorun ekvivalent dövrəsi elə seçilmişdir ki, mühərrikin şəbəkədən aldığı cərəyan və güc, habelə rotora ötürülən elektromaqnit güc dəyişməz qalsın. Bundan ötrü rotorun cərəyanı I_2 və rotorun cərəyanı ilə e.h.q. arasında faza fərqi bucağı φ_2 həqiqi və ekvivalent dövrələr üçün eyni olmalıdır.

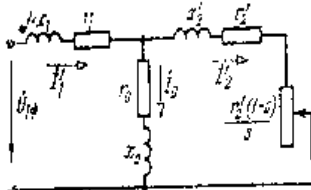
Tərpənməz rotor dövrəsində induksiyalanan e.h.q. (E_2) fırlanan rotorun e.h.q.-indən $(E_{2s})\frac{1}{s}$ dəfə böyükdür. [bax düstur]. Ekvivalent tərpənməz rotorda cərəyanın qiymət və fazasını saxlamaq üçün rotorun ekvivalent dövrəsinin müqavimətləri də $\frac{1}{s}$ dəfə artırılmalıdır. Deyilənləri əvəz rotor cərəyanının düsturunda aşağıdakı çevirməni aparıb, ekvivalent əvəzetmə almaq olar:

$$I_2 = \frac{E_2 \cdot s}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}.$$

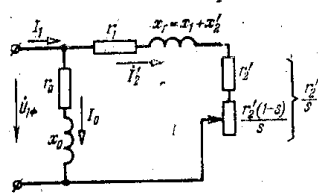
Bu ifadədən görürük ki, rotorun aktiv müqavimətini $\frac{r_2}{s}$ -ə bərabər götürməklə fırlanan rotor dövrəsini ekvivalent tərpənməz rotorun dövrəsi ilə əvəz edə bilərik. Şəkildə ekvivalent tərpənməz rotorun əvəz sxemi göstərilmişdir. Dövrənin aktiv müqaviməti $\frac{r_2}{s}$ iki müqavimətin cəmi kimi götürülmüşdür: $r^2 + r_2 \cdot \frac{1-s}{s} = \frac{r_2}{s}$.



Şəkil 6.13. Ekvivalent tərpənməz rotorun əvəz sxemi



Şəkil 6.14. Asinxron mühərrikin əvəz sxemi.



Şəkil 6.15. Asinxron mühərrikin əvəz sxemi.

Ekvivalent tərpənməz rotorun dövrəsində transforma-

Torun müqavimətləri r_2 və x_2 olan və xarici yük müqavimətinə ($r_{ek} = r_2 \frac{1-s}{s}$) qoşulmuş ikinci dolağının dövrəsi kimi baxmaq olar:

$$E'_2 = E_2 k, \quad I'_2 = I_2 \cdot \frac{1}{k}, \quad r'_2 = r_2 \cdot k^2,$$

$$x'_2 = x_2 k^2, \quad r'_2 \cdot \frac{1-s}{s} = r_2 \cdot \frac{1-s}{s} k^2.$$

Bunları nəzərə alıb asinxron mühərrikin əvəz sxemini şəkil 6.14-də göstərilədiyi kimi qurmaq mümkündür.

Asinxron maşınların tədqiqində hesabı sadələşdirən şəkli dəyişdirilmiş əvəz sxemindən də istifadə edilir.

6.7. Asinxron mühərrikin firlandırıcı

momenti və mexaniki xarakteristikası

Firlandırıcı moment. Startordan rotora fırlanan maqnit sahəsi ilə ötürülən elektromaqnit güc asinxron mühərrikin əvəz sxemindən görüldüyü kimi, rotorun aktiv müqavimətlərində istiliyə ayrılan gücə bərabərdir:

$$P_{em} = 3I_2'^2 \cdot r_2 + 3I_2'^2 \cdot r_2' \cdot \frac{1-s}{s} = 3I_2'^2 \cdot \frac{r_2}{s} = \frac{\Delta P_{2e}}{s}.$$

Asinxron mühərrikin energetik diaqramından (şəkil.6.15) mexaniki gücü təyin edirik:

$$P_{mex} = P_{em} - \Delta P_{2e} = 3I_2'^2 \frac{r_2}{s} - 3I_2'^2 r_2' = 3I_2'^2 \cdot r_2' \frac{1-s}{s}.$$

Buradan görürük ki, mexaniki gücə çevrilən elektrik gücü rotor dövrəsinin $r_2' \frac{1-s}{s}$ aktiv müqavimətindəki istiliyə çevrilən gücə bərabərdir.

Mühərrikin mexaniki gücünü rotorun yaratdığı elektromaqnit moment (M) və rotorun bucaq sürət ilə (Ω) ifadə edək:

$$P_{mex} = M \Omega = M \Omega_0 (1-s),$$

burada $\Omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}$ - fırlanan maqnit sahəsinin bucaq sürətidir.

Bu tənlikdə güc vattla, moment Nyuton-metr (N.m) ilə ifadə edilmişdir.

$\Omega_0 = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi n_0}{30} (1-s)$ nəzərə alsaq, firlandırıcı moment üçün yaza bilərik:

$$M = \frac{28,6}{n_0} I_2'^2 \cdot \frac{r_2'}{s}.$$

Mühərrikin sadələşmiş əvəz sxemindən rotor cərəyanını təyin edək:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + x_k^2}}$$

I'_2 -in bu ifadəsini düsturunda yerinə yazsaq, asinxron mühərrikin fırlandırıcı momenti üçün aşağıdakı düsturu alırıq:

$$M = \frac{28,6U_{1\Phi}^2 \cdot \frac{r'_2}{s}}{n_0[(r_1 + \frac{r'_2}{s})^2 + x_q^2]}$$

Bu ifadədən görürük ki, gərginliyin verilmiş qiymətində ($U_{1\Phi}$) fırlandırıcı moment yalnız sürüşmədən (s) asılıdır.

Mexaniki xarakteristika. Yuxarıdakı düsturlara əsasən asinxron mühərrik üçün $M(s)$ və $I'_2(s)$ qrafikləri göstərilmişdir. $M(s)$ qrafikindən istifadə edib, $n=n_0(1-s)$ düsturunu nəzərə alaraq $n(M)$ qrafikini qurmaq çətin deyildir. $M(s)$ və $M(n)$ asılılıqlarına asinxron mühərrikin **mexaniki xarakteristikaları** deyilir. İşədüşmənin əvvəlində ($s=1$) mühərrikin yaratdığı işədüşmə momenti bərabərdir:

$$M = \frac{28,6U_1^2 r'_2}{n_0[(r_1 + r'_2)^2 + x_q^2]}$$

Sürüşmə azaldıqca, yəni mühərrikin fırlanma sürət artdıqca onun yaratdığı moment artır və sürüşmənin müəyyən qiymətində (s_k) ən böyük kritik qiymətini (M_k) alır. Sürüşmənin sonrakı azalmasında ($s < s_k$) mühərrikin momenti azalır və $s=0$ olduqda ($n=n_0$) olur.

Bunun nəticəsində kritik sürüşmə və kritik momenti təyin edirik ki,

$$s_k = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_q^2}}$$

Mühərriklər üçün $x_q > r_1$ və deməli, $x_q^2 > r_1^2$ olduğuna görə r_1 -i nəzərdən atmaq olar. Onda təxminidüstur alırıq:

$$s_k \approx \frac{r'_2}{x_q}$$

Kritik momentin ifadəsi:

$$M_k = \frac{14,3}{n_0} \frac{U_{1\Phi}^2}{[r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_q^2}]} \approx \frac{14,3}{n_0} \cdot \frac{U_{1\Phi}^2}{x_q}$$

Təcrübədə mühərrikin mexaniki xarakteristikasını qurmaq üçün $\frac{M_k}{M}$ ifadəsindən istifadə edirlər. Bu ifadə $r_1=0$ qəbul edilmiş hal üçün təyin edilir:

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

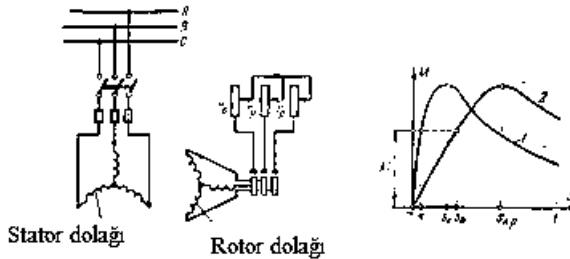
Buradan $M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$.

Mühərrikin reostat xarakteristikaları. Faza rotoru dövrəsinə r_p müqavimətli reostat qoşsaq (şəkil 6.16, a), mühərrikin fırlandırıcı momenti belə təyin edilir:

$$M = \frac{28,6U_1^2 \Phi \frac{r'_2 + r'_p}{s}}{n_0 [(r_1 + \frac{r'_2 + r'_p}{s})^2 + x_q^2]}$$

Bu hal üçün kritik sürüşmə

$$Sk.p. = \frac{r'_2 + r'_p}{x_q}$$



Şəkil 6.16. Aasinxron mühərrikin təbii və reostat xarakteristikaları

$M(s)$ və $M(n)$ qrafikləri qura bilərik. Mühərrikin sıxaclarında gərginlik nominal olduqda və onun dövrlərində əlavə müqavimətlər olmadıqda qurulmuş mexaniki xarakteristikaya **təbii-mexaniki xarakteristikası** deyilir. Faza rotoru dövrəsinə

reostat daxil etdikdə mühərrikin **reostat-mexaniki xarakteristikalarını** alırıq.

1 mühərrikin təbii ($r_p=0$) və 2 ($r \neq 0$) mexaniki xarakteristikaları göstərilmişdir.

Mühərrikin dayanıqlı işləməsi. $M(s)$ əyrisini $s=0$ -dan $s=s_k$ -ya qədər hissəsi xarakteristikanın *dayanıqlı*, $s=s_k$ -dan $s=1$ -ə qədər hissəsi isə *dayanıqsız* hissəsi adlanır. Xarakteristikanın dayanıqlı hissəsində işlədikdə hər hansı təsadüfə səbəbdən müqavimət momentinin artması fırlanmanın fırlanmanın yavaşmasına səbəb olur. Bu zaman sürüşmə artır, mühərrikin fırlandırıcı momenti artır və yeni müvazinət vəziyyəti yaranır. Müqavimət momentinin azalması mühərrikin yeyinləşməsinə səbəb olur və yenidən daha böyük sürətdə müvazinət yaranır. Xarakteristikanın dayanıqsız hissəsində işlədikdə hər hansı təsadüfə səbəbdən rotor sürətinin azalması mühərrikin dayanmasına, sürətinin artımı isə mühərrikin yeyinləşib dayanıqlı hissəyə keçməsinə səbəb olur.

Mühərrikin kataloq göstəricilərinə əsasən təbii-mexaniki xarakteristikasının qurulması. Kataloqlarda və texniki sorğu kitablarında asinxron mühərriklər üçün işlədüşmə və kritik momentlərin nominal momentə olan nisbətləri verilir:

$$\frac{M_{id}}{M_n} = \delta, \frac{M_k}{M_n} = \lambda$$

M_{id} və M_k -nin ədədi qiymətlərini tapmaq üçün əvvəlcə M_n -i (Hm) nominal gücə P_n (kBm) görə təyin etmək lazımdır:

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}$$

Kataloqdan məlum δ , λ , P_n , n_n kəmiyyətlərə görə və düsturlara əsasən mexaniki xarakteristikaları qurmaq olar. Düsturdan istifadə etdikdə hesabat daha sadə alınır:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

Bundan ötrü əvvəlcə kritik sürüşməni s_k belə təyin edirlər:

$$\frac{M_n}{M_k} = \frac{1}{\lambda} = \frac{2}{\frac{s_n}{s_k} + \frac{s_k}{s_n}}$$

Buradan

$$s_k = \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right),$$

M_k və s_k -nın qiymətini bilib, düsturundan istifadə etməklə $m(s)$ əyrisini qurmaq olar.

Kritik momentin qiymətinə görə mühərrikin artıq yüklənmə qabiliyyəti təyin edilir (δ). Mühərrikin işə düşə bilməsi üçün

$$M_{id} > M_{müq.baş.}$$

olmalıdır. Burada $M_{müq.baş.}$ - istehsal mexanizminin işə düşmə anında statik müqavimət momentidir.

Momentin düsturundan görüldüyü kimi sürüşmənin verilmiş qiymətində moment gərginliyin kvadratı ilə düz mütənasibdir. Bununla əlaqədar olaraq “Elektrik qurğularının quruluş qaydaları”nda mühərriklərin sıxaclarında gərginliyin nominal qiymətdən yol verilən fərqlənməsi $\pm 5\%$ qəbul edilmişdir.

6.8. Asinxron mühərrikin energetik göstəriciləri

Asinxron mühərrik də güc itkiləri ΔP və tələb edilən reaktiv güc Q onun əsas istismar göstəricilərini təyin edir. Bu göstəricilər mühərrikin faydalı iş əmsalı η (f.i.ə.) və güc əmsalı $\cos\varphi$ -dir.

Mühərrikin f.i.ə. Energetik diaqramdan itkilərin cəmini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{1e} + \Delta P_M + \Delta P_{2e} + \Delta P_{mex} = \Delta P_c + \Delta P_v$$

Bu ifadədə $\Delta P_v = 3(I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2)$ yükədən asılı olan dəyişən itkilər, $\Delta P_c = \Delta P_m + \Delta P_{\text{mex}}$ yüksüz işləmə itkilərinə bərabər sabit itkilərdir.

Mühərrikin yüklənmə əmsalının

$$B = \frac{P}{P_n} \approx \frac{M}{M_n} \approx \frac{s}{s_n}$$

olduğunu nəzərə alsaq, rotor cərəyanının

$$I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_2'^2}} \approx \frac{E_2 s}{r_2} = \frac{\beta E_2'}{r_2} \cdot s_n$$

və startor cərəyanının $I_1 = I_0 + I_2'$ yükləmə əmsalına mütənasib olduğunu görürük. Onda dəyişən itkilər yükləmə əmsalının kvadratı ilə mütənasib olar:

$$\Delta P_v = \Delta P_{vn} \beta^2,$$

burada ΔP_{vn} – nominal yükə dəyişən itkilərdir.

Bu asılılıqdan istifadə etsək, mühərrikin f.i.ə. üçün alarıq:

$$\eta = \frac{P}{P + \sum \Delta P} = \frac{\beta P_n}{\beta P_n + \Delta P_c + \beta^2 \Delta P_{vn}}$$

$\eta(\beta)$ qrafikindən görünür ki, mühərrikin yükünün geniş həddə dəyişməsi f.i.ə.-nin azacıq dəyişməsinə səbəb olur. Bu isə əlverişli haldır.

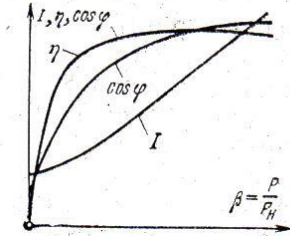
Mühərrikin güc əmsalı. Asinxron mühərrikin tələb etdiyi reaktiv gücü əvəz sxeminə görə təyin edə bilərik

$$Q = 3I_1^2 x_1 + 3I_0^2 x_0 + 3I_2'^2 x_2' = Q_0 + Q_2.$$

Bu ifadədən görünür ki, tələb edilən reaktiv gücün bir hissəsi Q_0 yükün qiymətindən asılı deyildir, digər hissəsi Q_2 isə yükədən asılıdır və yükləmə əmsalının kvadratı ilə (β^2) mütənasibdir. Mühərrikin güc əmsalı

$$\cos \varphi = \frac{P_e}{\sqrt{P_e^2 + Q_2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_2}{P_e}\right)^2}}$$

$\cos \varphi(\beta)$ qrafikindən görünür ki, mühərrik az yükləndikdə güc əmsalı çox kiçik olur. Bu isə energetik nöqtəyənəzərdən əlverişsizdir. Odur ki, asinxron mühərrikin yüksək $\cos \varphi$ ilə işləməsi üçün o tam yüklənməlidir.



Şəkil 6.17. Asinxron mühərrikin işçi xarakteristikaları

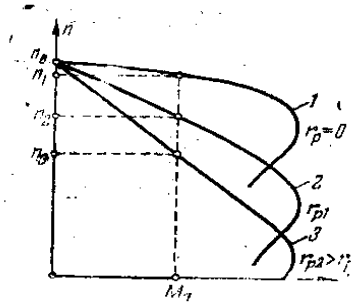
6.9. Asinxron mühərrikin sürətinin tənzim edilməsi və reversivlənməsi

Asinxron mühərrikin sürətinin tənzim edilməsi.

Asinxron mühərrikin rotorunun fırlanma sürətini

$$n = n_0(1-s) = \frac{60f_1}{P}(1-s)$$

ifadəsindən görüldüyü kimi, iki üsulla dəyişmək olar: sürüşməni dəyişməklə, ya da maqnit sahəsinin fırlanma sürətini dəyişməklə. Fırlanan maqnit sahəsinin sürətini isə öz növbəsində iki üsulla dəyişmək olar: cüt qütblərin sayını p dəyişməklə, ya da bəsləyici şəbəkənin tezliyini dəyişməklə.



Şəkil 6.18. Rotor dövrəsinə reostatla asinxron mühərrikin sürətinin tənzimlənməsi.

Sürüşmənin dəyişdirilməsini rotor dövrəsinə tənzimləyici reostat qoşmaqla əldə etmək olar. a) Bu üsulun çatışmayan cəhəti onun qeyri-qənaətcil olmasıdır, çünki o, rotor dövrəsində elektrik itkilərinin artmasına səbəb olur. Doğrudan da asinxron mühərrikin energetik diaqramından

$$\Delta P_{2e} = \Delta P_{em} - P_{mex} = M\Omega_0 s.$$

Lakin bu üsul çox sadə olduğuna və səliqə tənzimləmə aparmağa imkan verdiyinə görə təcrübədə bəzi xüsusi hallar tətbiq edilir. Şəkildə mühərrikin təbii və reostat mexaniki xarakteristikaları verilmişdir.

Cüt qütblərin sayını dəyişməklə asinxron mühərrikin sürətinin tənzimi üsulu ən geniş yayılmış üsuldür, çünki o asan tadbirlərlə əldə edilir.

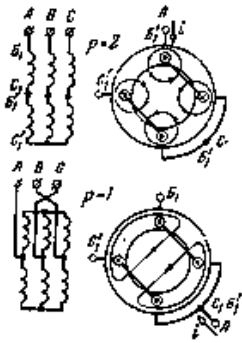
Mühərrikin cüt qütblər sayını pillələrlə dəyişməklə bilər, odur ki bu halda sürətini tənzimi pilləli alınır.

Asinxron maşınlarda fırlanan maqnit sahəsinin qütblər sayı və onların yerləşməsi tamamilə startor dolağının elektrik sxemi ilə təyin edilir. Startorda qütblər sayı müxtəlif olan bir neçə müstəqil dolaq yerləşdirməklə uyğun dolağı şəbəkəyə qoşub istənilən sürət almaq olar. Startor dolağı bir olan asinxron mühərriklərdə qütblər sayını dəyişmək üçün bu dolağın bu dolağın birləşmə sxemini dəyişirlər. Bir dolaqlı mühərriklərdə

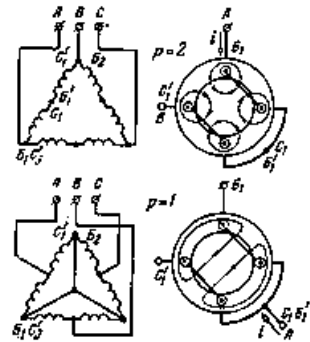
startor dolağının hər fazası iki eyni hissədən hazırlanır, bunlardan birində birləşməni dəyişən zaman cərəyan istiqamətini dəyişir. Təcrübədə startor dolağının birləşməsinin dəyişdirilməsinin iki sxemi geniş yayılmışdır: a) birqat ulduz sxemindən ikiqat ulduz sxeminə keçmə; b) üçbucaq sxemindən ikiqat ulduz sxeminə keçmə. Hər iki birləşmə sxemində cüt qütblər sayını təyin etmək çətin deyildir. Şəkillərdə bir fazanın maqnit sahəsi göstərilmişdir.

İki sürətə malik asinxron mühərriklərə **ikisürətli mühərriklər** deyilir. Bundan başqa, ölkəmizin sənayesi üç və dördsürətli mühərriklər də istehsal edir. Üçsürətli mühərriklərin iki dolağı vardır; bunlardan biri ikisürətlidir. Dördsürətli mühərriklərdə hər iki dolaq ikisürətlidir. Dördsürətli mühərriklər seriya ilə 1500/1000/750/500 *döv/dəq* sürətli hazırlanır.

Bir neçə sürətlə işləmək üçün hesablanan asinxron mühərriklərə **çoxsürətli asinxron mühərriklər** deyilir.



Şəkil 6.19. İkisürətli asinxron mühərrikin startor dolağının birqat ulduzdan ikiqat ulduza keçilmə sxemi



Şəkil 6.20. İkisürətli asinxron mühərrikin startor dolağının üçbucaqdan ikiqat ulduza keçilmə sxemi

Çoxsürətli asinxron mühərriklər yalnız qısa qapanmış rotorlu icra edilir.

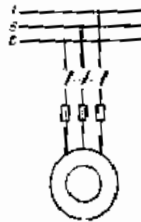
Tezliyi dəyişməklə asinxron mühərrikin sürətini tənzim etmək olduqca perspektiv üsuldur, çünki o, sürətini geniş, səliqə və qənaətcil tənzimlənməsinə imkan verir. Lakin bu üsul xüsusi çevirici aqreqat tələb edir.

Asinxron mühərrikin reversivlənməsi

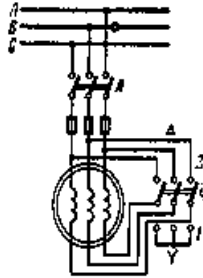
Asinxron mühərrikin fırlanma istiqamətinin dəyişdirilməsinə reversivlənmə deyilir. Reversivlənmə startor dolağının uclarında faza ardıcılığını dəyişməklə əldə edilir. Şəkildə mühərrikin çevirgəclə (Ç) reversivlənmə sxemi göstərilmişdir.

6.10. Asinxron mühərriklərin işə salınması

Asinxron mühərriklərin işə salınması onun dövrəsində böyük cərəyanların yaranması ilə müşayiət olunur. Cərəyanın ən böyük qiyməti işə düşmənin başlanğıc anına uyğun gəlir. Asinxron mühərrikin işə düşmə cərəyanı I_{ug} nominal cərəyanından 4-8 dəfə böyük olur.



Şəkil 6.21. Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikin birbaşa işə qoşulma sxemi



Şəkil 6.22. Stator dolağının ulduz birləşməsindən üçbucaq birləşməsinə keçməklə asinxron mühərrikin işəsalınma sxemi.



Şəkil 6.23. İki ədəd qısa qapanmış dolaqlı rotor.

Qısa qapanmış rotorlu mühərriklərin işə salınması.

Əksər hallarda qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikləri şəbəkəyə birbaşa qoşmaqla işə salırlar. Mühərrikin işədüşmə cərəyanı mənbənin (kiçik güclü generator və transformator) artıq yüklənməsinə səbəb olan hallarda işədüşmə cərəyanını azaltmaq üçün xüsusi sxemlərdən istifadə edirlər. Bunlardan ən sadəsi startor dolağının ulduz sxemindən üçbucaq sxeminə keçirilməsi sxemidir.

Bu sxem normal iş rejimində startor dolağı üçbucaq qoşulacaq mühərriklər üçün tətbiq edilə bilər. Mühərriki bu sxem üzrə işə saldıqda işədüşmə cərəyanı 3 dəfə azalır. Eyni zamanda işədüşmə anında faza verilən gərginlik $\sqrt{3}$ dəfə azaldığına görə işədüşmə momenti də 3 dəfə azalır. Bundan

başqa, işədüşmə cərəyanını azaltmaq üçün təcrübədə mühərrikə azaldılmış gərginliyin avtotransformator vasitəsilə verilməsi sxemindən istifadə edilir.

Mühərrikə verilən gərginliyi azaltmaq üsulu ilə işəsalmanın çatışmayan cəhəti işədüşmə momentinin azalmasıdır. Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərriklərin işədüşmə xassələrini yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə (işədüşmə cərəyanı azaltmaq və işədüşmə momentini artırmaq məqsədi ilə) xüsusi konstruksiyalı rotordan istifadə edilir. Ən geniş yayılan konstruksiyalar dərin yuvalı bir dələ qəfəsli və iki dələ qəfəsli qısa qapanmış rotorlardır.

İki qısa qapanmış dolaqlı mühərriklərdə hər iki dolaq rotorda konsentrik yerləşdirilir. Yuxarı dolaq böyük aktiv müqavimətli çubuqdan, aşağı dolaq isə nisbətən kiçik aktiv müqavimətli çubuqlardan icra edilir. Rotorda səpələnmə maqnit seli elə paylanılır ki, yuxarı dolaq az miqdarda maqnit xətləri ilə əhatə olunur. Buna görə də yuxarı dolağın induktiv müqaviməti aşağı dolagına nisbətən bir neçə dəfə kiçik olur.

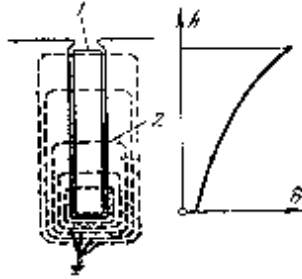
Hər iki dolağın induktiv müqaviməti f_2 tezliyinə, deməli, sürüşməyə mütənasib olduğu üçün böyük sürüşmələrdə isə cərəyanın paylanması dolaqların aktiv müqavimətlərindən asılı olacaqdır.

İşədüşmə anında ($s=1$) cərəyan əsasən kiçik induktiv müqavimətli yuxarı dolaqdan axır və bu dolağın aktiv müqaviməti böyük olduğuna görə mühərrik böyük işədüşmə momenti yaradır. Normal iş zamanı (s -in qiyməti çox kiçikdir) cərəyan əsasən aktiv müqaviməti kiçik olan aşağı dolaqdan axacaqdır. Odur ki, mühərrik kiçik sürüşmə ilə bə deməli, böyük f.i.ə. ilə işləyəcəkdir. Aşağı dolaq **işçi**, yuxarı dolaq isə **işəsalıcı** dolaq adlanır.

Dərin yuvalı mühərriklərdə rotorun qısa qapanmış dolağı düzbucaq en kəsikli çubuqlardan (1) hazırlanır və rotorun ensiz dərin yuvalarında (2) yerləşdirilir.

Hər çubuğu hündürlü üzrə çoxlu sayda naqil təbəqədən ibarət təsəvvür etmək olar. Yuvanın dibində olan təbəqələr yuxarı təbəqələrə nisbətən daha çox maqnit xətləri ilə əhatə olunur. Odur ki, onların induktiv müqaviməti yuxarı təbəqələrə nisbətən çox olur. Bununla əlaqədar olaraq çubuqda cərəyanın sıxlığı müxtəlif olur: yuxarı təbəqələrdə cərəyan sıxlığı böyük, aşağı təbəqələrdə kiçik olur. Çubuğun en kəsiyi üzrə cərəyan sıxlığının qeyri bərabər paylanması istilik itkilərini və deməli, çubuğun aktiv müqavimətini artırır.

Bu hadisə özünü mühərrik işə düşən anda daha aşkar göstərir, çünki bu halda $f_2 \approx f_1$ olur və induktiv müqavimətin böyük olması cərəyanın paylanmasına həlledici təsir göstərir. Nəticədə dərin yuvalı mühərrik böyük işə düşmə momentinə və kiçik işə düşmə cərəyanına malik olur.



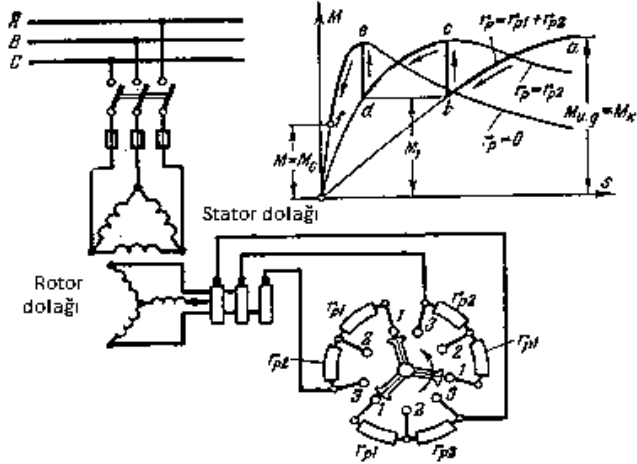
Şəkil 6.24. Dərin yuvalı rotor.

Faza rotorlu mühərrikin işə salınması. İşə salınma müddətində rotor dövrəsinə əlavə müqavimətin r_p (işəsalıcı reostatın) qoşulması işə düşmə cərəyanını azaltmağa və işə düşmə momentini artırmağa imkan verir.

r_p müqaviməti artdıqca kritik sürüşmə artır və $M(s)$ əyrisi sağa sürüşür. r_p -in müəyyən qiymətində kritik sürüşmə vahidə bərabər olur, işə düşmə momenti isə kritik qiymətə bərabərən böyük qiymətini alır. r_p -in həmin qiymətini tapaq. $S_{kp}=1$ qəbul edib tapırıq:

$$S_{kp} = \frac{r'_2 + r'_p}{x_k},$$

$$r'_p = x'_{q2} - r'_2, r_p = \frac{r'_p}{k^2}.$$



Şəkil 6.25.Faza rotorlu asinxron mühərrikin işə salınması.

Mühərrikin yaratdığı momenti müəyyən səviyyədə saxlamaq üçün reostatın müqaviməti işədüşmə müddətində tədricən pilləli surətdə azaldılır. Mühərrik işçi sürətni aldıqca reostat tamamilə dövrədən çıxır və rotor dolağı qısa qapanmış olur.

Şəkildə faza rotorlu mühərrikin işə salınma sxemi və işədüşmə prosesində mühərrikin fırlandırıcı momentinin dəyişmə əyrisi ($abcdef$) göstərilmişdir.

6.11. 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 sürətdən (n_0) böyük sürətlə (n) fırlandırılırsa, rotorun sürüşməsi mənfi olar:

$$\frac{n_0 - n}{n_0} < 0.$$

Bərabərlikdən belə nəticə çıxarmaq olar ki, elektromaqnit güc P_{em} də mənfi olacaqdır:

$$P_{em} = -\frac{\Delta P_{2c}}{s}$$

Bu işə enerjinin fırlanan maqnit sahəsi vasitəsilə rotordan startora 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.

6.12. Asinxron mühərrikin elektrik tormozlanması

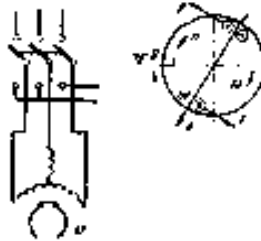
Müasir istehsal qurğularında işçi maşınlarının tez dyandırılması lüzumu meydana çıxır. Bundan ötrü elektrik mühərrikinin tormozlanmasından istifadə edilir. Tormozlanma mexaniki və elektriki olur. Elektrik mühərrikininelektrik tormozlanmasının üç üsulu vardır: dinamik, əks-qoşma və generator (rekuperativ) tormozlanması.

Dinamik tormozlanma, asinxron mühərriki üçfazlı şəbəkədən açan kimi sabit cərəyan mənbəyinə qoşmaqla əldə

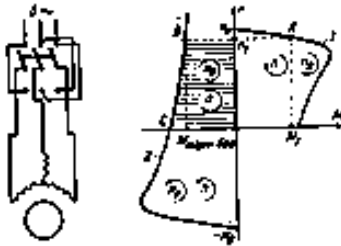
edilir. Sabit cərəyanın yaratdığı tərpənməz maqnit sahəsi rotor dolağında cərəyanı induksiyalayır. Rotor cərəyanı ilə maqnit sahəsi arasındakı qarşılıqlı təsirdən tormozlayıcı elektromaqnit momenti yaranır.

İstehsal mexanizminin hərəkət edən hissələrində və asinxron maşının rotorunda toplanmış kinetik enerji əsasən rotor dolağında istiliyə çevrilir.

Əks-qoşma ilə tormozlama işləyən mühərrikin startor dolağının iki fazasının yerini dəyişməklə əldə edilir. Bu zaman maşının maqnit sahəsi fırlanma istiqamətini dəyişir, rotor isə ətalətlə əvvəlki istiqamətdə fırlanır. Nəticədə mühərrikin yaratdığı moment tormozlayıcı təsir göstərir. Mühərrik dayanan kimi onu şəbəkədən açmaq lazımdır, əks halda o əks istiqamətə fırlanmağa başlayar. Tormozlanma zamanı rotor dövrəsində əlavə istilik itkiləri yaranır və rotoru qızdırır.



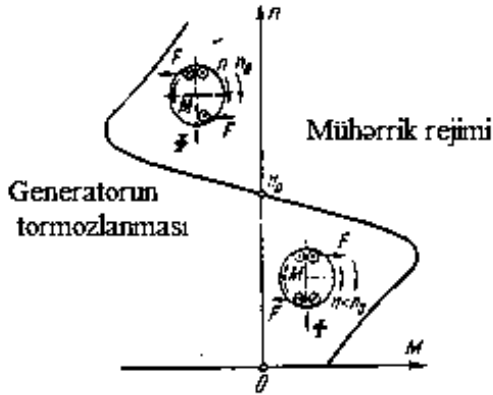
Şəkil 6.26. Asinxron mühərrikin dinamik tormozlanması



Şəkil 6.27. Asinxron mühərrikin əks-qoşma ilə

tormozlanma sxemi və mexaniki xarakteristikası

Asinxron maşının g e n e r a t o r (rekuperativ) tormozlanması üçün rotor sürət maqnit sahəsinin sürətdən böyük olmalıdır. Belə şərait qaldırıcı qurğularda yükü endirən zaman yarana bilər. Çoxsürətli mühərriklərdə rekuperativ tormozlanma kiçik sürətə keçməklə əldə edilə bilər. Bu zaman maşın generator rejiminə keçir və hərəkət edən kütlələrin enerjisini elektrik enerjisinə çevirib şəbəkəyə verir. Rekuperativ tormozlanma əlavə istilik itkiləri yaratmır.



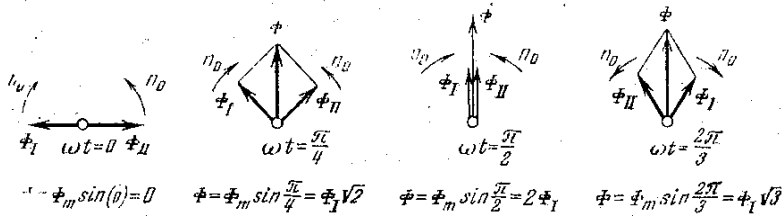
Şəkil 6.28. Asinxron mühərrikin generator tormozlanması

6.13. Asinxron mühərriklər

Bir fazalı mühərriklər. Bir fazalı asinxron mühərrikin statoru bir dolağa malikdir; rotor isə “dələ qəfəsi” şəklində qısa qapanmış halda hazırlanır. Mühərriki şəbəkəyə qoşduqda statoru dolağının yaratdığı maqnit seli döyünən olur, fırlanan olur: $\phi = \Phi_m \sin \omega t$. Döyünən maqnit selini müxtəlif istiqamətdə fırlanan ki eyni sabit qiymətli sel ilə əvəz etmək olar:

$$\Phi_I = \Phi_{II} = \frac{\Phi_m}{2}.$$

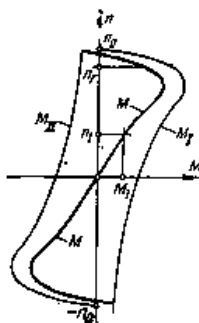
Buna inanmaq üçün diaqramlara baxmaq kifayətdir. Rotorun tərpənməz halında hər iki fırlanan selin yaratdıqları firlandırıcı momentlər bir-birini müvazinətləşdirir və rotor heç bir tərəfə fırlanmır.



Şəkil 6.29. Döyünən maqnit selinin iki fırlanan selə ayrılması.

Təcrübə göstərir ki, əgər rotoru hər hansı istiqamətdə fırlatsaq, sonradan kənardan təsir olmadan rotor həmin istiqamətdə fırlanmasını davam etdirəcəkdir. Rotorla eyni istiqamətdə fırlanan maqnit sahəsinə **düz**, əks istiqamətdə fırlanan sahəyə isə **əks-sahə** deyilir.

Birfazlı asinxron mühərrikdə başlanğıc işədüşmə momenti yaratmaq üçün onu əlavə quruluşla təchiz edirlər. Adətən işədüşmə momenti yaratmaq üçün birfazlı mühərrik əlavə işəsalıcı dolaqla İSD təchiz edilir. Bu dolaq statorda elə yerləşdirilir ki, onun maqnit seli işçi dolağın (İD) selindən fəzada 90^0 sürüşmüş halda olsun. Bundan başqa, işəsalıcı dolağa ardıcıl olaraq kondensator C qoşulur. Bu ondan ötrü edilir ki, I_1 və I_2 cərəyanları arasında 90^0 -yə yaxın faza fərqi yaransın. Nəticədə fəzada 90^0 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.



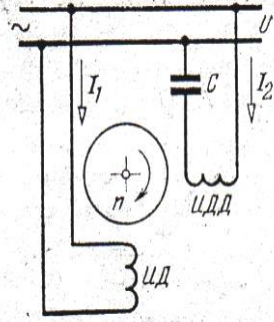
Şəkil 6.30. Birfazlı asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası

Kondensatorlu mühərrik. Axır zamanlar kondensatorlu mühərriklər tətbiq edilməyə başlanılmışdır. Bu mühərriklərin kondensatorlu işəsalıcı dolağı uzun müddətli işə hesablanmışdır və iş müddətində qoşulmuş halda qalır. Belə mühərriklər böyük maksimal momentə və yüksək $\cos\phi$ -ə malikdir.

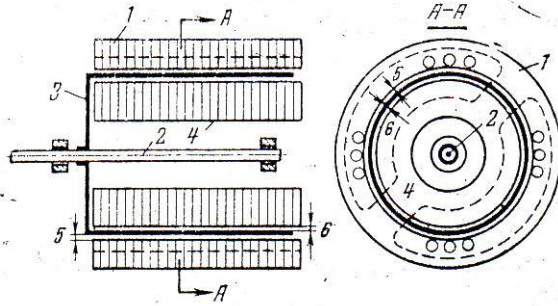
Birfazalı asinxron mühərriklərdən elektrik məişət qurğularında geniş istifadə edilir (soyuducularda, yuyucu maşınlarda və s.)

Müqaviməti artırılmış dolaqlı rotoru olan birfazalı asinxron mühərrik. Avtomatik sxemlərdə bu mühərriklər geniş yayılmışdır. Birfazalı mühərrikin rotor dolağının müqavimətini (r_2) artırısaq, 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 qıdanı avtomatika sxeminin elementlərindən müəyyən siqnal gəldikdə alır. Siqnal kəsildikdə idarə dolağının qıdası kəsilir və mühərrik dayanır.

İçiboş rotorlu asinxron mühərrik. Avtomatik quruluşların sxemlərində kiçik güclü (vatın hissələrindən bir neçə yüz vata qədər) içiboş rotorlu ikifazlı asinxron mühərriklərə geniş tətbiq edilir. Belə mühərrikin konstruktiv quruluşu sxematik olaraq şəkildə göstərilmişdir. Mühərrikin statoru (1) adi konstruksiyaya malikdir, onun yuvalarında oxları 90° sürüşdürülmüş iki dolaq (təsirləndirici dolaq və idarə dolağı) yerləşdirilmişdir. Mühərrikin valında (2) içiboş rotor (3) oturdulmuşdur. Rotor nazikdivarlı stəkan şəklindədir, dolaqsızdır. Rotor qeyri-ferromaqnit materialdan (alüminiumdan) hazırlanır. Rotorun daxilində elektrotexniki polad vərəqələrdən yığılmış silindrik tərənməz nüvə (4) yerləşdirilmişdir. Onun vəzifəsi maqnit selinin yolunda maqnit müqavimətini (R_M) azaltmaqdır. Maqnit seli dörd dəfə hava aralığından (5 və 6, içiboş rotorun xaricindən və daxilindən) keçir.



Şəkil 6.31. Əlavə işədüsmə dolağı olan asinxron mühərrik.



Şəkil 6.32. İçiboş rotorlu asinxron mühərrikin quruluşu.

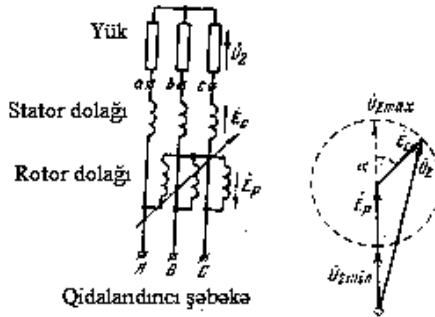
Stator dolaqlarından keçən cərəyanlar fırlanan maqnit sahəsi yaradır. Bu sahə içiboş rotoru kəsib onda burulğan cərəyanlar yaradır. Bu cərəyanlarla fırlanan maqnit sahəsinin qarqarşılıqlı təsirindən fırlandırıcı elektromaqnit moment yaranır və rotor $n < n_0$ sürət ilə fırlanmağa başlayır. Çəkisi az olduğuna görə rotorun ətaləti kiçik olur və buna görə bu mühərrikin avtomatik quruluşlarda tətbiqi böyük əhəmiyyət kəsb edir.

6.14. İndiksiyon tənzimləyici və fəza tənzimləyicisi

İnduksion tənzimləyici xüsusi döndərici quruluş vasitəsilə (adətən yiv ötürməsi) tormozlanmış faza rotorlu üçfazlı asinxron maşından ibarətdir. Startor və rotor dolaqları bir-biri ilə elektriki birləşmişlər.

Rotor dolağı üçfazlı şəbəkəyə qoşulur (o, üçfazlı) avtotransformatorun birinci dolağırolunu oynayır). Startorun a , b , c uclarına yük qoşulur. Yüksüz işləmə halında yalnız rotor dolağından üçfazlı cərəyan axır və bu cərəyan fırlanan maqnit sahəsi yaradır. Fırlanan maqnit sahəsi startor və rotorun dolaqlarında E_p və E_c e.h.q.-lərini induksiyləyir. Təmizləyicinin çıxışında gərginlik E_p və E_c e.h.q.-lərinin həndəsi cəminə bərabərdir. ($U_2 = E_p + E_c$).

Rotor və startor dolaqlarının oxları üst-üstə düşdükdə E_p və E_c e.h.q.-ləri fazaca eyni olur və çıxışda ən böyük gərginlik yaranır: $U_{2max} \approx E_p + E_c$. Rotoru döndərməklə rotor fazasının oxunu istənilən kimi sürüsdürmək olar. $\alpha = 180^\circ$ olduqda çıxışda minimal gərginlik alınır: $U_{2min} \approx E_p - E_c$. Beləliklə, çıxış gərginliyini rotoru döndərməklə U_{2min} -dan U_{2max} -a qədər səlislə tənziem etmək olar.



Şəkil 6.33. İnduksitəmizləyicisinin işəqoşulma sxemi və vektor diaqramı.

İnduksion təmizləyicilərdən laboratoriyalarda, avtomatika və ölçü texnikasında, elektrik şəbəkələrində gərginliyi tənzim etmək və nominal səviyyədə saxlamaq üçün istifadə edilir. Tormozlanmış asinxron maşından faza təmizləyicisi kimi də istifadə oluna bilər. Bu halda rotor və startor dolaqları ilə elektriki birləşmir.

Şəbəkənin gərginliyi startor dolağına verilir. Rotor dolağının uclarında gərginliyin fazasını dəyişmək üçün rotoru döndərirlər. Bu zaman U_2 qiymətcə sabit qalır. İnduksion təmizləyicilərdən avtomatikada və ölçü texnikasında istifadə olunur.

Məsələ 6-1. Dördqütblü asinxron mühərrik 60 hc tezlikli üçfazlı şəbəkəyə qoşulmuşdur. Nominal sürüşməsi 3%-dir. Rotorun fırlanma sürətini və rotor cərəyanının tezliyini tapmalı.

Məsələnin həlli. Rotor cərəyanının tezliyi

$$f_2 = f_1 s = 60 \cdot \frac{3}{100} = 1,8 \text{ hc.}$$

Rotorun fırlanma sürəti

$$n = n_0(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) = \frac{60 \cdot 60}{2}(1-0,03) = 1746 \text{ dövr/dəq.}$$

Məsələ 6-2. Dördqütblü faza rotorlu asinxron mühərrikin parametrləri belədir: $r_1=0,275 \text{ Om}$, $r'_2=0,335 \text{ Om}$, $x_q=1,03 \text{ Om}$. Startor və rotor dolaqları ulduz birləşdirilmişdir. Şəbəkənin xətt gərginliyi $U=380 \text{ V}$. Transformasiya əmsalı $k=1,2$.

Təyin etməli: 1) rotor dövrəsinin işə düşmə cərəyanını və mühərrikin reostatsız işə düşmə momentini; 2) kritik momenti və kritik sürüşməni; 3) işə düşmə cərəyanını iki dəfə azaltmaq üçün işə salıcı reostatın müqavimətini və bu hal üçün işə düşmə momentini

Məsələnin həlli. Fırlanan maqnit sahəsinin sürət

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1500 \text{ dövr/dəq}$$

Sadələşmiş əvəz sxeminə əsaslanaraq, mühərrikin işə düşmə anında ($s=1$) işə düşmə cərəyanını belə tapmaq olar:

$$I_{2.i.d.} = I'$$

$$I'_{2.i.d.} \cdot k = \frac{U_{1\Phi} \cdot k}{\sqrt{(r_1+r'_2)^2+x_k^2}} = \frac{220 \cdot 1,2}{\sqrt{(0,275+0,35)^2+1,03^2}} = 221A.$$

İşədüşmə momenti

$$M_{i.d.} = \frac{28,6U_{1\Phi}^2 r'_2}{n_0[(r_1+r'_2)^2+x_q^2]} \\ = \frac{28,6 \cdot 220^2 \cdot 0,335}{1500[(0,275+0,335)^2+1,03^2]} = 242H_M$$

Kritik moment

$$M_k = \frac{14,3U_{1\Phi}^2}{n_0(r_1 + \sqrt{r_1^2+x_q^2})} = \frac{14,3 \cdot 220^2}{1500(0,275 + \sqrt{0,375^2+1,03^2})} \\ = 360H_M$$

İşəsalıcı reostat qoşduqda işədüşmə cərəyanı

$$I_{2.i.d.p.} = \frac{I_{2.i.d.}}{2} = \frac{21}{2} = 110,5A$$

Əvəz sxemindən istifadə edib işəsalıcı reostatın müqavimətini tapırıq:

$$z_{i.d.p.} = \sqrt{(r_1+r'_2+r'_p)^2+x_k^2} = \frac{U_{1\Phi}}{I'_{2.i.d.p.}} = \frac{U_{1\Phi}k}{I_{2.i.d.p.}} \\ = \frac{220 \cdot 1,2}{110,5} = 2,390m,$$

$$r = r_1 + r'_2 + r'_p = \sqrt{z_{i.d.p.}^2 - x_k^2} = \\ \sqrt{2,39^2 - 1,03^2} = 2,16 \text{ Om}$$

$$r_p = r - r_1 - r'_2 = 2,16 - 0,275 - 0,335 = 1,55 \text{ Om}$$

$$r_p = \frac{r'_p}{k^2} = \frac{1,55}{1,2^2} = 1,075 \text{ Om}$$

Bu hal üçün işə düşmə momenti:

$$M_{i.d.p.} = \frac{28,6 \cdot 220^2 \cdot (1,335 + 1,55)}{1500[(0,275 + 0,335 + 1,55)^2]} = 302H_M$$

Məsələ 6-2. Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikin parametrləri belədir: $P_n=40$ kVt, $n_n=1450$ dövr/dəq, $\frac{M_k}{M_n} = \lambda = 2,4$, $p=2$. Tələb olunur: 1) mühərrikin $M(s)$ mexaniki xarakteristikasını qurmaq üçün cədvəl tərtib etmək, 2) yük momenti $M=200H_m$, gərginlik $U'=0,9U_n$ olduqda rotorun fırlanma sürətini tapmaq, 3) istehsal mexanizminin başlanğıc müqavimət momenti $M_{m.baş.}=170H_M$ isə mühərrikin nominal və nominaldan 10% az gərginlikdə işə düşmə imkanını təyin etməli.

Məsələnin həlli. Fırlanan maqnit sahəsinin sürəti

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1500 \text{ dövr/dəq}$$

Mühərrikin nominal və kritik sürüşməsi:

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033,$$

$$s_k = s_n(\lambda = \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,033(2,4) \sqrt{2,4^2 - 1} = 0,151.$$

Mühərrikin nominal və kritik momenti:

$$M_n = \frac{9550P_n}{n_n} = \frac{9550 \cdot 40}{1450} = 263H_M$$

$$M_k = \lambda M_n = 2,4 \cdot 263 = 632H_M$$

Mexaniki xarakteristika üçün

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s}{s_k}} = \frac{2 \cdot 632}{\frac{0,151}{s} + \frac{s}{0,151}}$$

ifadəsindən istifadə edirik. Sürüşməyə müxtəlif qiymətlər verərək, fırlandırıcı momentin qiymətini tapırıq. Nəticələri cədvələ toplayırıq:

S	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05	0
M, H _M	18 7	207	233	261	300	350	416	510	608	632	584	378	0

İstənilən gərginlikdə mühərrikin fırlandırıcı momenti:

$$M = \frac{2M_k \left(\frac{U}{U_n}\right)^2}{\frac{s_k + s}{s} s_k}$$

$\frac{M_k}{M} = \beta_k$ və $\frac{U}{U_n} = \gamma$ işarə etsək, verilmiş momentə uyğun sürüşməni belə tapa bilərik:

$$2\beta_k \gamma = \frac{s_k}{s} = \frac{s}{s_k},$$

$$s = s_k (\beta_k \gamma - \sqrt{\beta_k^2 \gamma^2 - 1}).$$

$$M=200H_M, \text{ yə'ni } \frac{M_k}{M} = \frac{632}{200} = 3,16 \text{ və } \gamma=0,9 \text{ olduqda}$$

$$s = 0,151 \left(3,16 \cdot 0,9 - \sqrt{3,16^2 \cdot 0,9^2 - 1} \right) = 0,028.$$

Buna uyğun fırlanma sürət

$$n=1500(1-0,028)=1456 \text{ dövr/dəq.}$$

Cədvəldən görürük ki, nominal gərginlikdə $M_{i.d.}=187H_M$ -dir və $M_{i.d.}>M_{m.baş.}$ -olduğuna görə mühərrikin bu halda işə düşməsi mümkündür. Gərginlik $U=0,9U_n$ olduqda işə düşmə momenti

$$M_{i.d.} = 0,9^2 M_{i.d.} = 0,81 \cdot 187 = 152H_M.$$

$M_{m.baş.}$ -dan kiçikdir. Buna görə də 10% azalmış gərginlikdə mühərrikin işə düşməsi mümkün olmayacaqdır.

Bölməyə aid yoxlama sualları və məsələlər

1. Fırlanan maqnit sahəsinin alınması hadisəsinə.
2. Maqnit sahəsinin fırlanma istiqamətini necə dəyişmək olar?
3. Yüksüz işləmə cərəyanının artırılması asinxron mühərrikin güc əmsalına necə təsir edir?
4. Nominal yükdə asinxron mühərrikin rotoru $n=720$ dövr/dəq sürətlə fırlanır. Rotor cərəyanının f_2 tezliyini tapmalı. Şəbəkənin tezliyi $f_1=50$ hc-dir.
5. Dördqütblü asinxron mühərrik 60 hc tezlikli üçfazlı şəbəkəyə qoşulub. Nominal fırlanma sürət 1746 dövr/dəq-dir. Nominal sürüşməni tapmalı.
6. Qısa qapanmış və faza rotorlu mühərriklərin müsbət və nöqsan cəhətlərini göstərin.
7. Rotor dövrəsi müqavimətinin qiyməti mühərrikin işə düşmə xassələrinə necə təsir göstərir?
8. Mühərrikin fırlandırıcı momenti şəbəkə gərginliyindən necə asılıdır? Gərginlik 10% azalsa, moment necə dəyişər?
9. Gərginliyin 20% azalması zamanı müqavimət momenti sabit qalırsa, rotorun fırlanma sürət necə dəyişər?
10. Asinxron mühərrikin sürətini hansı üsullarla tənzim etmək olar?
11. Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikin parametrləri verilmişdir: $P_n=10$ kVt, $U_n=220/380$ V, $n_n=960$ dövr/dəq, $M_k/M_n=1,8$. Mühərrikin xətt gərginliyi 380 V olan şəbəkəyə qoşulur.

Təyin etməli: 1) stator dolağının birləşmə sxemini, 2) stator dolağının nominal cərəyanını, 3) stator dolağının cüt qütblər sayını, 4) nominal sürüşməni, 5) mühərrikin nominal momentini 6) kritik momenti 7) kritik sürüşməni, 8) sürüşmənin s_n, s_k 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 qiymətləri üçün momentin

qiymətlərini, 9) şəbəkə gərginliyi 10% azaldıqda işədüşmə momentini.

Mühərrikin mexaniki xarakteristikasını $n(M)$ qurmalı.

12. Faza rotorlu asinxron mühərrik sabit $M_{müq}=228 H_M$ müqvimət momenti olan mexanizmi hərəkətə gətirir. Rotor dövrəsinə hansı r_p müqavimətini qoşmaq lazımdır ki, onun fırlanma sürət $n_p=1000 dövr/dəq$ olsun. Mühərrikin parametrləri belədir: $U_n=380V$, $P_n=75 kVt$, $I_{2n}=115V$, $U_{2q}=383 V$, $\lambda=2,6$, $n_n=1460 dövr/dəq$.

13. Birqazlı asinxron mühərrikin iş prinsipini izah etməli.

6.15. Sinxron maşınlar üçfazlı sinxron generatorun quruluşu və iş prinsipi

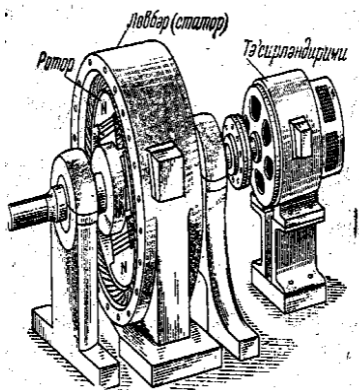
Sinxron maşının əsas hissələri. Sinxron generator mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirən elektrik maşımıdır.

Generator aşağıdakı hissələrdən ibarətdir:

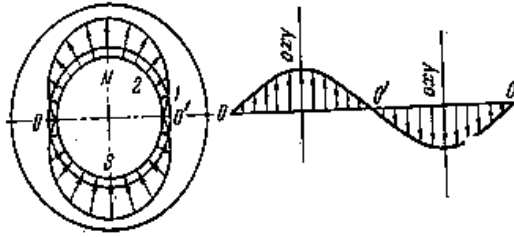
- 1) maşının əsas maqnit selini yaradan *təsirlənmə* sistemi;
- 2) dolağında e.h.q. induksiyalanan *lövbər*.

Üçfazlı cərəyan generatorları, bir qayda olaraq, hərəkət edən təsirləndirici sistemli (rotor) və tərpənməz lövbərli (stator) hazırlanır.

Əsas maqnit selini yaratmaq üçün sinxron maşınlarda köməkçi sabit cərəyan mənbəyindən qidalandırılan elektromaqnitlərdən istifadə edirlər. Elektromaqnitlərin dolağına *təsirlənmə dolağı* deyilir. İçi boş silindr şəklində olan və daxili səthindəki yuvalarda üçfazlı dolağın məftilləri yerləşdirilən lövbər (stator) mahiyyətə asinxron maşın statorundan fərqlənir.



Şəkil 6.34. Sinxron generatorun xarici görünüşü.



Şəkil 6.35. Hava aralığında maqnit induksiyanın sinusoidalpaylanması

Sinusoidal e.h.q.-nin alınması. Lövbər dolağında sinusoidal e.h.q.-nin almaq üçün lövbərlə rotor arasındakı hava aralığında maqnit xətləri (maqnit induksiya B) sinusoidal paylanmalıdır.

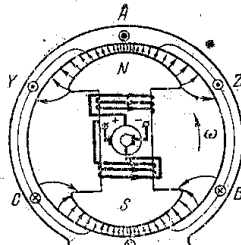
Bunu iki yolla əldə etmək olar:

1) lazımi formada qütbləri olan elektromaqnitdən istifadə etməklə

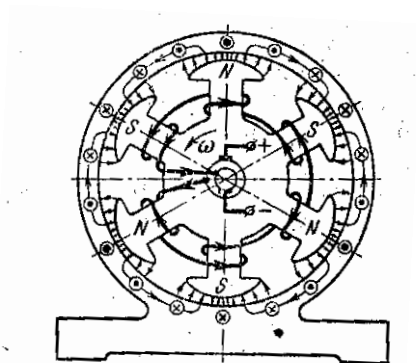
2) rotorun dolağını lazımi qaydada yığmaqla

Birinci halda rotor aşkar (çıxıntı) qütblü icra edilir. Qütblərin kəsikləri elə icra edilir ki, qütbün mərkəzindən kənarla getdikcə hava məsafəsi artır, maqnit induksiya isə azalır.

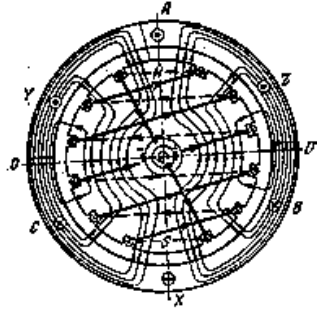
İkinci halda rotor polad silindr şəklində olur və dolağı onun üzərində açılmış yuvalarda yerləşdirilir. Bu dolağın sarğıları bir-biri ilə 0-0-cü şəkildə göstəriləyi kimibirləşdirilir. Sarğıların ölçüləri eyni olmadığına görə maqnit induksiyanın maksimumu qütblərin oxu ilə üst-üstə düşür və bu oxdan kənara getdikcə maqnit induksiya sinusoidala yaxın alınır.



Hidroturbin və yaxud daxili yanma mühərriki ilə hərəkətə gətirilən kiçik sürətli generatorlar aşkar qütblü hazırlanır. Buxar turbini ilə hərəkətə gətirilən böyük sürətli generatorlar (trubogeneratorlar) gizli qütblü silindrik rotorlu icra edilir.



Şəkil 6.37. Gizli qütblü sinxron generatorun rotoru.



Şəkil 6.38. Çoxqütblü sinxron generator.

Rotor dolağının ucları valdan icra edilmiş iki ədəd üzüyə birləşdirilir. Rotor dolağı sinxron generatorla eyni valda oturdulmuş təsirləndiricidən (sabit cərəyan generatorundan) qidalandırılır. Təsirləndiricinin gücü generatorun nominal gücünün 1-13%-ni təşkil edir.

Çoxqütblü generatorlar. Rotor ikiqütblü olduqda sinusoidal e.h.q.-nin bir tam dəyişməsi rotorun bir dövrünə uyğun gəlir. Tezliyi $f=50hc$ almaq üçün rotor $n=3000$ dövr/dəq sürətlə fırlanmalıdır:

$$f = \frac{n}{60} = \frac{3000}{60} = 50hc.$$

Yüksək sürətli maşınlardan istifadə edilməsi onunla izan olunur ki, sürət artdıqca maşının çəkisi və qiyməti azalır. Hidroturbinlə hərəkətə gətirilən generatorlara gəldikdə isə onların sürət suyun basqı hündürlüyü ilə təyin edilir və 50-750 dövr/dəq diapazonda dəyişir.

Standart tezlikli dəyişən cərəyan almaq üçün kiçik sürətli generatorlar çoxqütblü icra edilir.

Rotorun bir tam dövründə sinusoidal e.h.q.-nin p dəfə tam dəyişməsi uyğun gəlir. Əgər p cüt qütblü maşının rotoru n sürətlə fırlanırsa, tezlik belə olar:

$$f = \frac{pn}{60}$$

Generatorun lövbər dolağı asinxron maşının lövbər dolağı kimi yığılır. Lövbərin qütblər sayı rotorun qütblər sayına bərabər olur.

Generatora üçfazlı simmetrik yük qoşularsa, lövbər dolağından üçfazlı cərəyan axıb fırlanan maqnit sahəsi yaradacaqdır. Maqnit sahəsinin sürəti

$$n_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60}{p} \cdot \frac{pn}{60} = n$$

Rotorun sürətinə bərabər olacaqdır. Odur ki, bu maşınlara **sinxron maşınlar** deyilir.

6.16. Sinxron generatorun iş prosesi

Yüksüz işləmə. Lövbər dolağında cərəyan sıfır olduqda yüksüz işləmə rejimi alınır. Bu zaman maqnit sahəsi yalnız təsirlənmə dolağı tərəfindən yaradılır.

Təsirlənmə selinin (Φ_T) lövbər dolağında induksiyaaladığı sinusoidal e.h.q.-nin təsiredici qiyməti

$$E=4,44kvf\Phi_T=4,44kv \cdot \frac{pn}{60}\Phi_T=c\Phi_Tn,$$

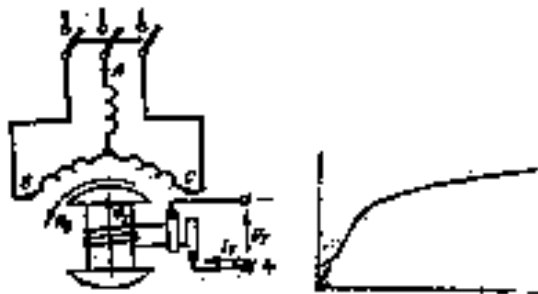
burada k - dolaq əmsalı;

v - lövbər dolağının bir fazasının sarğılar sayı;

c - verilmiş maşım üçünsabit əmsaldır.

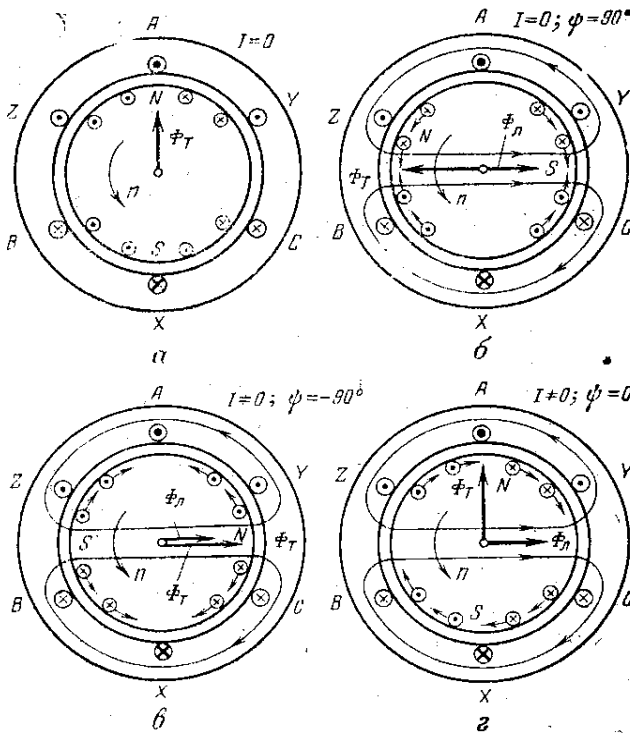
Rotor sabit sürətlə fırlanıqda və yük olmadıqda, generatorun e.h.q. yalnız təsirlənmə maqnit selindən Φ_T və deməli, təsirlənmə cərəyanından I_T asılıdır. Təsirlənmə cərəyanını dəyişməklə, təsirlənmə selini Φ_T və generatorun e.h.q.-ni tənzim etmək olar. b şəklində nominal fırlanma sürəti üçün ($n=n_n$) $E_0(I_T)$ asılılığı göstərilmişdir. Buna generatorun yüksüz işləmə xarakteristikası deyilir. Xarakteristikanın forması maqnitləşmə əyrisinin formasına oxşayır və maqnit sisteminin doyması ilə əlaqədardır.

Lövbər reaksiyası. Yüklənmiş generatorda lövbər dolağından keçən üçfazlı cərəyan qiymətə sabit və rotorla sinxron sürətlə fırlanan maqnit seli Φ_L yaradır.



Şəkil 6.39. Sinxron generatorun yüksüz işləmə sxemi.

Beləliklə, yüklü sinxron maşında təsirlənmə cərəyanının və yükün dəyişməz qiymətlərində eyni zamanda qiymətcə sabit iki maqnitləşdirici qüvvə təsir göstərir; təsirlənmə dolağının m.q. (F_T) və lövbər dolağın m.q. (F_L). Bu maqnitləşdirici qüvvələr nəticəvi m.q. ($F_{\text{nət}}$) yaradır ki bu da maşında təsir edən real maqnit selini (Φ) müəyyən edir. Φ maqnit seli sinxron sürətlə (n_0) fırlanaraq tərənəmz lövbər dolağında sinusoidal e.h.q. ($E_{\text{nət}}$) induksiyalayır (rotor dolağında maqnit seli e.h.q. yaratmır).



Şəkil 6.40. Sinxron generatorun lövbər reaksiyası

Lövbər dolağının m.q.-nin maqnit selinə və bütövlükdə yüklü maşının iş rejiminə etdiyi təsirə *lövbər reaksiyası* deyilir.

Lövbər m.q.-nin (F_L) maşının əsas maqnit selinə etdiyi təsiri təyin etmək üçün Φ_T və Φ_L selləri oxlarının qarşılıqlı vəziyyətini bilmək lazımdır. Bu zaman yadda saxlamaq lazımdır ki, lövbər dolağı fazasında induksiyaalanan e.h.q. maksimum qiymətini rotor qütbünün ortası həmin fazanın məftili qarşısında olduqda alır.

Lövbər selinin (Φ_L) oxu, məlum olduğu kimi, cərəyanı maksimum olan faza dolağının oxu ilə üst-üstə düşür. Ona görə analiz zamanı (F_T) və (F_L) selləri oxlarının qarşılıqlı vəziyyətini fazalardan birində cərəyan maksimum olan an üçün təyin etmək rahatdır.

Xalis induktiv yük zamanı cərəyan I fazaca e.h.q.-dən E_0 dördə bir period ($\psi=+90^0$) geri qalır və öz maksimum qiymətini (I_m) rotorun N qütbü dördə bir dövr irəli keçdikdə alır. Bu zaman, göründüyü kimi, lövbər seli Φ_L **maqnitsizləşdirici** təsir göstərir.

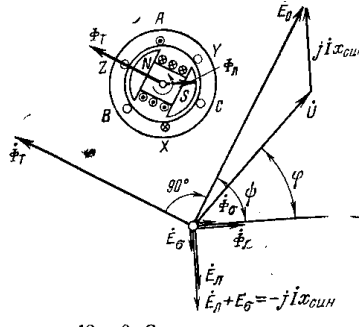
Xalis tutum yükü zaman cərəyan fazaca e.h.q.-dən dördə bir period ($\psi=+90^0$) geri qalır və öz maksimum qiymətini (I_m) rotorun N qütbü a şəklindəki vəziyyətə çatmaq üçün dördə bir dövr qaldıqda alır. Bu halda lövbər seli Φ_L **maqnitsizləşdirici** təsir göstərir.

Həm xalis induktiv və həm də xalis tutum yükləri zamanı rotorun cərəyanlı məftilləri ilə lövbərin maqnit selinin qarşılıqlı təsiri maşının valında tormozlayıcı moment yaratmır. Generatoru hərəkətə gətirən mühərrikin yaratdığı güc reaktiv yük halında çox kiçik olur və generatordakı itkilərlə təyin edilir.

Xalis aktiv yük halında cərəyan fazaca e.h.t. eyni olur və öz maksimum qiymətini rotor selinin oxu AX müstəvisi istiqamətində olduqda alır. Rotor dolağının məftillərinə təsir edən elektromaqnit qüvvələr eyni istiqamətində edir və birlikdə *tormoz momenti* yaradır. Bu moment generatoru hərəkətə gətirən mühərrik tərəfindən dəf edilir. Təcrübədə lövbər cərəyanı I

fazaca e.h.q.-dən E_0 ψ ($0 < \psi < 90$) bucağı qdər geri qalır. Burada cərəyana iki toplanandan ibarət kimi baxmaq olar: 1) valda elektromaqnit tormoz momenti şəklində $m \times a \times n \times i \times r \times e \times a \times k \times s \times i \times y \times a \times n \times 1$ təyin edən aktiv toplanan $I \cos\varphi$, 2) $m \times a \times q \times n \times i \times t \times r \times e \times a \times k \times s \times i \times y \times a \times s \times 1$ yarıdan, yə'ni əsas maqnit selini zəiflədən reaktiv toplanan $I \sin\varphi$.

Vekto diaqramı. Yüklü sinxron maşında lövbər cərəyanı rotor dolağı ilə kəsişən Φ_L maqnit selindən başqa yalnız lövbər dolağı ilə kəsişən səpələnmə maqnit seli də (Φ_σ) yaradır. Bu maqnit seli lövbər dolağında e.h.q. E_σ yaradır.



Şəkil 6.41. Sinxron generatorun vektor diaqramı.

Generatorun sıxaclarında gərginlik üçün yazı bilirik:

$$U = E_0 + E_L + E_\sigma - I r_L.$$

$I r_L$ - gərginlik düşküsi çox kiçik olduğu üçün onu nəzərdən atmaq olar. Onda

$$U = E_0 + E_L + E_\sigma$$

burada E_L - lövbər dolağında Φ_L maqnit selinin induksiyladığı e.h.q.-dir.

Yüksüz iş rejimində Φ_L və Φ_σ selləri olmadığı üçün $U=E_0$ olur.

Yüklü generatorun vektor diaqramını Φ_L vektorundan başlayıb qururuq. Bu selin induksiyaladığı E_0 fazaca F_T vektorundan 90° geri qalır. Cərəyan vektoru I fazaca E_0 e.h.q. vektorundan ψ bucağı qədər geridir. Φ_L və Φ_σ sellərinin I cərəyanına mütənasib olduğunu və fazaca cərəyanla eyni olduğunu qəbul etmək olar. Φ_L və Φ_σ e.h.q.-lərinin cəmini induktiv müqavimətdə ($x_{\sin.}$) gərginlik düşküsü ilə əvəz edirlər:

$$E_L + E_\sigma = -jI x_{\sin.}$$

Hesabat müqaviməti $x_{\sin.}$ maşının *sinxron müqaviməti* adlanır. Düsturlardan alırıq ki,

$$U = E_0 - jI x_{\sin.}$$

Xarici və tənzimləyici xarakteristikalar. Sinxron generatorun *xarici xarakteristikaları* $U(I)$ müxtəlif $\cos\varphi$ üçün göstərilmişdir (induktiv xarakterli yük halında). Yük cərəyanı artdıqca gərginliyin (U) azalması ilk növbədə lövbər reaksiyasının maqnetsizləşdirici təsiri ilə əlaqədardır. $\cos\varphi_{\text{ind}}$ kiçik olduqca bu təsir də böyük olur.

Gərginliyi müəyyən səviyyədə saxlamaq üçün təsirlənmə cərəyanının I_T dəyişməz gərginlik şəraitində ($U = \text{const}$) yük cərəyanından asılılığına *tənzim xarakteristikası* deyilir. Aşağıda sinxron generatorun müxtəlif $\cos\varphi$ halı üçün tənzim xarakteristikaları göstərilmişdir. Müasir generatorlarda tənzimləmə avtomatik aparılır. Sinxron generatorların faydalı iş əmsalı 94-99% olur.

6.17. Sinxron generatorların paralel işləməsi

Sinxron generatorun paralel işə qoşulması. Elektrik generatoru ya təkbaşına müstəqil yükə, ya da başqa generatorla birlikdə ümumi yükə işləyə bilər. Təcrübədə generatorun

təkbaşına işləməsi hallarına təsadüf etmək çətindir. Bir qayda olaraq hər bir elektrik stansiyasında ümumi yükə işləyən bir neçə generator qoyulur. Öz növbəsində elektrik stansiyaları da öz aralarında paralel qoşulub ümumi elektrik şəbəkəsinə işləyərək **energetik sistem** yaradır. Bununla işlədicilərin elektrik enerji istehsalının və paylanmasının iqtisadi əlverişli olması əldə edilir.

Sinxron generatorun elektrik şəbəkəsinə paralel qoşulması bir sıra şərtlər daxilində mümkündür. Bu şərtlərin yerinə yetirilməsi paralel qoşulan generatorla şəbəkə arasında böyük cərəyanlar yaradır və bu da paralel işləməni qeyri-mümkün edib, qəza hadisəsinə səbəb ola bilər. Həmin şərtlər aşağıdakılardır:

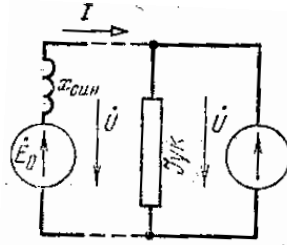
1) qoşulan generatorun f_k tezliyi şəbəkənin f tezliyinə bərabər olmalıdır;

2) qoşulan generatorun gərginliyi U_k şəbəkənin U gərginliyinə bərabər olmalıdır;

3) U_k və U gərginliklərinin eyni fazada olması təmin edilməlidir.;

4) qoşulan generatorun və şəbəkənin faza ardıcılıqları eyni olmalıdır.

Generatorun bu şərtləri ödəyən vəziyyətə gətirilməsinə *sinxronlaşdırma* deyilir.



Şəkil 6.42. Sinxron generatorun enerji sistemi ilə paralel işləməsi.

Şəkilə üçfazlı generatorun sadə sinxronlaşma sxemi göstərilmişdir. Tezliklərin bərabərliyi ($f_k = f$) generatorun fırlanma sürətinin, gərginliklərin bərabərliyini ($U_k = U$) isə təsirlənmə cərəyanını tənzimləməklə əldə edirlər. Eyni adlı gərginliklər arasında faza fərqinə sıfır voltmetri V_0 və yaxud közərmə lampalı L ilə nəzarət etmək olar. Tam sinxronlaşma halında lampalar sönəcək, voltmetr V_0 isə sıfır göstərəcəkdir. Bu anda generator şəbəkəyə paralel qoşula bilər. Müasir elektrik stansiyalarında sinxronlaşdırıcı lampalar əvəzinə əqrəbli cihaz olan *sinxronoskopdan* istifadə edilir. Sinxron generatorun paralel işləməsini analiz etmək üçün birxətli sadə sxemdən istifadə edirik. Bu sxemdə generator E_0 e.h.q. və x_{sin} sinxron müqaviməti ilə, elektrik şəbəkəsi isə dəyişməz gərginlikli bir ekvivalent generatorla göstərilmişdir.

Paralel iş zamanı $U_k = U$ olduğu üçün generatorun gərginliyi sabit qalır və təsirlənmə cərəyanından asılı olmur. Generatorun gərginliyi U , e.h.q. E_0 və cərəyanı I öz aralarında aşağıdakı münasibətdədir:

$$E_0 = U_c + jI x_{sin}.$$

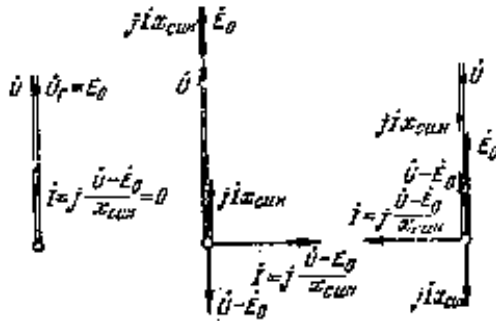
Buradan

$$I = \frac{E_0 - U}{j x_{sin}} = j \frac{U - E_0}{x_{sin}}$$

Tənlikdən görünür ki, U və x_{sin} sabit qiymətlərində generatorun cərəyanı E_0 -in qiymətindən (təsirlənmə cərəyanı ilə təyin edilir) və E_0 ilə U vektorları arasındakı faza fərqiindən asılıdır.

Generatorun işinə təsirlənmə cərəyanının təsiri.

Sinxronlaşma prosesi nəticəsində generatorun e.h.q.-nin E_0 şəbəkənin gərginliyinə bərabərliyi əldə edildiyinə görə maşını paralel işə qoşduqdan sonra lövbər dolağında cərəyan sıfır olacaqdır. Bu halda sinxron maşın güc vermir və tələb də etmir (ideal işsiz yükləmə rejimi).



Şəkil 6.43. Sinxron generatorun işinə təsirlənmə cərəyanının təsiri.

Təsirlənmə cərəyanının hər hansı dəyişməsi generator dövrəsində cərəyanın yaranmasına səbəb olur.

Generator təkbaşına işləsəydi, təsirlənmə cərəyanının dəyişməsi onun sıxaclarında gərginliyin dəyişməsinə səbəb olardı. Paralel işləmədə isə gərginlik sabit qalır.

Odur ki, nəticəvi maqnit seli də sabit qalmalıdır. Təsirlənmə cərəyanını I_T artırırdıqda Φ_T maqnit seli artır və lövbər dövrəsində *induktiv* cərəyan I yaranır ki, bu cərəyan maqnitləşdirici təsir göstərərək nəticəvi maqnit selinin qiymətini sabit saxlayır. Generator şəbəkənin reaktiv yükünün

bir hissəsini öz üzərinə götürür. Bu hal üçün vektor diaqramı şəkildə göstərilmişdir. I_T cərəyanı artdıqca E_0 e.h.q. artır və Udan böyük olur. I cərəyanı U gərginliyindən fazaca fazaca 90° geri qalır.

Əgər təsirlənmə cərəyanını azaltsaq, Φ_T maqnit seli azalar və lövbər dövrəsindən axan cərəyan maqnitləşdirici təsir göstərərək nəticəvi maqnit selinin yenə də sabit qalmasını təmin edir. Bu hala uyğun vektor diaqramı şəkildə göstərilmişdir. Cərəyan I_T azaldıqda $E_0 < U$ olur. I cərəyanı gərginlikdən U 90° irəli düşür. Əvvəlki hala nisbətən cərəyanın fazasını 180° dəyişməsi o deməkdir ki, bu dəfə generator şəbəkədən reaktiv güc (induktiv) tələb edəcəkdir. Hər iki halda generatorun yaratdığı aktiv güc sıfırdır:

$$P = 3E_0 I \cos \psi = 0$$

Deyilənlərdən aydın olur ki, təsirlənmə cərəyanını tənzim etməklə generatorun reaktiv gücünü tənzimləmək olar: $Q = 3E_0 I \sin \psi$, Generatoru öz üzərinə şəbəkənin aktiv yükünü götürməyə məcbur etmək olmaz. Bu müddəa yuxarıda çıxarılmış nəticəyə, yəni reaktiv cərəyanın elektromaqnit tormoz momenti yaratmamasına daha bir sübutdur.

Generatorun aktiv yükünün tənzimlənməsi. Əgər generatoru hərəkətə gətirən mühərrikin gücünü artırırsaq, rotor təcil alıb irəli qaçacaq. Φ_T maqnit selinin oxu θ bucağı qədər irəli yerini dəyişəcək (yüksüz iş halındakı vəziyyətə görə). Bununla əlaqədar olaraq bu selin induksiya etdiyi e.h.q. E_0 vektor diaqramında fırlanma istiqamətində θ bucağı qədər irəli dönəcək. Bu hal üçün vektor diaqramı şəkildə göstərilmişdir.

Təyin edilən cərəyan vektoru fazaca U-E vektorundan 90° irəli düşür. Generator aktiv güc yaradır:

$$P = 3E_0 I \cos \psi,$$

yəni elektrik sisteminin aktiv yükünün bir hissəsini öz üzərinə götürür.

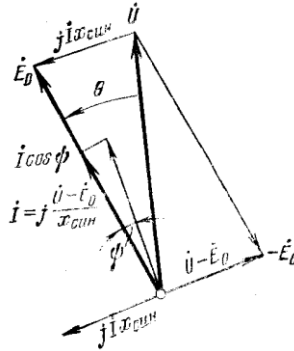
Generatorun cərəyanının aktiv toplananı $I \cos\psi$, məlum olduğu kimi, elektromaqnit tormoz momenti yaradır ki, bu da fırlandırıcı momentlə tarazlaşır.

Əgər hərəkətdirici amili yenə də artırısaq, rotor daha çox irəli qaçacaq və θ bucağı o qədər artacaq ki, yaranan elektromaqnit tormoz momenti ilə tarazlaşsın. Rotor sinxron sürətlə (n) fırlanmaqda davam edəcəkdir.

Generatorun öz üzərinə həm aktiv və həm də reaktiv yük götürməsi üçün təsirlənmə cərəyanını da artırmaq lazımdır.

Generatorun aktiv yükünün θ bucağından asılılığını təyin edək. Vektor diaqramından tapırıq ki,

$$MN = U \sin \theta = I x_{sin} \cos \psi.$$



Şəkil 6.44. $E_0=U$ halında sinxron generatorun vektor diaqramı

Bu bərabərlikdən istifadə edib generatorun yaratdığı aktiv güc (elektromaqnit güc) üçün aşağıdakı düsturu alırıq:

$$P = 3E_0 I \cos \psi = 3 \frac{E_0 U}{x_{sin}} \sin \theta.$$

Alınmış düsturdan görünür ki, şəbəkə ilə paralel işləyən generatorun sıxaclarındaki gərginliyin sabit qiymətində və

verilmiş təsirlənmədə ($E_0 = \text{const}$) P gücü $\sin \theta$ ilə düz mütənasibdir. $OA = E_0 I \cos \psi = 3UI \cos \varphi$ olduğunu nəzərə alsaq $P = 3E_0 I \cos \psi = 3UI \cos \varphi$ olar, yəni generatorun verdiyi aktiv güc ($3UI \cos \varphi$) onun yaratdığı elektromaqnit gücünə bərabərdir ($3E_0 I \cos \psi$). Çünki lövbər dolağındakı itkilər çox kiçikdir ($3I^2 r_L \approx 0$).

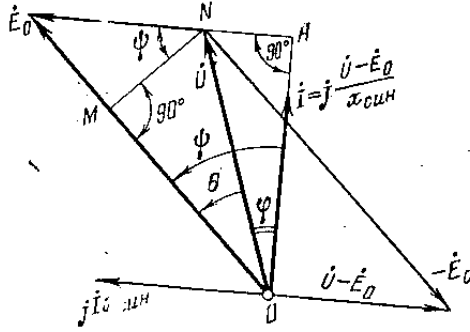
Generatorun paralel işləməsinin dayanıqlığı.

Generatorun elektromaqnit gücünü bilib onun elektromaqnit tormoz momentini təyin etmək olar:

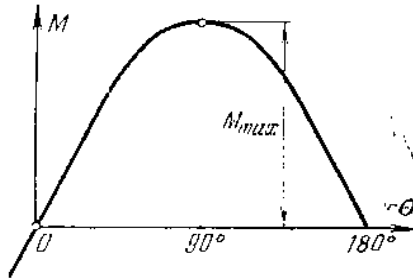
$$\frac{9,55P}{n_0} = \frac{9,55 \cdot 3E_0 U}{n_0 \cdot x_{sin}} \cdot \sin \theta = M_{\max} \cdot \sin \theta,$$

burada M_{\max} - $\theta = 90^\circ$ olduqda maksimal elektromaqnit momentidir.

Elektromaqnit momentin θ bucağından asılılığına sinxron generatorun *bucaq xarakteristikası* deyilir.



Şəkil 6.45. $E_0 \neq U$ halında sinxron generatorun vektor diaqramı



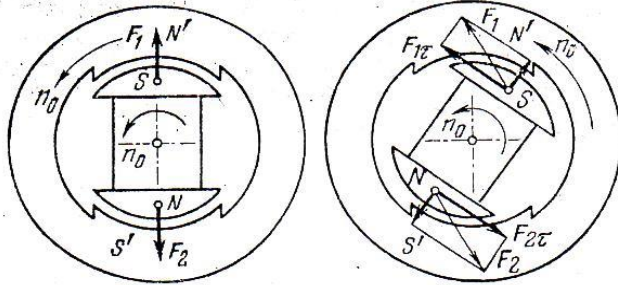
Şəkil 6.46. Sinxron generatorun bucaq xarakteristikası.

Sinxron generatorun dayanıqlı işləməsi yalnız o vaxt mümkündür ki, θ bucağının artmasına (fırlandırıcı momentin artması nəticəsində) elektromaqnit tormoz momentinin artması səbəb olur, yəni $\frac{dM}{d\theta} > 0$. Bu momentlərin müvazinətləşməsinin bərpa edilməsi üçün zəruri şərtidir. $\frac{dM}{d\theta}$ nə qədər böyükdürsə, momentlərin müvazinəti bir o qədər tez bərpa edilir. Odur ki, momentlərin müvazinəti pozulan halda generatorun yeni müvazinət halına qayıda bilməsi bacarığı θ bucağının kiçik qiymətlərində daha yüksəkdir. $\theta \geq 90^\circ$ olduqda sinxron generatorun paralel işləməsi qeyri-mümkündür.

6.18. Sinxron mühərrik

Asinxron maşınlar kimi sinxron maşınlar da çevriləndir, yəni sinxron maşın həm generator, həm də mühərrik rejimində işləyə bilər.

Sinxron mühərrikin iş prinsipi. Belə bir ideal hal təsəvvür edək. Tutaq ki, generator rejimində işləyən sinxron generatorun rotoru bir friksion ötürmə ilə turbindən açılıb başqa friksion ötürmə ilə əks moment yaradan istehsal mexanizminə birləşdirilir.

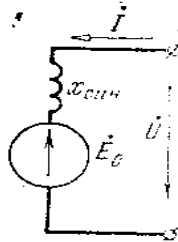


Şəkil 6.47. Sinxron mühərrikin təsir edən qüvvələr:
a-yüksüz halda, b-yük altında

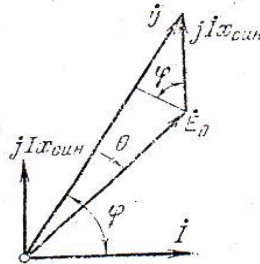
Bu zaman rotor tormozlanmağa başlayacaq və onun qütblərinin oxu statorun fırlanan maqnit sahəsinin oxuna nəzərən geri sürüşəcəkdir. Rotorun qütblərinə stator sahəsi tərəfindən cəzibə qüvvələri təsir edəcəkdir ki, bunların da tangensial toplananları fırlandırıcı moment yaradacaqdır. Fırlandırıcı moment tormoz momentinə bərabər olan halda rotor sabit sinxron sürətlə fırlanmağa başlayacaqdır. İdeal halda yəni müqavimət momenti $M_{müq}=0$ olan halda rotor statorun maqnit sahələrinin oxları üst-üstə düşür a) Rotora tormozlayıcı müqavimət momentinin təsiri nəticəsində rotorun geri sürüşməsi

θ bucağının mənfi qiymət almasına səbəb olur. θ bucağının qiyməti tormozlayıcı momentdən asılı olaraq dəyişir.

Sinxron mühərrikin vektor diaqramı və bucaq xarakteristikası. Mühərrik rejimi üçün sinxron maşının əvəz sxemində cərəyan I şəbəkənin gərginliyi U ilə eyni istiqamətdə götürülür.



Şəkil 6.48. Sinxron mühərrikin əvəz sxemi



Şəkil 6.49. Sinxron mühərrikin vektor diaqramı.

Bu sxem üçün

$$U = E_0 + jI x_{\text{sin}}$$

tənliyini və şəkildə göstərilmiş vektor diaqramını qurmaq olar.

Vektor diaqramında θ bucağının işarəsi də dəyişir. Bu dəfə E_0 vektoru U vektorundan θ bucağı qədər geri qalır (generator rejimində əksinə idi). Mühərrikin tələb etdiyi gücün

$P=3UI\cos\varphi$ ifadəsini, $I_{\sin}\cos\varphi=E_0\sin\theta$ olduğunu nəzərə alıb belə dəyişmək olar:

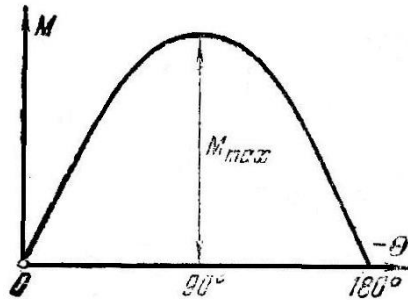
$$P=3UI\cos\varphi=\frac{3E_0U}{x_{\sin}} \cdot \sin\theta.$$

Mühərrikin yaratdığı elektromaqnit firlandırıcı moment üçün

$$M=\frac{9,55P}{n_0} = \frac{9,55 \cdot 3 \cdot E_0U}{n_0 x_{\sin}} \cdot \sin\theta = M_{max}\sin\theta$$

alırıq. $E_0=\text{const}$ olduqda (yəni təsirlənmə cərəyanının sabit qiymətində) $M(\theta)$ asılılığına sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası deyilir.

Sinxron mühərrikin dayanıqlı işi müqavimət momentini $M_{müq}$ artırıqda θ bucağının artması elektromaqnit firlandırıcı momentin artmasına uyğun gəldikdə mümkündür, yəni $\frac{dM}{d\theta} > 0$. Deməli, θ bucağı 0 -dan 90° -yə qədər dəyişdikdə mühərrikin işi dayanıqlı olacaqdır. $\theta \geq 90^\circ$ olduqda mühərrikin işiqeyri-mümkündür.



Şəkil 6.50. Sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası

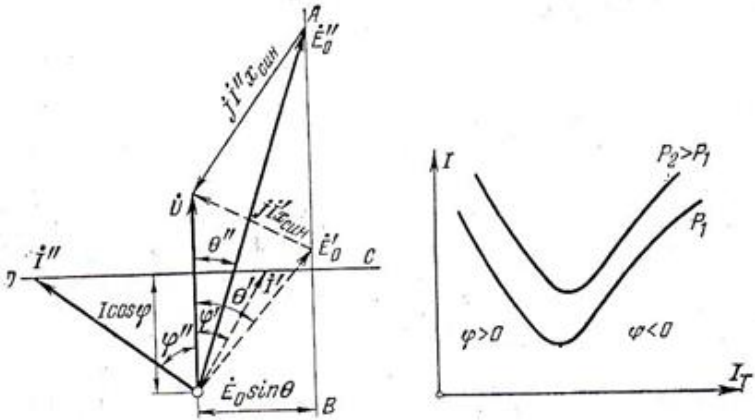
Mühərrikin nominal yüklə işlədikdə və nominal təsirlənmə zamanı θ bucağı $25-30^\circ$ -dən artıq olmur. Bu halda mühərrikin qısamüddətli artıq yüklənmə qabiliyyəti bu həddə olur.

$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_n} = \frac{1}{\sin\theta} = 2,5 \div 2,0.$$

Təsirlənmə cərəyanının mühərrikin işinə təsiri.

Sinxron mühərrikin mexaniki yükünün verilmiş qiymətində ($M_{müq} = \text{const}$) onun tələb etdiyi aktiv güc P təxminən sabit qalır. Təsirlənmə cərəyanının I_T dəyişməsi $E_{0e.h.q.}$ -nin dəyişməsinə və şəbəkə gərginliyinin sabit qiymətində mühərrikin tələb etdiyi cərəyanın I dəyişməsinə səbəb olur. Bu halda $\cos\varphi$ və θ bucağı da dəyişməlidir.

Mühərrikin tələb etdiyi cərəyanın ən kiçik qiyməti $\cos\varphi=1$ olan hala uyğun gəlir (reaktiv güc buzaman sıfırdır). Təsirlənmə cərəyanını azaltdıqda mühərrik induktiv xarakterli $\cos\varphi$ ilə işləyib şəbəkədən aktiv gücdən başqa reaktiv güc də



Şəkil 6.51. Sinxron mühərrikin müxtəlif yüklərdə vektor diaqramı və U şəkilli xarakteristikası.

tələb edir. Təsirlənmə cərəyanını artırdıqda mühərrik tutum xarakterli $\cos\varphi$ ilə işləyir və şəbəkədən aktiv güc alıb reaktiv güc verir. Sinxron mühərrikin hər bir yükü üçün hesabət və təcrübə yolu ilə tələb etdiyi cərəyanın (I) təsirlənmə cərəyanından (I_T) asılılığını almaq olar. Bu asılılıqlara U-şəkilli

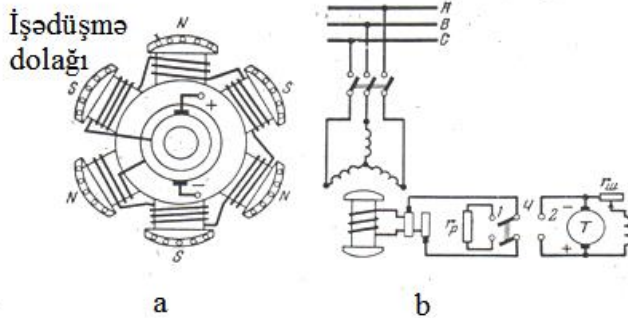
xarakteristikalar deyilir. Xarakteristikaların sol qolları induktiv $\cos\varphi$ -ə, sağ qolları isə tutum $\cos\varphi$ -ə uyğun gəlir.

Sənaye elektrik qurğularının ümumi $\cos\varphi$ -ni artırmaq üçün artıq təsirləndirilən sinxron mühərriklər nominal yükdə $\cos\varphi=0,8-0,9$ (tutum) qiymətlərində işləmək üçün hesablanır.

Sinxron mühərrikin işə salınması. Sinxron mühərrikin işə salınmasının bir sıra xüsusiyyətləri vardır. Əgər sinxron mühərrikin təsirlənmə dolağını sabit cərəyan mənbəyinə, startor dolağını isə üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə qoşsaq, rotor yerindən tərpənməyəcək. Belə birləşmə zamanı statorun fırlanan maqnit sahəsi tərpənməz rotorun maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirdə olub işarəsini 100 Hz tezliklə dəyişən moment yaradacaqdır. Rotorun şimal qütbünün qarşısında stator sahəsinin cənub qütbü keçdikdə müsbət moment yaranır. Yarım period sonra cənub qütbün yerinə şimal qütbü gəlir və mənfi moment yaranır. Rotor dönməyə macal tapmır, çünki onun mexaniki ətaləti çox böyükdür.

Elektromaqnit moment rotoru stator sahəsinin arxasınca fırlanmağa məcbur edə bilər ki, stator sahəsinin qütbləri təsirlənmiş rotora nisbətən yavaş hərəkət etsin. Deməli təsirlənmə cərəyanını qoşmaqdan əvvəl hər hansı üsulla rotoru sinxron sürətə qədər qovmaq lazımdır.

Müasir sinxron mühərrikləri işə salmaq üçün onları rotorlarında xüsusi işəsalıcı dolaq yerləşdirilir. Bu dolaqasinxron mühərrikin “dələ qəfəsi” şəklində olur (şəkil 6.52,a). İşəsalıcı dolağın cubuqları rotor qütblərində yerləşdirilir və alın tərəflərdən üzülklərlə qısa qapanır.



Şəkil 6.52. Sinxron mühərrikin rotoru (a) və (b) işəsalınma sxemi

Statoru şəbəkəyə qoşduqda yaranan fırlanan maqnit sahəsi asinxron mühərrikdəki kimi rotoru fırladır. Rotorun sürət sinxron sürətə yaxın olan ($n \geq 0,95 \cdot n_0$) halda təsirlənmə dolağına cərəyan verilir və mühərrik sinxronizmə çəkilir (şəkil 6.52, b).

Sinxron mühərrikin bütün buraxıla bilən yüklərdə sabit sürətə ($n_0 = \frac{60f}{p}$) malikdir. Sinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası absis oxuna paralel düz xətdən ibarətdir.

Sinxron mühərriklərin xassələri və istifadə sahələri.

Sinxron mühərriklərin üstün cəhətləri: 1) müxtəlif yerlərdə fırlanma sürətinin sabitliyi; 2) fırlandırıcı momentin şəbəkə gərginliyindən az asılı olması; 3) tutum xarakterli $\cos\phi$ ilə işləməsinin mümkünlüyü.

Sinxron mühərriklərin çatışmayan cəhətləri: 1) iki növ cərəyanın olması zəruriliyi—sabit və dəyişən; 2) işə salınmasının nisbətən mürəkkəbliyi; 3) sürətin tənzim edilə bilməsi; 4) artıq mexaniki yüklənmə zamanı sinxronizmdən çıxması.

Sinxron elektrik mühərriklərindən fasiləsiz işləyən böyük güclü aqreqatlarda istifadə edilir (mərkəzdənqaçma və porşenli nasoslar, ventilyatorlar, kompressorlar və s.)

6.19. Reaktiv mikromühərriklər

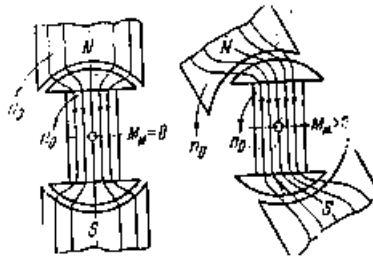
Geniş yayılmış kiçik güclü sinxron mühərriklərə reaktiv mühərriklər aiddir. Adi sinxron maşından fərqli olaraq bu mühərriklərin təsirlənmə dolağı yoxdur və konstruksiya cəhətcə qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərriklərə yaxındır.

Reaktiv mühərrik rotoru adi qısa qapanmış rotordan silindrik cəhətlərdə kəsiklərin olması ilə fərqlənir. Bunun nəticəsində statorla rotor arasında hava məsafəsi qeyri-müntəzəm alınır.

Reaktiv mühərrik asinxron mühərrik kimi işə düşür. Hava məsafəsinin qeyri-müntəzəmliyi nəticəsində rotor elə vəziyyət almağa çalışır ki, maqnit selinin yolunda maqnit müqaviməti həmişə ən kiçik olsun. Bununla əlaqədar olaraq rotor statorun maqnit sahəsinə sinxron sürətlə fırlanmağa başlayır.



Şəkil 6.53. Reaktiv mikromühərrikin ikiqütblü rotoru



Şəkil 6.54. Reaktiv mühərrikdə fırlandırıcı elektromaqnit fırlandırıcı momentin yaranması

Stator sahəsinin təsiri altında rotor maqnitləşir – rotorun çıxıntılı hissələri aşkar görünən qütbləri təşkil edir.

Mühərrikin valında müqavimət momenti olduqda rotor qütblərinin oxu stator sahəsinin oxuna nisbətən geri sürüşür. Stator və rotorun müxtəlif adlı qütbləri qarşılıqlı cazibə nəticəsində elektromaqnit fırlandırıcı moment yaradır. Buna **reaktiv moment** deyilir. Reaktiv mühərrik həmin gücdə olan sinxron mühərrikə nisbətən böyük qabaritə və pis energetik göstəricilərə malikdir. Reaktiv mühərrikin üstünlüyü ondadır ki, o yalnız dəyişən cərəyan tələb edir. Reaktiv mühərriklərdən avtomatikada, səsli kino qurğusunda, səsyazmada, telegörmədə və sabit sürət tələb edilən başqa qurğularda geniş istifadə olunur.

Bölməyə aid yoxlama sualları və məsələlər

1. Sinxron generatorun yüksüz işləmə xarakteristikasını çəkməli və əyrinin xarakterini izah etməli.
2. Sinxron induktiv müqavimətin fiziki mahiyyətini izah etməli.
3. Əlahiddə işləyən generatorun gərginliyinə xalis reaktiv yüklər necə təsir edir?
4. Xalis aktiv yükə işləyən sinxron generatora lövbər reaksiyasını izah etməli.
5. Sinxron generatorun müxtəlif yüklər üçün xarici xarakteristikalarını çəkməli.
6. Sinxron generatorun itkiləri və f.i.ə. üçün ifadələri yazmalı, enerji diaqramını çəkməli.
7. Sinxron generatorun paralel işəqoşulma sxemini çəkməli və sinxronlaşdırma prosesini izah etməli.
8. Sinxron mühərrik iş prinsipini izah etməli.
9. Sinxron mühərrikin asinxron işəsalma sxemini çəkin və işədüşmə prosesini izah edin.

10. Təsirlənmə cərəyanı sinxron mühərrikin işinə necə təsir edir?

11. Sinxron mühərrikin sürətini tənzim etmək olarmı?

12. Sənaye müəssisəsində ümumi gücü $P_{\text{asin}}=800$ kVt olan və $\cos\varphi=0,7$ güc əmsalı ilə işləyən asinxron mühərriklər vardır. Müəssisənin işıqlanma və başqa aktiv yükü $P_{\text{ışıq}}=200$ kVt-dır. Əlavə olaraq müəssisədə ümumi gücü $P_{\text{asin}}=300$ kVt olan sinxron mühərriklər qoyulmuşdur. Bunlar $\cos\varphi$ qiymətə qədər artar?

13. Reaktiv mikromühərrikin iş prosesini izah edin.

6.20. Sabit cərəyan maşınları

Geniş yayılmış 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 sürətinin geniş həddə rahat tənzimləməyin mümkünlüyündən, qənaətbəxşliyindən və böyük işədüşmə momentinə malik olmasından ibarətdir. Bununla əlaqədar olaraq sabit cərəyan mühərriklərindən texnikanın bütün sahələrində istifadə edilir. Böyük işədüşmə momentinə və əlverişli mexaniki xarakteristikalara malik olması sabit cərəyan mühərriklərindən dərzi mühərrikləri kimi elektrovozda, metroda, tramvayda, trolleybusda və kran qurğularında istifadə edilməsini məqsədəuyğun etmişdir.

6.21. Sabit cərəyan generatorlarının quruluşu və iş prinsipi

Hazırda sabit cərəyan generatorlarından akkumulyator batareyalarını doldurmaq üçün dəyişən cərəyanı sabit cərəyana çevirən aqreqatlarda və işçi maşınların sürətini geniş həddə səlrist tənzim etmək məqsədi ilə işləyən elektromaşın aqreqatlarında

istifadə olunur. Sabit cərəyan generatoru aşağıdakı əsas hissələrdən ibarətdir:

- 1) maşının əsas maqnit sahəsinə yaradan tərənməz maqnit sistemi – *stator*;
- 2) dolağında e.h.q. induksiyalanan və hərəkətə gətirilən *lövbar*;
- 3) vasitəsilə generatorun sıxaclarında sabit gərginlik alınan *kollektor*.

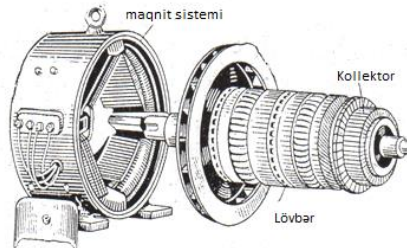
Şəkildə sabit cərəyan maşınının ikiqütblü maqnit sistemi sxematik olaraq təsvir edilmişdir. Tərənməz gövdə (1) tökmə poladdan hazırlanır. Gövdənin daxili səthinə elektromaqnitləri (2) nüvələri bərkidilir. Nüvələrə izolyasiyalı məftillərdən sarğaclar (3) geydirilir. Sarğacları nüvədə saxlamaq üçün nüvələr qütb başmaqları (4) ilə təchiz edilir. Qütb başmaqlarının müəyyən formada icra edilməsi δ hava aralığında maqnit xətlərinin əlverişli paylanmasını təmin edir.

Elektromaqnitlərin sarğacları təsirlənmə dolağını təşkil edir və sabit cərəyanla qidalanaraq sabit maqnit seli (Φ) yaradır. Bu selin maqnit xətləri şimal qütbündən çıxıb silindrik lövbərdən (5) keçib cənub qütbünə daxil olaraq gövdədə qapanır.

Lövbar maşının valında (2) oturdulmuş polad slindirdən (1) ibarətdir. (Maqnit itkilərini azaltmaq üçün lövbar vərəqə poladdan yığılır.) Lövbərin xarici səthində açılmış yuvalarda (3) izolyasiyalı məftillər (çubuqlar) yerləşdirilir. Çubuqlar alın tərəflərdən bir-biri ilə birləşdirilib qapalı lövbar dolağını təşkil edir.

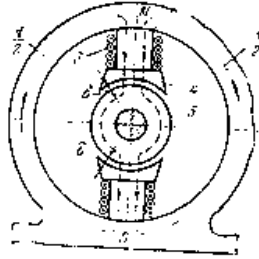
Kollektor (4) lövhələrdən (5) bir-birindən və valdan izole edilmiş halda yığı müəyyən nöqtəs göstərilmişdir.

Çubuqların səkkizçubuqlu sac



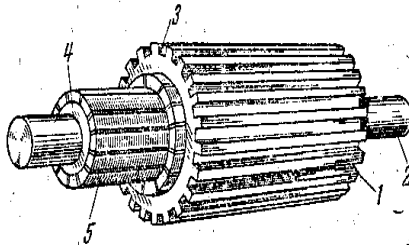
dolağının
ər dolağı
run rolunu

Lövbər maqnit sahəsində fırlanıqda çubuqlar maqnit xətlərini kəsir və onlarda e.h.q. induksiyanır. Lövbərin hər bir çubuğunda induksiyananan e.h.q. N qütbündən S qütbünə keçdikdə öz istiqamətini düz əksinə dəyişir.

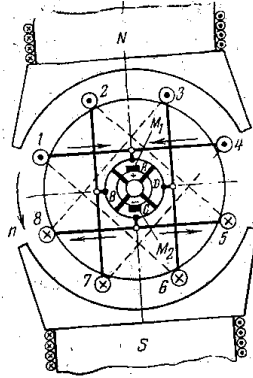


Şəkil 6.55. İkiqütblü sabit cərəyanmaşınının maqnit sistemi.

Generatorun sıxaclarında kifayət qədər böyük gərginlik almaq üçün dolağın çubuqları öz aralarında elə birləşdirilir ki, onlarda induksiyananan 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 kollektor lövhələrinə (A, B, C, D,) birləşdirilmişdir.



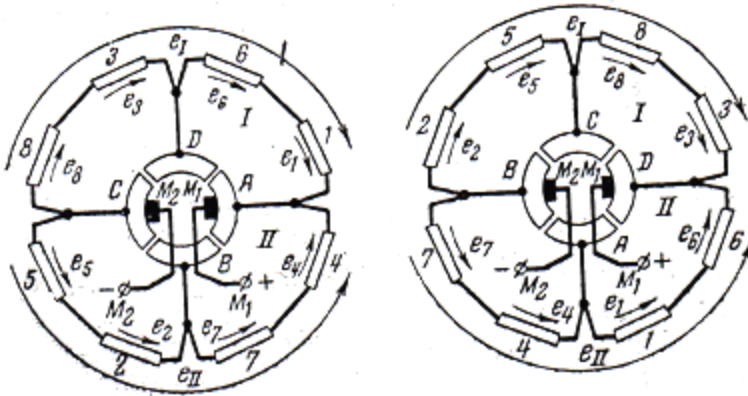
Şəkil 6.56 Sabit cərəyanmaşınının lövbəri



Şəkil 6.57.Lövbər dolağının quruluşu

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. $e_I = e_1 + e_6 + e_3 + e_8$ olan I budağında 1, 6, 3 və 8 çubuqları, cəm e.h.q. $e_{II} = e_4 + e_7 + e_2 + e_5$ olan II budağında 4, 7, 2 və 5 çubuqları ardıcıl birləşmişdir. $e_I = e_{II}$, çünki çubuqlar simmetrikdir. e_I və e_{II} , e.h.q.-ləri bir-birinin əksinə təsir etdiyinə görə lövbər dolağında cərəyan yaranmır. Kollektorun A və C lövhələri arasındakı gərginlik budaqların e.h.q.-nə (E) bərabərdir.

Lövbər döndükdə (məsələn, 90°) lövbər dolağı yenə də iki budaq I və II əmələ gətirir; bunlardan hər birinə artıq başqa çubuqlar daxil olacaq, lakin hər budaqda e.h.q. öz qiymətini (E) saxlayacaqdır.



Şəkil 6.58.Lövbər dolağının sxemi.

İşlədiciləri 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 induksiyaalanən e.h.q.-ləri hesablayaq. Böyük güclü maşınların maqnit sistemi bir neçə cüt qütbə və lövbər dolağı bir neçə cüt paralel budağa malik ola bilər. Əgər bir qütbün maqnit selini \$\Phi\$, cüt qütblər sayını \$p\$, lövbərin diametrini \$d\$, uzunluğunu \$l\$ işarə etsək, lövbərin səthində maqnit induksiyasının orta qiyməti üçün yaza bilərik:

$$B_{op} = \frac{\Phi \cdot 2p}{\pi dl}$$

Lövbər dolağının hər çubuğunda induksiyaalanən e.h.q.-nin orta qiyməti

$$E_{op} = B_{op}lv = \frac{\Phi \cdot 2p}{\pi dl} \cdot l \cdot \frac{\pi dn}{60} = 2p\Phi \cdot \frac{n}{60}$$

Generatorun e.h.q. lövbər dolağının bir paralel qolunun cəm e.h.q.-nə bərabər olduğuna görə bütün çubuqların sayını N və paralel budaqların sayını $2a$ ilə işarə etsək, alarıq:

$$E = E_{op} \cdot \frac{N}{2a} = \frac{N}{2a} \cdot 2p\Phi \cdot \frac{n}{60} = cn\Phi,$$

burada $c = \frac{p}{a} \cdot \frac{N}{60}$ sabit əmsaldır.

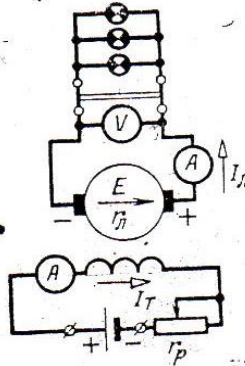
6.22. Sabit cərəyan generatorunun iş prosesi

Generatorun təsirlənməsi. Təsirlənmə dolağını qidalandırma üsuluna görə generatorlar iki qrupa ayrılır:

- 1) müstəqil təsirlənən generatorlar;
- 2) özü təsirlənən generatorlar.

Şəkilə müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorunun elektrik sxemi göstərilmişdir.

Təsirlənmə dolağı kənar cərəyan mənbəyindən qidalandırılır. Bu sxemdə təsirlənmə cərəyanı generatorun işindən asılı deyildir.



Şəkil 6.59. Müstəqil təsirlənən generatorun sxemi

Xarici dövrə açıq olduqda generatorun cərəyanı sıfırdır ($I_L=0$) və generatorun sıxaclarına qoşulmuş voltmetr lövbərdə induksiyaalan e.h.q.-ni ölçür.

$$U=E-I_L r_L=E,$$

burada r_L - lövbər dolağının müqavimətidir.

Təsirlənmə dövrəsində olan reostat r_p təsirlənmə cərəyanını dəyişməyə və bununla da, maqnit selini () və deməli, generator e.h.q.-ni (E) tənzimləməyə imkan verir.

Şəkildə generatorun yüksüz işləmə xarakteristikası göstərilmişdir. Polad maqnit keçiricisində qılncı maqnit selinin olmasına görə yüksüz işləmə xarakteristikası sıfırdan deyil, e.h.q.-nin E_{qal} müəyyən 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.

Özütəsirlənmə prinsipi belə izah edilir. Lövbəri fırlatdıqda başlanğıc anda lövbər dolağında qılncı maqnit seli kiçik e.h.q. (E_{qal}) induksiyaalayır. Bu e.h.q. təsirlənmə dolağında cərəyan yaradır. 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. Özütəsirlənməni təmin etmək üçün aşağıdakılar zəruridir:

- a) maşında qalığı maqnit selinin olması
- b) təsirlənmə dolağının lövbər sıxaclarına düzgün birləşdirilməsi, belə ki, təsirlənmə cərəyanı qalığı 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.

Şəkildə paralel təsirlənən generatorun sxemi göstərilmişdir. Lövbər cərəyanı iki paralel dövrəyə budaqlanır:

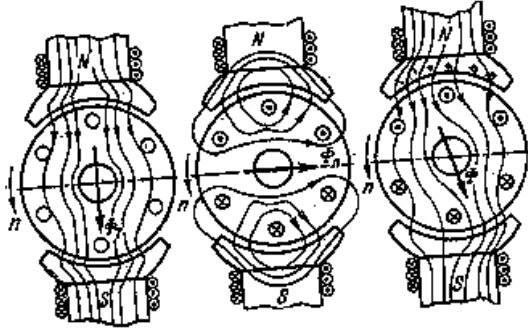
$$I_L = I + I_T.$$

Paralel təsirlənmə dolağı nazik məftildən böyük sayda sarğılarla 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_q) mövcuddur. Yüklü generatora lövbər dolağından axan cərəyan öz maqnit selini (Φ_T) yaradır. İkiqütblü maşında lövbər selinin (Φ_L) oxu əsas selin (Φ_T) oxuna perpendikulyar olur. Bu maqnit selləri birlikdə maşının nəticəvi maqnit selini (Φ) yaradır. Lövbər maqnit selinin əsas maqnit selinə etdiyi təsirə **lövbər reaksiyası** deyilir.

Lövbər reaksiyasının təsiri nəticəsində maşının maqnit sahəsi deformasiyaya uğrayır. Lövbər reaksiyası xoşagəlməz nəticələr törədir: fırçaların altında güclü qığılımlar yaranır, bu, maşının normal işini pozur; generatorun e.h.q. azalır ki, bu da yük artdıqda generatorun gərginliyinin daha çox azalmasına səbəb olur.

Lövbər reaksiyasını zəiflətmək üçün əsas vasitə *kompensasiya dolağından* istifadə etməkdir. Bu dolaq maşının qütblərində yerləşdirilir və lövbərlə ardıcıl birləşdirilir.



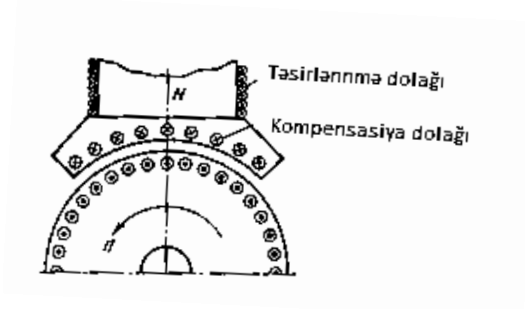
Şəkil 6.60.Lövbər reaksiyası.

Kompensasiya dolagının maqnit sahəsi lövbər dolağının maqnit selinə əksinə təsir göstərir. Sarğılar sayını elə seçmək olar ki, lövbər reaksiyası tamamilə kompensasiya edilsin.

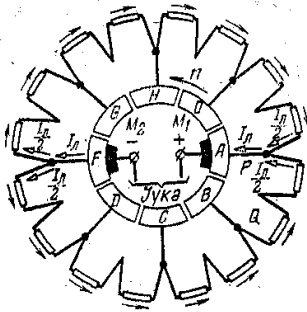
Kommutasiya. Sabit cərəyan maşınının işi çox vaxt fırçalarla kollektor arasında qığılıcı yaranması ilə müşayiət edilir. Güclü qığılıcılanma maşının normal işiniqeyri-mümkün edir. Qığılıcılanmanın səbəbi mexaniki defektlər ola bilər: kollektorun səthinin hamar olmaması, fırçaların zəif sıxılması, kollektorun çirklənməsi, titrəmə və s.

İstismar zamanı maşının mexaniki cəhətcə tamamilə saz olduğu halda belə qığılıcılanma baş verir. Buna səbəb fırçanın kollektor lövhəsinin birindən o birinə keçdikdə yaranan fiziki prosesdir. Bu prosesin mahiyyətini 16 çubuqlu lövbər dolağının misalında izah edək.

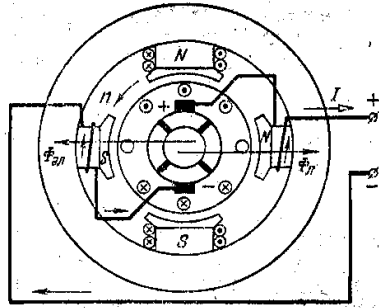
Lövbər fırlandıqda kollektor lövhələri növbə ilə fırçalarla kontakt yaradır. Bu zaman fırça bir lövhədən, məsələn M_1 fırçası A lövhəsindən B lövhəsinə keçdikdə lövbər dolağının PQ seksiyası bir paralel budaqdan digərinə keçir. Bu vaxt həmin seksiyada cərəyan $+\frac{I_L}{2}$ qiymətindən $-\frac{I_L}{2}$ qiymətə dəyişir. Seksiyada cərəyanın belə tez dəyişməsi (I_L qədər) özünəinduksiya e_L e.h.q. yaradar. Fırça ilə qapanan seksiyada cərəyanın istiqamətcə dəyişməsi nəticəsində yaranan hadisələr kompleksinə kommutasiya deyilir.



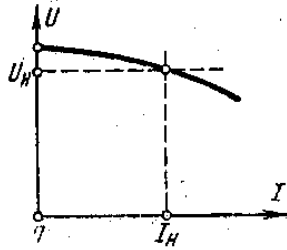
Şəkil 6.61. Kompensasiya dolağının yerləşdirilməsi



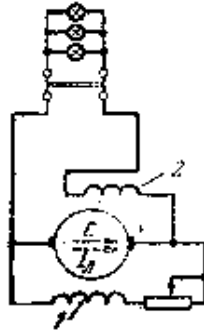
Şəkil 6.62
Kommütasiya hadisəsi



Şəkil 6.63.
Əlavə qütblü sabit cərəyan generatorunun sxemi



Şəkil 6.64.Paralel təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası



Şəkil 6.65.Qarıışıq təsirlənən generator

Kommutasiya edilən seksiyada yaranan e_L e.h.q. kollektorla fırçalar arasında qığılclımlanma yaradır.

Kommutasiya qığılclımlanması ilə əsas mübarizə vasitəsi *əlavə qütblərdən* istifadə edilməsidir. Bu qütblərin maqnit seli hərəkətdə olan kommutasiya seksiyasında e_L ilə əks istiqamətdə e_k e.h.q. induksiylayır, belə ki, $e_k + e_L \approx 0$. Bununla qığılclımlanma 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*.

Şəkildə paralel 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 E e.h.q.-ni dəyişmək lazımdır.

Bəzi hallarda *qarışıq təsirlənən* generatorlardan istifadə edilir. Bu maşınlarda əsas - paralel təsirlənmə dolağından başqa, sarğılar sayı az olan və yüklə ardıcıl qoşulan daha bir dolaq (2) vardır. Hər iki dolaq əsas qütblərdə yerləşdirilir və elə qoşulur ki, yaratdıqları maqnit selləri eyni istiqamətdə təsir göstərsin (düz birləşmə). Yüklə cərəyanı artdıqda ardıcıl təsirlənmə dolağında cərəyan artır. Bunun sayəsində maqnit seli və

induksiya e.h.q. artır və lövbər dolağında gərginlik düşküsi qismən kompensasiya edilir.

Qarışıq təsirlənən generatorlardan tez-tez və çox dəyişən yüklü qurğularda gərginliyi sabit saxlamaq üçün istifadə olunur.

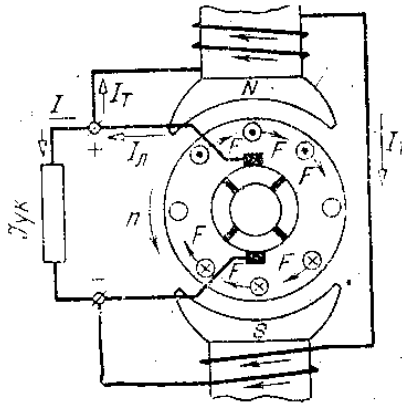
Bəzi xüsusi qurğularda, məsələn, elektrik qaynaq aqreqlərində generator üçün iş şəraiti sərt enən xarakteristika tələb olduğuna görə ardıcıl və paralel təsirlənmə dolaqları əks birləşdirilir.

Elektromaqnit moment. Hər bir sabit cərəyan maşınında lövbər cərəyanı I_L ilə maqnit seli Φ arasında qarşılıqlı təsir vardır. Lövbərin hər bir çubuğuna təsir edən elektromaqnit qüvvə

$$F = BIl$$

Bu qüvvənin istiqaməti sol əl qaadası ilə təyin edilir. Bu ifadədə maqnit induksiyanın orta qiymətini B_{or} və çubuqdakı cərəyanın qiymətini $I = \frac{I_L}{2a}$ yerinə yazsaq, alarıq:

$$F = \frac{2p\Phi}{\pi dl} \cdot l \cdot \frac{I_L}{2a} = \frac{p}{\pi dl} \cdot \Phi I_L.$$



Şəkil 6.66. Elektromaqnit momentin yaranması

Məftillərin sayı N -dirsə, maşının lövbərinə təsir edən elektromaqnit moment belə ifadə olunur:

$$M = NF = \frac{d}{2} = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi I_L = k\Phi I_L,$$

burada $k = \frac{pn}{2\pi a}$ – verilmiş maşın üçün sabit kəmiyyətdir.

Generatorda elektromaqnit moment tormozlayıcı təsir göstərir.

Generatorun itkiləri və f.i.ə. Generatoru fırladan mühərrik generatorun valında mexaniki güc P_{mex} yaradır və bu güc generatorun xarici dövrəyə P faydalı güc verməsini və itkiləri $\sum \Delta P$ təmin edir. Güclər balansını belə yazıla bilər:

$$P_{mex} = P + \sum \Delta P = P + \Delta P_L + \Delta P_T + \Delta P_M + \Delta P_{Mex}$$

Burada $P = UI_{yük}$ – generatorun xarici dövrəyə verdiyi faydalı elektrik gücüdür.

ΔP_L – lövbər dolağında güc itkisi;

ΔP_T – təsirlənmə dövrəsində güc itkisi;

ΔP_M – lövbərin poladında güc itkiləri;

ΔP_{Mex} – mexaniki itkilər.

Generatorun faydalı iş əmsalı belə təyin edilə bilər:

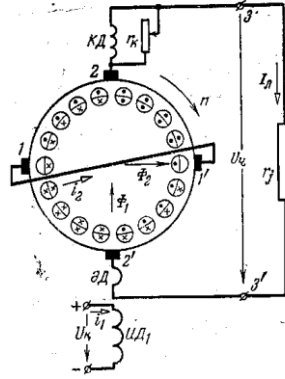
$$\eta = \frac{P}{P_{mex}} = \frac{P}{P + \sum \Delta P}$$

6.23. Elektromaşın gücləndiriciləri

Elektromaşın gücləndiricisindən (EMG) kiçik güclə böyük gücləri idarə və tənzim etmək üçün istifadə olunur. Ən sadə elektromaşın gücləndiricisi müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorundan ibarətdir. burada geniş təsirlənmə dolağının (TD) sıxacları, çıxış isə lövbərin sıxaclarıdır. Böyük güclənmə almaq üçün elektromaşın gücləndirici adlanan xüsusi

konstruksiyalı generatordan istifadə edilir. EMG-nin sxemi şəkildə göstərilmişdir. Elektromaşın gücləndiricisində təsirlənmə dolağı idarə dolağı adlanır (UD_1). Maşın ikiqütblüdür, lakin iki cüt fırçaya malikdir. 1-1' fırçaları idarə dolağına nisbətən maşının eninə oxunda yerləşdirilmişdir və qısa birləşmişlər, 2-2' fırçaları maşının uzununa oxunda oturdulmuş və xarici dövrəyə qoşulmuşdur. İdarə dolağından ($ID+1$) kiçik i_1 cərəyanı keçdikdə (bura gücləndiricinin girişidir) maşında Φ_1 maqnit seli yaranır. Bu sel lövbər dolağında e.h.q. induksiya edir. Induksiya e.h.q.-lərinin istiqaməti lövbər dolağı çubuqlarının xarici yarımhissəsində göstərilmişdir. Bu e.h.q.-lərinin təsiri altında qısa qapanmış fırçalar (1-1') vasitəsilə lövbər dolağında i_2 cərəyanı axır. Bu cərəyan kifayət qədər böyükdür və maşının eninə maqnit selini Φ_2 yaradır. Maşın elə konstruksiya edilir ki, Φ_2 seli EMG ilə eyni gücdə olan adi generatorun təsirlənmə selinə uyğun olsun. Bu sel lövbər dolağının məftillərini kəsib onlarda e.h.q.-lərin istiqaməti şəkildə lövbər dolağının məftillərinin daxili yarım hissəsində göstərilmişdir. Bu e.h.q.-lər gücləndiricinin çıxışında (3-3' sıxacları) U_4 gərginliyini yaradır.

Göründüyü kimi, baxılan maşında güclənmə prosesi ikipilləli gedir: i_2 cərəyanının axdığı lövbər dolağı ikinci pillənin təsirlənmə dolağı vəzifəsini götürür. Bunun sayəsində eninə maqnit selli EMG-lərində güclənmə əmsalını çox böyük almaq olur (2500-10000).



Şəkil 6.67. Eninə maqnit sahəli elektromaşının gücləndiricisi

Qeyd etmək lazımdır ki, yük müqavimətindən və lövbər dolağından axan I_L cərəyanı da lövbər reaksiyası selini yaradır. Lakin bu sel kompensasiya dolağı (KD) vasitəsilə tamamilə aradan götürülür (kompensasiyanın dərəcəsini r_k reostatı ilə tənzim etmək olur). Kommütasiya şəraitini yaxşılaşdırmaq üçün maşın əlavə qütblərlə təchiz edilir (dolağı - ƏD).

6.24. Sabit cərəyan mühərrikləri

Sabit cərəyan maşını mühərrik rejimində işləyə bilər.

Sabit cərəyan maşını şəkəyə qoşsaq, onun lövbər və təsirlənmə dolaqlarından cərəyan axacaqdır. Lövbər cərəyanı ilə qütblərin maqnit sellərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində elektromaqnit moment yaranacaq və lövbər fırlanmağa başlayacaqdır.

Elektromaqnit moment yuxarıda göstərilədiyi kimi belə ifadə edilir:

$$M = k\Phi I_L$$

Fırlanan lövbərin məftillərində induksiyaalanən e.h.q. lövbər cərəyanının əks istiqamətində təsir göstərir. Bu e.h.q.-yə əks e.h.q. deyilir. Şəbəkənin gərginliyi lövbərin əks e.h.q.-ni və daxili müqavimətindəki gərginlik düşküsünü müvazinətdə saxlayır:

$$U = E + I_L r_L.$$

Əks e.h.q. (E) lövbər cərəyanını azaldır:

$$I_L = \frac{U - E}{r_L}.$$

Mühərrikin normal iş şəraitində $I_L r_L$ kəmiyyəti çox kiçikdir və əks e.h.q. gərginliyin 90-95%-ni təşkil edir.

Sabit cərəyam mühərriklərinin işə salınması və fırlanma sürətinin tənzimlənməsi ilə əlaqədar olan ümumi məsələyə baxaq.

Mühərriki birbaşa şəbəkənin normal gərginliyinə qoşduqda işə düşmə cərəyanı $I_{L(id)} = \frac{U}{r_L}$ çox böyük qiymətlər alır: nominal cərəyandan 10-30 dəfə böyük olur, çünki işə düşmə anında lövbər tərənəmz olduğuna görə əks e.h.q. $E=0$. İşə düşmə cərəyanının belə böyük olması maşının kollektoru, fırçası və şəbəkə üçün təhlükəlidir. Odur ki, mühərriki işə saldıqda onun lövbər dövrəsinə işəsalıcı reostat şəklində əlavə müqavimət daxil edirlər. Reostatın müqaviməti elə seçilməlidir ki, işə düşmə cərəyanı (1,5÷2) I_{Ln} -dan böyük olmasın. İşə düşmə momentinin $M_{id} = k I_{L(id)} \Phi$ böyük olmasını və mühərrikin öz sürətini tez almasını təmin etmək üçün işə düşmə zamanı maqnit seli maksimal olmalıdır.

Sabit cərəyan mühərrikinin fırlanma istiqamətini dəyişmək üçün (reversivləmə üçün) ya lövbər dolağında, ya da ki, təsirlənmə dolağında cərəyanın istiqamətini dəyişmək kifayətdir.

Qərarlaşmış fırlanma sürətinin lövbər cərəyanından asılılığı sürət xarakteristikasını verir: $n(I_L)$, $U = \text{const}$ və $R_L = r_L + r_{is} = \text{const}$. Bu, tənliyindən alınır:

$$U = cn\Phi + I_L R_L$$

$$n = \frac{U - I_L R_L}{c\Phi}$$

Bu ifadədən mexaniki xarakteristikanın tənliyini almaq olar; $k(M)$, $U = \text{const}$ və $R_L = \text{const}$. Sürət xarakteristikası və mexaniki xarakteristika mühərrikin iş xassələri haqqında mülahizə aparmağa imkan verir və maşının təsirlənmə sxemindən çox asılıdır.

Düsturdan görünür ki, sabit cərəyan mühərrikinin sürətini şəbəkə gərginliyinin (U), təsirlənmə selini (Φ) və lövbər dövrəsinin müqavimətini ($P_L = r_L + r_{is}$) dəyişməklə tənzim etmək olar.

Paralel və müstəqil təsirlənən mühərriklər. Paralel təsirlənən mühərrikin sxemi şəkildə göstərilmişdir. R_{is} işəsalıcı reostatdır. Mühərrikin təsirlənmə dövrəsi bilavasitə şəbəkəyə qoşulur, ona görə belə edilir ki, təsirlənmə cərəyanı və seli işədüsmə zamanı ən böyük olmalıdır. Mühərrikin təsirlənmə dolağı başqa mənbəyə də qoşula bilər. Müstəqil təsirlənən mühərrikdən, adətən, generator-mühərrik sxemində istifadə edilir. Mühərrikin elektromaqnit momenti lövbər cərəyanı və təsirlənmə selinə mütənasibdir:

$$M = k I_L \Phi.$$

Mühərrikdə lövbər reaksiyasını nəzərə almasaq, $I_T = \text{const}$ olduqda $\Phi = \text{const}$ qəbul etmək olar. Deməli, paralel və müstəqil təsirlənən mühərriklərdə moment lövbər cərəyanına mütənasibdir. Mühərrikin mexaniki xarakteristikasını $n(M)$ belə ifadə edə bilərik ($U = \text{const}$, $R_L = \text{const}$):

$$n = \frac{U - I_L R_L}{c\Phi} = \frac{U}{c\Phi} - M \cdot \frac{R_L}{ck\Phi^2},$$

burada $I_L = \frac{M}{k\Phi}$ ifadəsindən istifadə edilmişdir.

İdeal yüksüz işləmədə $M = 0$ olduğu üçün ideal yüksüz işləmə $n_0 = \frac{U}{c\Phi}$ olar.

Onda

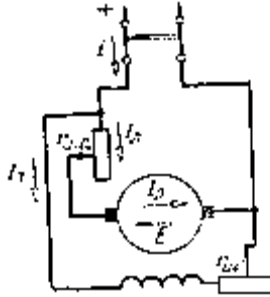
$$n = \frac{U}{c\Phi} \left(1 - \frac{MR_L}{k\Phi U}\right) = \frac{U}{c\Phi} \left(1 - \frac{M}{M_{id}}\right) = n_0 \left(1 - \frac{M}{M_{id}}\right),$$

yəni mexaniki xarakteristikanın tənliyi belə olar:

$$n = n_0 \left[1 - \frac{M}{M_{id}}\right]$$

Mexaniki xarakteristika şəkində göstərilmişdir.

Paralel təsirlənən mühərrikin sürətinin tənzim etmək üçün ifadədən görüldüyü kimi maşının Φ selini və lövbər dövrəsinin müqavimətini $R_L = r_L + r_s$ dəyişmək lazımdır. Maşının təsirlənmə maqnit selini tənzim etmək üçün təsirlənmə dövrəsinə r_s reostatı qoşulmuşdur.



Şəkil 6.68..Paralel təsirlənən mühərrikin qoşulma sxemi

Qeyd etmək lazımdır ki, təsirlənmə cərəyanının kiçik qiymətlərində və eləcə də təsirlənmə dövrəsinin təsadüfi qırılması halında fırlanma sürəti şiddətlə artır və mühərrikin mexanik bütövlüyü üçün təhlükə yaradır. Odur ki, istismar zamanı mühərrikin təsirlənmə dövrəsinin bütövlüyünə nəzarət edilməlidir.

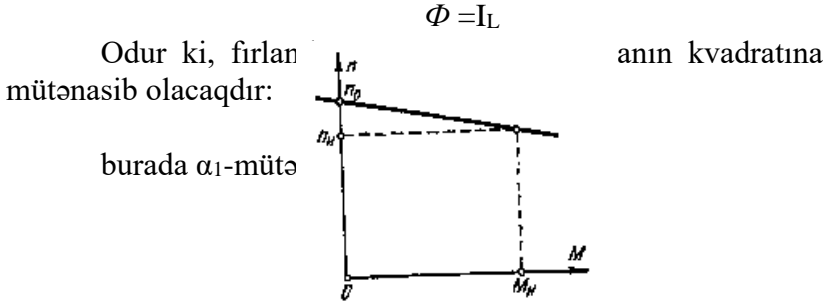
Sürətin tənzimlənməsinin daha bir üsulu mühərriyə verilən gərginliyin reostatsız dəyişdirilməsidir. Bu üsul generator-mühərrik sistemində (Leonard sistemi) əldə edilir. Burada tənzimlənən gərginliyin mənbəyi asinxron mühərrikle

(M_1) hərəkətə gətirilən müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorudur (G). Tənzimlənən mühərrik M_2 -də müstəqil təsirlənməlidir. Mühərrikin valı işçi mexanizm ($İM$) ilə birləşdirilmişdir. Generatorun təsirlənmə cərəyanını dəyişməklə U gərginliyinin və deməli, mühərrikin sürətini tənzim etmək olar.

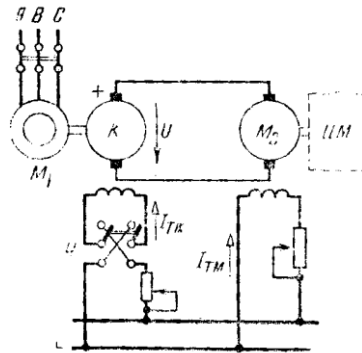
Ardıcıl təsirlənən mühərrik. Mühərrikin sxemi şəkildə göstərilmişdir. Təsirlənmə cərəyanı lövbər cərəyanına bərabərdir:

$$I_T = I_L = I = \frac{U - E}{r_L + r_T} = \frac{U - c\Phi n}{r_L + r_T}.$$

Lövbər cərəyanının kiçik qiymətlərində maşının maqnit sistemi doymamışdır və qütblərin maqnit seli lövbər cərəyanına mütənasibdir:



Şəkil 6.69.Paralel tə'sirlənən mühərrikin təbii-mexaniki xarakteristikası



Şəkil 6.70. Generator-mühərrik sistemi

Böyük yüklər zamanı və maqnit sisteminin doyduğu halda ($\Phi \approx \text{const}$) fırlandırıcı moment lövbər cərəyanına mütənasib olur:

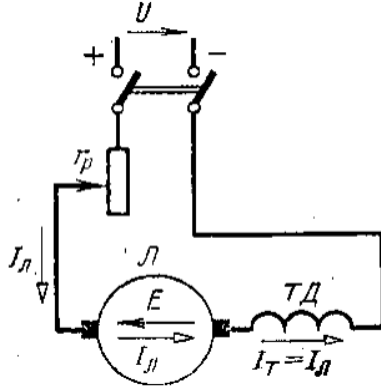
$$M = k\Phi I_L \approx \alpha_2 I_L,$$

burada α_1 -mütənasiblik əmsəlidir.

Düsturlardan aydın olur ki, kiçik yüklərdə ardıcıl təsirlənən mühərrikin mexaniki xarakteristikası hiperbola şəklində, böyük yüklərdə isə düz xətt şəklində olur.

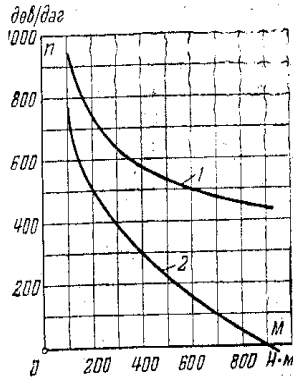
Yüksüz işləmədə və çox kiçik yüklərdə mühərrikin cərəyanı və seli azalır, sürət isə şiddətlə artır. Bu isə mühərrikin mexaniki möhkəmliyi üçün təhlükə təşkil edir. Odur ki, ardıcıl təsirlənən mühərriki yüksüz işə salmaq və eləcə də onu yüklə qayıq ötürməsi ilə birləşdirmək olmaz.

Mühərrikin sürətini tətbiq edilmiş gərginliyi r_p reostatı ilə dəyişməklə tənzimləmək olar. Lövbər dövrəsinə reostat daxil etdikdə mühərrikin reostat xarakteristikasını ala bilərik. Bu zaman mühərrikin sürət azalır. Mühərrikin sürətini qütblərin maqnit selini dəyişməklə də tənzim etmək olar. Bundan ötrü təsirlənmə dolağına paralel şunt reostatı qoşulur. Reostatın müqavimətini dəyişməklə təsirlənmə cərəyanını və maqnit selini tənzimləyirik və nəticədə sürət tənzim edilmiş olur.



Şəkil 6.71. Ardıcıl təsirlənən mühərrikin qoşulma sxemi

Ardıcıl təsirlənən mühərriklərdən dartı mühərriki kimi nəqliyyatda və kran qurğularında geniş istifadə olunur. Burada mühərrikin kiçik sürətlərdə və işədüsmə zamanı böyük moment yaratması vacib məsələdir.



Şəkil 6.72. Ardıcıl təsirlənən mühərrikin mexaniki xarakteristikası

Qarışıq təsirlənən mühərrik. Həm ardıcıl həm də paralel təsirlənən mühərriklərin üstünlüklərindən eyni zamanda istifadə edilməsi lazım gəldiyi hallarda qarışıq təsirlənən mühərriklərdən istifadə olunur. Ardıcıl təsirlənən mühərrikin üstünlüyü işə düşmə zamanı böyük moment yaratması, paralel təsirlənən mühərrikin üstünlüyü isə kiçik yüklərdə işləyə bilməsidir. Qarışıq təsirlənən mühərrikdə iki təsirlənmə dolağı vardır: ***ardıcıl və paralel.***

Ardıcıl və paralel təsirlənmə dolaqlarının maqnitləşdirici qüvvələrinin nisbətindən asılı olaraq qarışıq təsirlənən mühərrikin mexaniki xarakteristikası ya paralel, ya da ardıcıl təsirlənən mühərrikin xarakteristikasına yaxınlaşa bilər.

Mühərrikin nominal göstəriciləri və f.i.ə. Mühərrikin əsas nominal kəmiyyətlərinə aiddir: nominal güc P_n , nominal gərginliyi I_n və nominal sürəti n_n .

Bu kəmiyyətlər kataloqlarda göstərilir.

Mühərrik işlədiyi zaman onun şəbəkədən aldığı gücü P_e faydalı mexaniki gücə P və itkilərə sərf olunur:

$$P_e = P + \sum \Delta P = P + \Delta P_L + \Delta P_T + \Delta P_M + \Delta P_{Mex}$$

burada $\Delta P_L = I_L^2 r_L$ – lövbər dolağındakı itkilər;

$\Delta P_T = I_T^2 r_T$ – təsirlənmə dövrəsindəki itkilər;

ΔP_M – lövbərin poladında maqnit itkiləri;

ΔP_{Mex} – mexaniki itkilədir.

Mühərrikin faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{P}{P_e} = \frac{P}{P + \sum \Delta P}$$

düsturu ilə təyin edilir və 0,85-0,95 qiymətlərində olur.

6.25. Kollektorlu mikromühərriklər

Avtomatika sxemlərində, sənaye və məişət elektrik qurğularında (elektrik alətləri, ventilyatorlar, soyuducular və s.) universal mühərriklər geniş yayılmışdır. Bunlar kiçik güclü (təxminən 5-400 Vt) kollektorlu mühərriklərdir ki, həm sabit (110 və 220 V) və həm də 50 hc tezlikli dəyişən (127 və 220 V) cərəyan şəbəkəsindən işləməyə hesablanmışdır.

Quruluşuna görə unuversal mühərriklər ikiqütblü ardıcıl təsirlənən sabit cərəyan mühərriklərindən fərqlənir. Fırıldırıcı moment öz istiqamətini dəyişən cərəyan halında da dəyişmir, çünki lövbər cərəyanı öz istiqamətini təsirlənmə seli ilə eyni zamanda dəyişir.

Universal kollektorlu maşınların üstünlüyü ondadır ki, onların vasitəsilə dəyişən cərəyanda da böyük sürətlər (2700-8000 $dövr/dəq$) almaq olur (Halbuki asinxron və sinxron mühərriklərin $f=50$ hc tezlikdə ən böyük sürət 3000 $dövr/dəq$ -dən artıq olmur).

Məsələ 6-1. Paralel təsirlənən generatorun nominal verilənləri belədir: $P_n=6,8$ kVt, $U_n=230$ V, $n_n=2000$ $dövr/dəq$, lövbər dövrəsinin (əlavə qütblərin dolağı da daxil olmaqla) müqaviməti $r_L=0,7$ Om təsirlənmə dövrəsinin müqaviməti $r_T=115$ Om. Maqnit itkiləri və mexaniki itkilər generatorun nominal gücünün 4,5%-ni təşkil edir. Nominal yük rejimi üçün lövbər və təsirlənmə cərəyanını, generatorun e.h.q.-ni v. f.i.ə. təyin etməli.

Məsələnin həlli. Yükün cərəyanı

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} = \frac{6,8 \cdot 10^3}{230} = 29,6A$$

Təsirlənmə və lövbər dövrəsinin cərəyanları:

$$I_T = \frac{U_n}{r_T} = \frac{230}{1150} = 2A,$$

$$I_{L_n} = I_n + I_T = 29,6 + 2 = 31,6A.$$

Generatorun e.h.q.

$$E = U_n + I_{L_n} \cdot r_L = 230 + 31,6 \cdot 0,7 = 252,12 V.$$

Lövbər və təsirlənmə dövrəsində güc itkiləri:

$$\begin{aligned}\Delta P_L &= I_{Ln}^2 \cdot r_L = 31,6^2 \cdot 0,7 = 700 \text{ Vt}, \\ \Delta P_T &= I_T^2 r_T = 2^2 \cdot 115 = 460 \text{ Vt}.\end{aligned}$$

Yerdə qalan itkilər

$$\Delta P_M + \Delta P_{Mex} = \frac{4,5}{100} \cdot 6,8 \cdot 10^3 = 306 \text{ Vt}$$

Nominal gücdə itkilər cəmi

$$\begin{aligned}\sum \Delta P_n &= P + \Delta P_L + \Delta P_T + \Delta P_M + \Delta P_{Mex} \\ &= 700 + 460 + 306 = 1466 = 1,466 \text{ kVt}.\end{aligned}$$

Nominal yükdə generatorun valında mexaniki güc

$$P_{Mex} = P_n + \sum \Delta P_n = 6,8 + 1,466 = 8,266 \text{ kVt}.$$

Generatorun f.i.ə.

$$\eta = \frac{P_n}{P_{Mex}} \cdot 100 = \frac{6,8P}{8,266} \cdot 100 = 82,4\%$$

Məsələ 6-2. Paralel təsirlənən mühərrik üçün nominal kəmiyyətlər məlumdur: $P_n=130 \text{ kVt}$, $U_n=220 \text{ V}$, $I_n=640 \text{ A}$, $n_n=600 \text{ dövr/dəq}$, $r_L=0,00725 \text{ Om}$, $r_T=43,2 \text{ Om}$. Nominal rejimdə fırlandırıcı momentini, ideal yüksüz işləmədə lövbərin fırlanma sürətini, reostatsız işədüsmə cərəyanını təyin etməli.

Məsələnin həlli. Lövbər dövrəsindən axan nominal cərəyan

$$I_{Ln}=I_n-I_T=I_n-\frac{220}{43,2} = 634,9 \text{ A}$$

Nominal fırlanma sürətində lövbər dolağında yaranan əks e.h.q.

$$E_n=U_n-I_{Ln} \cdot r_L=220-634,9 \cdot 0,00725=215,3 \text{ V}.$$

Nominal elektromaqnit güc

$$P_{em.n} E_n I_{Ln} = 215,3 \cdot 634,9 = 136500 \text{ Vt} = 136,5 \text{ kVt.}$$

Nominal rejimdə fırlandırıcı moment

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{P_{em.n}}{n_n} = 9,55 \cdot \frac{136500}{600} = 2180 \text{ Hm}$$

İdeal yüksüz işləmə rejimində ($U_n = E_0$) lövbərin fırlanma sürət

$$n_0 = \frac{U_n}{c_e \Phi}$$

Nominal yükdə fırlanma sürəti

$$n_{0n} = \frac{E_n}{c_e \Phi}$$

Nisbət götürsək, taparıq ki:

$$n_0 = \frac{U_n}{E_e} \cdot n_n = \frac{220}{215,3} \cdot 600 = 615 \text{ dövr/dəq}$$

İşə düşmə anında lövbər cərəyanı:

$$I_{i.d} = \frac{U_n}{r_L} = \frac{220}{0,00725} = 30340 \text{ A}$$

Fəslə aid yoxlama sualları və məsələlər

1. Sabit cərəyan maşınlarının əsas hissələrinin vəzifəsini izah edin.
2. Nə üçün təcrübədə ardıcıl təsirlənən generatorlardan istifadə etmirlər?
3. Lövbər reaksiyası generatorun işinə necə təsir edir?
4. Sabit cərəyan maşınında kommutasiya hadisəsi nədir və onu necə yaxşılaşdırmaq olar?
5. Generatorun özütəsirlənmə prinsipini izah edin
6. Sabit cərəyan maşınının e.h.q. və elektromaqnit momenti düsturlarını çıxarın.

7. Qarışıq təsirlənən generatorun xarici xarakteristikasını çəkin.

8. Nə üçün paralel təsirlənən generatorda təsirlənmə dolağını lövbərə düzgün qoşmadıqda generator işləyə bilməz?

9. Paralel təsirlənən generator nominal $I_n=200$ A cərəyanda $U_n=230$ V nominal gərginlik yaradır. Lövbər dövrəsinin müqaviməti $r_L=0,1$ Om, təsirlənmə dövrəsinin müqaviməti $r_T=46$ Om. Mexaniki güc itkiləri $\Delta P_{Mex}=800$ Vt, maqnit itkiləri $\Delta P_M=1200$ Vt. Generatorun f.i.ə.-nı və ilkin mühərrikin gücünü tapmalı.

10. Paralel təsirlənməli mühərrikin nominal verilənləri belədir: $U_n=220$ V, $I_n=100$ A, $n_n=1400$ dövr/dəq, $r_L=0,2$ Om , $r_T=110$ Om. Mühərrikin yüksüz işləməsi zamanı tələb etdiyi güc $P_0=1,1$ kVt. Mühərrikin nominal gücünü, yüksüz işləmədə fırlanma sürətini tapmalı.

11. Kollektorlu mühərrikin iş prinsipini izah etməli.

VII FƏSİL

ALTERNATİV ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

7.1. Məhsulların enerji tutumuna görə qiymətləndirilməsi

Enerjinin növləri və enerji tutumlu məhsullar

I. Enerjinin növləri:

1. Kinetik enerji – bu enerji cismin hərəkəti zamanı malik olduğu enerjidir.

2. Potensial enerji – cismin qarşılıqlı vəziyyətində sistem bir haldan başqahala keçdikdə və cismin sukünət halında malik olduğu enerjidir.

3. Mexaniki enerji – bu enerji mexaniki iş görən enerjidir.

4. Işıq enerjisi – işıq şualarının malik olduğu enerjidir.

5. Elektrik enerjisi – bu enerji istiqamətlənmiş hərəkətdə olan yüklü hissəciklərin enerjisidir.

6. İstilik enerjisi və i.a. – maddənin temperaturdan asılı olaraq malik olduğu enerjidir.

II. Eneji tutumlu maddələr:

1. Neft
2. Qaz
3. Atom (uran)
4. Torf və i.a.

7.2. Enerji mənbələrinin enerji tutumuna görə müqayisəsi

1980 – ci il hesabatlarına görə dünyada ildə $37 \cdot 10^9$ ton şərti yanacaqdan istifadə edilir. Bu şərti yanacaqdan $Q = 10^{22}$ Coul enerji və ya $Q = 0,25 \cdot 10^{18}$ kal. istilik alınır. Bu enerjinin il ərzində 30 %-dən istifadə olunur. Bir il müddətində Günəş Yerə $Q_{\text{gün}} = 10^{22} \cdot 1500$ Coul miqdarında enerji göndərir. Yəni il ərzində dünyada hasil edilən enerjiden Yerə 1500 dəfə çox işıq enerjisi düşür. 1977–ci ildə Türkiyənin İstanbul şəhərində keçirilən dünya energetiklərinin konqresində belə nəticəyə gəlinmişdir ki, yaxın 20...30 il müddətində dünya əhalisinin enerji tələbatı il ərzində 1980–ci il səviyyəsindən 8...10 dəfə çox olacaqdır.

Müasir elmi-texniki araşdırmalar atom enerjisindən istifadəyə daha böyük üstünlüklər verir. Atom enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsinin faydalı iş əmsalı (f.i.ə.) 30...33 %-dir. Belə müqayisə aparaq: istilik elektrik stansiyalarında istehsal olunan enerjinin 70 %-i yanacağa, 30 %-i isə texniki qurğuya və əmək haqqına sərf olunursa, atom elektrik stansiyalarında yanacağa sərf olunan pay 25...33 %-dir. Elə bu göstəriciyə görə atom enerjisindən istifadə iqtisadi baxımdan daha əlverişli hesab edilir. Nəzərə alsaq ki, atom reaktorundan ayrılan istilik yüksək temperaturdadır. Onda xüsusi (beton

konstruksiyalar istehsalında) texnoloji proseslərdən istifadə etmək daha səmərəli hesab olunur. Lakin belə enerji mənbələrinin yaradılması və ondan elektrik, həm də istilik enerjisinin alınması mürəkkəb beynəlxalq məsələlərin həlli ilə müşayiət olunur.

Bu təhlillərdən də göründüyü kimi, gələcəkdə yeni alternativ enerji mənbələrinin tapılması və onlardan istifadənin həyata keçirilməsi ölkələrin iqtisadi inkişafına və əhalinin sosial şəraitlərinin yüksəldilməsinə gətirib çıxaracaqdır.

Elektrik enerjisinin ötürülməsi, digər enerji növünə çevrilməsi asan və ucuz başa gəldiyindən müasir dünyada bu enerji növündən istifadə daha geniş yayılmışdır. Gələcəkdə biz elektrik enerji mənbələri ilə məsələlərə daha geniş diqqət yetirəcəyik.

7.3. Alternativ enerji mənbələri və onlardan istifadənin istiqamətləri

Ənənəvi enerji mənbələrindən başqa, digər enerji istehsal edən qurğu, obyekt, müəssisə alternativ enerji mənbəyi hesab olunur.

Alternativ enerji mənbələri aşağıdakılardır:

- Dağ çayları və suvarma kanallarının enerji potensiallarından istifadə edən kiçik güclü su elektrik stansiyaları;
- Külək enerji potensialı ilə işləyən külək elektrik stansiyaları;
- Binaların qızdırılması üçün istifadə olunan günəş kollektorları;
- Geotermal su mənbələrinin enerjisindən istifadə etməklə işləyən istilik stansiyaları və istilik məntəqələri;
- Dəniz-dalğa enerji potensialının elektrik enerjisinə çevirən elektrik stansiyaları;

- Sənaye, kənd təsərrüfatı, məişət tullantıları və biokütlə ilə işləyən kiçik güclü istilik elektrik stansiyaları;
- Fotoelementlərin tətbiqi ilə işləyən kiçik güclü elektrik stansiyaları və digərləri.

Alternativ enerji mənbələrindən əsasən elektrik və istilik enerjisinin alınması istiqaməti daha faydalı hesab olunur.

7.4. Alternativ enerji mənbələrinin sinifləşdirilməsi

Alternativ enerji mənbələrinin müqayisəli təhlili aşağıdakı kriteriyalara uyğun aparılır:

1. İstifadə etdiyi yanacağıın və ya enerjinin növünə görə
2. İstehsal olunan enerjinin növünə görə
3. Texniki-iqtisadi göstəricilərinə görə
4. Ekoloji təmizliyə görə

I. Alternativ enerji mənbələri aşağıdakı enerji növlərini istehsal

edə bilər.

- Elektrik enerjisi
- İstilik enerjisi
- Mexaniki enerji və i.a.

II. Alternativ enerji mənbələrinin gücləri aşağıdakılardır

- Çox güclü – 250 kVt – a qədər
- Kiçik güclü – 250...1000 kVt
- Orta güclü – 1...5 MVt
- Böyük güclü – 5 MVt –dan artıq.

III. Texniki – iqtisadi göstəriciləri

- İl ərzində istifadə saatları
- Dayanıqlığı
- İnvestisiya qoyuluşu
- Ödəmə müddəti

IV. Ekoloji təmizliyə görə

- Oksigen sərfi

- Yanmaya sərf olunan havanın miqdarı
- Tikinti sahəsi.

7.5.Alternativ enerji mənbələrinin texniki iqtisadi göstəricilərinin hesabat metodikası

Alternativ enerji mənbəyinin texniki və işçi layihəsinin hazırlanması işi aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir.

1. Texniki göstəricilərin hazırlanması.
2. İqtisadi hesabatın işlənməsi.
3. Biznes planının tərtibi.

Texniki göstəricilərin hazırlanması üçün ilkin göstəricilər müəyyən edilməli, ilin ayları və günləri üzrə mənbəyin işləmə vaxtı tapılmalıdır. İlkin enerji yaradan materialların enerji çeviriciyə qədər olan hissədəki konstruktiv quruluşlar müəyyən edilməlidir. Daha sonra generatora qədər olan hissədəki ilkin enerji yaradan materialdakı itkilər nəzərə alınmalıdır. Bundan sonra enerji çeviricilərinin sayı və gücləri seçilməlidir. İnşaat quraşdırma işlərinin həcmi müəyyən edilməlidir Bu işlər bir neçə variantda yerinə yetirilməlidir.

İqtisadi hesabatda enerji mənbəyinin bir neçə variantda avadanlığının və inşaat quraşdırma işlərinin dəyəri, istehsal olunacaq məhsulun həcmi, maya dəyəri və satışdan əldə olunacaq ümumi məbləğ müəyyən edilir.

Biznes planının tərtibində istehsalın bütün istiqamətləri üzrə mədaxil məbləği hesablanır. Məxaric hissəsində layihənin hazırlanmasına onu tikəcək qrupun əmək haqqının, avadanlığın alınmasına və gətirilməsinə, texniki-quraşdırma işlərinin aparılmasına, mənbəyin istismarına onun amortizasiya, təmirinə, vergi və bank xidmətlərinə sərf olunan məsrəflər tapılır. Bu qiymətlər əsasında layihələrdən əldə olunacaq xalis gəlir məhsul istehsalının rentabelliğini, tələb olunan investisiya qoyuluşu, ümumi rentabellik, investisiya qoyuluşunun effektivliyi və investisiya qoyuluşunun ödəmə müddəti müəyyən edilir.Qeyd

edilən metodika əsasında ən optimal göstəricilərə malik layihələr seçilir.

7.6. Alternativ enerji mənbələrinin ekoloji göstəricilərə görə qiymətləndirilməsi

Dünyada hər il atmosferə enerji mənbələrinin istismarı nəticəsində küllü miqdarda müxtəlif maddələr tullanır. Görünür ki, atom enerjisi mənbəyinin texniki layihəsi, digər mənbələrlə müqayisədə daha çox ekoloji üstünlüyə malikdir.

Kömür yanacağında idarə olunmayan reaktiv tullantılar atom enerjisinə nisbətən 400 dəfə çoxdur, eyni zamanda zərərli maddələr çoxluq təşkil edir və “İstilik” çirklənməsi də atom enerjisi mənbəyində daha çoxdur. Bu isə atmosferdə iqlim tarazlığının pozulmasına səbəb olur. Hər il bir MVt elektrik gücünə düşən ətraf mühitə tullanan müxtəlif maddələrin miqdarı aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 7.1

S.Nö	Tullantıların adları	Ölçü vahidi	İstilik və atom elektrik stansiyaları		
			kömür	mazut	atom
1.	Oksigen sərfi	min ton	8	8	—
2.	CO ₂	min ton	10	10	—
3.	O ₂	min ton	140	55	—
4.	NO ₂ – azot oksidi	min ton	20	20	—
5.	Uçucu kül	min ton	5	0,7	—
6.	CO – karbon oksidi	min ton	0,5	0,01	—

7.	Toz şəkilli tullantı	min ton	350	—	—
8.	Yanmaya sərf olunan hava	10^6 m^3	29	29	—
9.	Aktiv maddələrə qarışdırılan hava	10^6 m^3	500	1,6	0,08
10.	Tikinti sahəsi	100 m^2	1,2...1,4	0,15...0,5	0,3...0,5

İstilik tutumlu enerji mənbələrinin istilik tutumlarının müəyyən edilmə metodikası əsasında tullantının istilik tutumunun müəyyən edilməsi

Aqrar sahə tullantılarının enerji tutumuna görə sinifləşdirilməsi

Tullantılar sənaye (istehsalat) və qeyri sənaye (işlənən, sərf edilən) tipli olur. Enerji mənbəyi kimi istifadə olunmasına görə olurlar:

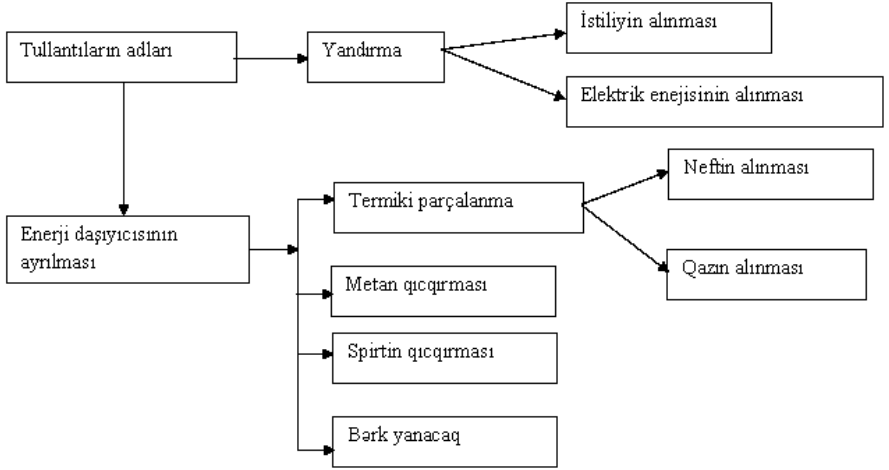
1. Qeyri üzvü;
2. Parçalanmayan üzvü tullantılar;
3. Parçalanan üzvü tullantılar;
4. Üzvü və qeyri üzvü tullantıların qarışığı.

Elmi tədqiqat institutunun göstəricisinə görə, Azərbaycanda biokütlənin həcmi (parçalanan üzvü tullantılar) hansı ki, enerji məhsulu kimi istifadə oluna bilər. 200 min tondur. Bunun 60 % –i meşə və kənd təsərrüfatı məhsulları təşkil edir. 20 % –i isə məişət və 20 % –i istehsalat tullantılarıdır. Azərbaycanda hər il peyin yığımının həcmi:

- | | |
|--------------------------|---------------|
| 1. İri buynuzlu mal-qara | 120 min ton; |
| 2. Donuz | 32,5 min ton; |
| 3. Qoyun və keçi | 7,6 min ton; |
| 4. Quşlar | 7,5 min ton. |

Parçalanmayan üzvü tullantılar ancaq sənaye tullantılarının həcmi 1,0 min ton olur. Onların tərkibi (2005 – ci ildə, min tonla) aşağıdakı kimidir.

Növü



Cədvəl 7.2.

	Miqdarı	Emal olunub	Emal dərəcəsi
1. Köhnə şinlər	870	44	5 %
2. Plastmaslar	693	76,23	11 %
3. Sintetik lifli materiallar	335	-	-

Bir çox hallarda tullantıların material emalı iqtisadi əlverişli olur. Belə hallarda tullantıların energetik emalı daha iqtisadi səmərəli olur. Xüsusilə bu çirklənmiş üzvü maddə və materiallara aiddir (Plastmas, kağız, karton və ağac tullantıları). Energetik resurs kimi əsasən kənd təsərrüfatı tullantılarından (peyin) istifadə olunur.

Tullantılardan enerjinin alınma üsulları

Tullantılardan enerjinin alınma üsulları əsasən iki böyük qrupa bölünür:

1. Saxlanan və daşına bilən enerji tullantılarından enerjinin alınması.

2. Tullantıları yandırmaqla istiliyin alınması və ondan enerji istehsalı.

Birinci üsul parçalanan və parçalanmayan üzvü tullantıların emalında istifadə olunur. Sonradan bunlardan qaz, maye və bərk yanacaq alınır.

Metan qıvcırması

Bu üsulun əsasını xüsusi mikrobların fəaliyyəti ilə üzvü tullantılardan qızmış qaz çıxarılması tutur. Qazın 60 % metan tutur ki, istiliyi 5...6 min m³-dir. Emal olunan tullantı qızdırılmaya (bəzi hallarda kübrə istehsalın) gedir.

Aşağı temperaturda qıvcırma prosesi azalır, ayrılan qazın həcmi azalır. Bu qusuru aradan qaldırmaq üçün müxtəlif metodlardan istifadə olunur. Məs. günəş enerjisindən istifadə etməklə qıvcırma intensivliyi yüksəldilir. Aşağıda iki növ metan qıvcırması modifikasiyası göstərilmişdir.

İki çən üsulu

Bu üsulda iki növ bakteriyadan istifadə olunur: a) oksidləşmə üçün (sı-xılma) və metan qıvcırması üçün (qazlaşdırma prosesi). İki sıralı bakteriyalaşdırma üsulundan qazlaşdırma prosesi sürətlə alınır. Bu üsulda bir kq – dan 200...250 L/kq qaz alınır. Bu üsulda qazlaşdırma vaxtı iki dəfə, avadanlığın tutduğu sahə isə 40 % azalır.

Günəş istilik enerjisindən istifadə etməklə termiki parçalanma

Soyuq iqlimli və qıvcırma üçün isti su olmayan yerlərdə günəş enerji kollektorundan istifadə etməklə, qazların alınması üsulu tətbiq olunur. Bu üsuldən xarici atmosfer temperaturu 01°S olduqda belə istifadə olunur.

Turşusuz və az turşulu atmosferdə üzvü tullantılar $500\dots 1000^{\circ}\text{S}$ qızdırıldıqda parçalanır və ondan maye CH və qızmış qaz yaranır. Bu üsuldən ətraf mühit çirklənmir və toplanan, həmçinin, nəql etdirilə bilən enerji daşıyıcısı alınır.

İki qülləli sirkulyasiya üsulu

Bu üsulda tullantıların bir qismi bir zonada yandırılır, alınan istilik başqa zonaya ötürülür və burada tullantıların termiki parçalanma prosesi aparılır.

İki qüllə usulunda çox çətin parçalanan üzvü tullantılar emal oluna bilər (məs. plastmaslar).

Bir ton məişət tullantısından 74 m^3 qaz alınır ki, onun kalorisi $5\dots 6\text{ kkal/m}^3$ olur.

Bərk yanacaq tullantılarının emalı

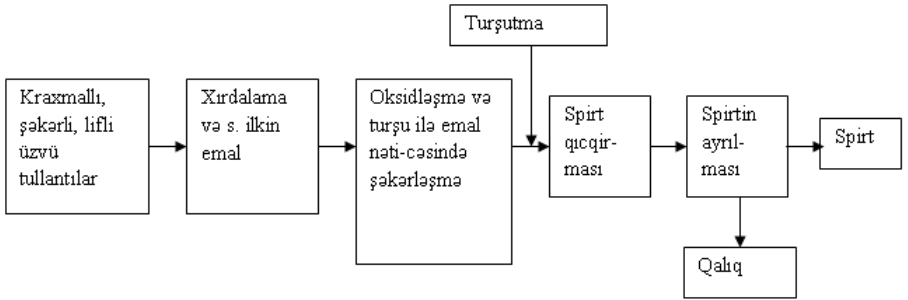
Bu metod daha cəlbedicidir. Burada bərk yanacaq dorğanır və xırdalanır. Az istilik tutumlu (az kalorili) yanacaq yüksək kalorili yanacaqqla qarışdırılır ki, eyni cinsli tullantı (yanacaq) alınsın. Bərk yanacaq saxlandığı və nəql etdirildiyinə görə, bu üsul daha perspektivlidir. Tullantının emalı sadədir. Lakin bərk tullantıların müxtəlif olması ilə əlaqədar onun emala hazırlanması prosesi mürəkkəbləşir Əsasən, metal qırıntıları,

ağac tullantıları (opilka), qırıq plastikalar və başqa qızmış qarışıqlar emal oluna bilər.

Spiritin alınmasının qıvcırma üsulu texnologiyası

Biokütlədən etil spirtinin istehsalı üçün və onun yanacaq kimi istifadə olunması məqsədilə istehsal üsulu çox aktual və perspektivlidir. Bu neftin alternatividir. Ona görə bir sıra tullantılardan (kağız və ağac qırıntıları, kənd təsərrüfatı tullantıları) spirt alınma texnologiyası hazırlanır.

Bu proses bir min ton qlükozanı hər il sərf etmədən həmin miqdarda spirt almağa imkan verir. Hesablamalara görə, 1,17 min ton makulaturdan 840 min ton qlükoza almaq olur. Lakin belə sənaye istehsal texnologiyası hazırlanmayıb. Həmçinin, tullantılardan emal məhsullarının alınması, qıvcırmaya mane olan qarışıqların seçilməsi çətin problemlərdir. Spirt alınması üçün tullantıların emalı texnoloji sxemi aşağıda göstərilmişdir.



Bioenerji

Bioenerjidən alınan istilik odunun istiliyindən çoxdur. Bioenerjidən çox qədim zamanlardan istifadə olunur.

Müxtəlif növ bioloji kütlənin köməyi ilə alınan qazlara bioqaz deyilir.

Ağacların yaşıl yarpaqları günəş şualarının fotosintezinin köməyi ilə yaşıl kütlə xlorofil istehsal olunur. Fotosintez nəticəsində sadə kimyəvi maddələr karbon qazı və suya çevrilir və oksigen ayrılır.

Fotosintez–bioloji prosesin enerji əsasıdır. Fotosintez prosesinə əsaslanan günəş enerjisi milyon illərə tədarük oluna bilər. Dünya miqyasında ümumi dünya enerjisinin 15 %-i istifadə olunur. Biokütlə fotosintez nəticəsində özü enerji mənbəyinə çevrilir. Adətən bu, istilik enerjisi olur. Ancaq biokütlədən, elektrik enerjisi və duru yanacaq istehsal etmək mümkündür.

Biokütlənin ən geniş yayılan növü kağız tullantıları, ağac kəpəyidir.

İl ərzində dünyada 130 milyard ton quru yanacaq, bu il ərzində 660000 kVt.saat enerjiyə ekvivalentdir. Dünyada il ərzində bioenerji tələbatı 15000 kVt.saatdır. Dünya əhalisinin yarısı biokütlədən istifadə edərək enerji istehsal edir.

Elektrotexnika fənnindən test sualları

1. Aşağıdakı kəmiyyətlərdən hansının qiyməti naqilin materialının növündən asılıdır?

- A) Xüsusi müqavimətin**
- B) Cərəyanın
- C) Müqavimətin
- D) E.h.q.-nin
- E) Gərginliyin

2. Metal naqillər hansı əlamətlərinə görə başqa keçiricilərdən fərqlənirlər?

- A) Onlarda sərbəst ionların olması ilə
- B) Sərbəst elektronların olması ilə**
- C) Sərbəst ionların və elektronların olmaları ilə
- D) Sərbəst ionların və elektronların olmaması ilə
- E) Keçiriciliyin az olması ilə

3. Xətti müqavimət nədən asılı olaraq dəyişə bilər?

- A) Gərginlikdən
- B) Cərəyandan
- C) Temperaturdan**
- D) E.h.q.-dən
- E) Gücdən

4. Xüsusi müqavimətin vahidi nədir?

- A) $\text{Om}\cdot\text{m}^2$
- B) $\text{Om}\cdot\text{m}$**
- C) Om/m
- D) Om/m^2
- E) m^2/Om

5. Dövrə hissəsinin ümumi müqavimətini tapmalı:

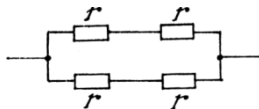
A) $4r$

B) $2r$

C) r

D) $1,5r$

E) $2,5r$



6. Gərginliyin ölçü vahidi hansı kəmiyyətin ölçü vahidi ilə eynidir?

A) Elektrik sahə intensivliyinin

B) Mənbəyin e.h.q.-nin

C) İşin

D) Cərəyanın

E) Gücün

7. Dövrə hissəsinin uclarında gərginliyin 4 dəfə artmasında cərəyanın qiyməti:

A) Dəyişmir

B) 4 dəfə azalır

C) 4 dəfə artır

D) 2 dəfə artır

E) 2 dəfə azalır

8. Gərginliyin və cərəyanın verilən qiymətlərinə görə müqavimət hansı düsturla təyin edilir?

A) IU

B) $\frac{I}{U}$

C) $\frac{U}{I}$

D) $\frac{UI}{2}$

E) $\frac{2}{UI}$

9. Naqilin uclarında gərginlik 3 dəfə artırıldıqda onun müqaviməti....

A) 3 dəfə artır

B) 3 dəfə azalır

C) Dəyişmir

D) 1,5 dəfə artır

E) 2 dəfə artır

10. Müqavimətlərin hansı birləşməsi üçün aşağıdakı münasibətlər doğrudur?

$$I = \text{const}; U = \sum_{i=1}^n U_i \quad r_{\text{üm}} = \sum_{i=1}^n r_i$$

A) Ardıcıl

B) Paralel

C) Qarışıq

D) Üçbucaq

E) Ulduz

11. Müqavimətlərin hansı birləşməsində aşağıdakı münasibətlər doğrudur?

$$U = const; I = \sum_{k=1}^n I_k; \frac{1}{r_{\text{üm}}} = \sum_{k=1}^n 1/r_k$$

- A) Ardıcıl
- B) Paralel**
- C) Qarışıq
- D) Ulduz
- E) Üçbucaq

12. Hansı halda mənbəyin sıxaclarına birləşdirilən voltmetrin göstərişi mənbəyin e.h.q.-ni verir?

- A) Qısaqapanma rejimində
- B) Yüklü rejimdə
- C) Yüksüz rejimdə**
- D) Bütün hallarda
- E) Normal iş rejimlərində

13. Gücü $P=60 \text{ Vt}$ olan közərmə lampasında gərginlik $U = 120 \text{ V}$ -dur. Lampanın müqavimətini tapmalı:

- A) 20 Om
- B) 120 Om
- C) 240 V**
- D) 220 Om
- E) 150 Om

14. $r_3 = 3 \text{ Om}$ müqavimətindən keçən cərəyan

$I_3 = 3 \text{ A}$ -dir. Paralel birləşmədəki r_1 və r_2 müqavimətlərindən keçən cərəyanları tapmalı.

$r_1 = 1 \text{ Om}$, $r_2 = 2 \text{ Om}$ -dur.

- A) 1 A və 2 A
- B) 2 A və 1 A**
- C) 1,5 A və 1,5 A
- D) 3 A və 3 A
- E) 2 A və 1,5 A

15. Daxili müqaviməti 2 Om olan mənbəyə müqaviməti 8 Om olan reostat qoşulmuşdur. Dövrənin f.i.ə. nəyə bərabərdir?

- A) 20 %
- B) 40 %
- C) 60 %
- D) 80 %**
- E) 90%

16. $I = 5 \text{ A}$ cərəyan axan, sabit cərəyan dövrəsinə qoşulmuş müqaviməti $r = 100 \text{ Om}$ olan lampanın gücünü tapmalı?

- A) 100 Vt
- B) 500 Vt
- C) 2500 Vt**
- D) 5000 Vt
- E) 7000 Vt

17. Dövrədə ümumi cərəyan hansı düsturla hesablanır?

A) $I = U \frac{r_1+r_2}{r_1 \cdot r_2}$

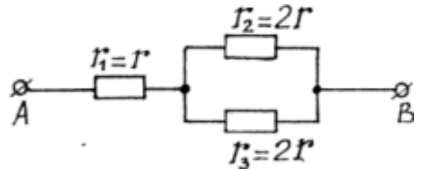
B) $I = U \frac{r_1+r_2+r_4}{r_1 \cdot r_2 \cdot r_4}$

C) $I = \frac{U}{r_1+r_1}$

D) $I = \frac{U}{r_3+r_4}$

E) $I = \frac{U}{r_2+r_3}$

18. İki elektrik dövrəsində cərəyanlar və mənbələrin e.h.q. eyni, daxili müqavimətləri isə müxtəlifdir. Bu



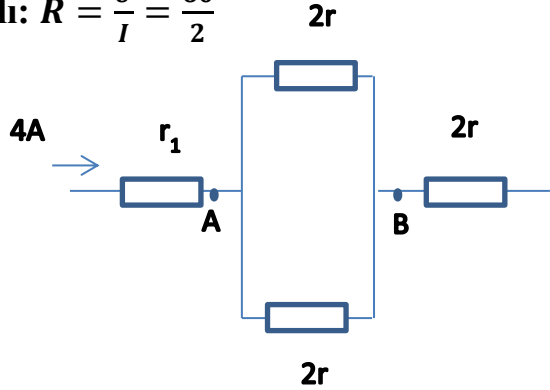
mənbələrdən hansının f.i.ə. böyükdür?

- A) F.i.ə. hər iki mənbə üçün eynidir
- B) Daxili müqaviməti böyük olan mənbəyin
- C) Daxili müqaviməti kiçik olan mənbəyin
- D) Hər iki dövrədə f.i.ə. sifıra bərabərdir
- E) F.i.ə. hər iki mənbə üçün böyükdür

19. Sxemdə A və B sıxacları arasındakı gərginlik 60 V-dur. R_2 müqavimətindəki gərginlik

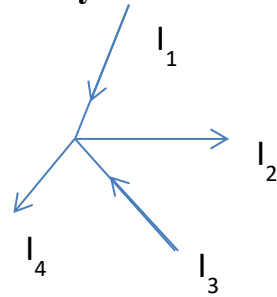
düşküsünü tapmalı: $R = \frac{U}{I} = \frac{60}{2}$

- A) 60 V
- D) 7,5 V
- E) 8 V
- B) 30 V**
- C) 15 V



20. Kirxhofun I qanununa görə A düyün nöqtəsi üçün yazılan tənliklərdən hansı düz deyil?

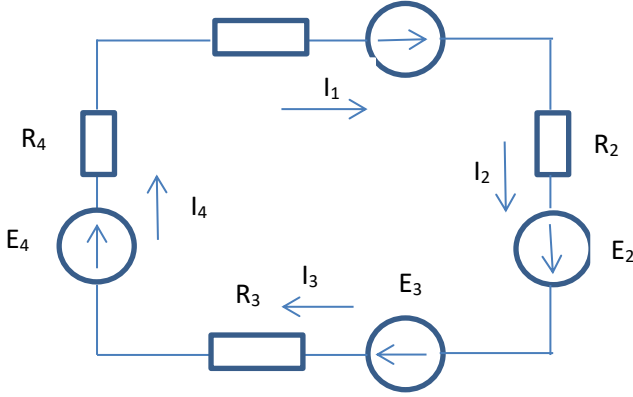
- A) $I_1 + I_2 = I_3 + I_4$
- B) $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$
- C) $I_3 + I_4 - I_1 - I_2 = 0$
- D) $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$**
- E) $I_1 + I_3 = I_2 + I_4 = 0$



21. Verilən kontur mürəkkəb sabit cərəyan dövrəsinə daxildir. Bu kontur üçün Kirxhofun II qanuna görə tənlik tərtib etməli.

R_1

E_1



- A) $E_1 + E_2 + E_3 - E_4 = r_1 I_1 - r_2 I_2 + r_3 I_3 + r_4 I_4$
 B) $E_1 - E_2 - E_3 - E_4 = r_1 I_1 + r_2 I_2 - r_3 I_3 + r_4 I_4$
 C) $E_1 - E_2 + E_3 - E_4 = r_1 I_1 + r_2 I_2 + r_3 I_3 + r_4 I_4$
 D) $E_1 - E_2 + E_3 - E_4 = r_1 I_1 - r_2 I_2 + r_3 I_3 + r_4 I_4$
 E) $E_1 + E_2 - E_3 + E_4 = r_1 I_1 - r_2 I_2 - r_3 I_3 - r_4 I_4$

22. Kirxhof qanunlarına görə yazılması lazım olan tənliklərin sayı nəyə görə müəyyən olunur?

- A) Düyünlərin sayına görə
 B) Konturların sayına görə
 C) Budaqların sayına görə
 D) Dövrədəki mənbələrin sayına görə
 E) Gərginliyin sayına görə

23. Kontur cərəyanları metodunda tərtib olunan tənliklərin sayı nə qədər olmalıdır?

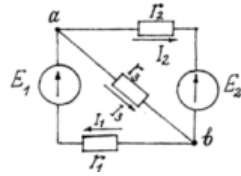
- A) Sərbəst konturların sayı qədər
 B) Düyün nöqtələrinin sayı qədər

C) Budaqların sayından asılıdır

D) Düyün nöqtələrinin və konturların ümumi sayı qədər

E) Konturların sayı qədər

24. Elektrik dövrəsinin budaqlarındakı cərəyanları tapmaq üçün aşağıdakı sistem tənliklərin hansından istifadə etmək lazımdır?



$$A) \begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 = r_1 I_1 + r_3 I_3 ; \\ E_2 = -r_2 I_2 + r_3 I_3 \end{cases}$$

$$B) \begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ E_1 = r_1 I_1 + r_3 I_3 ; \\ I_2 + I_3 - I_1 = 0 \end{cases}$$

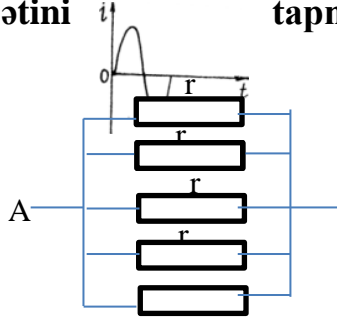
$$C) \begin{cases} E_1 = r_1 I_1 + r_3 I_3 \\ E_2 = -r_2 I_2 + r_3 I_3 \\ E_1 - E_2 = r_1 I_1 + r_2 I_2 \end{cases}$$

$$D) \begin{cases} E_1 = r_1 I_1 + r_3 I_3 \\ E_1 - E_2 = r_1 I_1 + r_2 I_2 \end{cases}$$

$$E) \begin{cases} E_2 = r_1 I_1 - r_3 I_3 \\ E_2 = -r_2 I_2 + r_3 I_3 \\ E_2 - E_1 = r_2 I_2 + r_1 I_1 \end{cases}$$

25. Beş eyni müqavimətli rezistorun birləşdikləri dövrə hissəsinin ümumi müqaviməti 15 Om-dur. Bir rezistorun müqavimətini tapmalı:

- A) 3 Om
- B) 75 Om
- C) 42 Om
- D) 18 Om**
- E) 20 Om

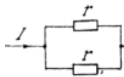


26. Dəyişən cərəyan dövrəsində voltmetrin göstərişi gərginliyin hansı qiymətinə uyğundur?

- A) Amplitud
- B) Orta
- C) Təsiredici**
- D) Ani
- E) Orta düzlənmiş

27. Şəbəkədə gərginlik 220 V-dur. Bu gərginliyin hansı qiymətidir?

- A) Amplitud
- B) Təsiredici**
- C) Ani
- D) Orta
- E) Orta düzlənmiş



28. Cərəyanın sinusoidi şəkildə göstərilmişdir. T zamanının hansı qiymətində cərəyanın ani qiyməti müsbət maksimuma çatır?

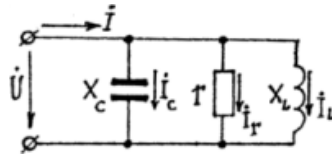
A) $t = \frac{T}{2}$

B) $t = \frac{T}{8}$

C) $t=T$;

D) $t = \frac{T}{4}$

E) $t = \frac{T}{3}$



29. Dəyişən cərəyanın təsiredici qiyməti ilə amplitud qiyməti arasındakı əlaqə necə ifadə olunur?

A) $I = \sqrt{2}I_m$

B) $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

C) $I = \frac{I_m}{2}$

D) $I = \frac{\sqrt{2}}{I_m}$

E) $I = \frac{2\pi}{I_m}$

30. Dəyişən cərəyanın orta qiyməti ilə amplitud qiyməti arasında əlaqə necə ifadə olunur?

A) $I_{or} = \frac{2}{\pi}I_m$

B) $I_{or} = \frac{I_m}{2}$

C) $I_{or} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

D) $I_{or} = \frac{2\pi}{I_m}$

E) $I_{or} = \frac{I_m}{2\pi}$

31. İdeal rezistiv element olan dəyişən cərəyan dövrəsində gərginlik sinusoidi ilə cərəyan sinusoidi fazaca hansı bucaq qədər fərqlənirlər?

A) Gərginlik sinusoidi ilə cərəyan sinusoidi fazaca fərqlənmirlər – üst-üstə düşürlər

B) Gərginlik sinusoidi cərəyan sinusoidini fazaca qədər qabaqlayır

C) Gərginlik sinusoidi fazaca cərəyan sinusoidindən qədər geri qalır

D) Cərəyanın dəyişmə tezliyindən asılıdır

E) 180° fərqlənir

32. Aktiv müqavimət olan dəyişən cərəyan dövrəsində elektrik cərəyanı enerjisi hansı enerjiyə çevrilir?

A) İstilik enerjisinə

B) Maqnit sahəsi enerjisinə

C) Elektrik sahəsi enerjisinə

D)Günəş enerjisinə

E) Adi çəkilən enerjilərin hamısına

33. Sinusoidal cərəyanın təsiredici qiymətinin təyin edilməsi üçün hansı düsturun yazılmasında səhv vardır?

A) $I^2 r T = \int_0^T i dt$

B) $I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt}$

C) $I = \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt}$

D) $I r T = \int_0^T i dt$

E) Bütün düsturlar düz yazılmışdır

34. 50 Hs tezlikli dəyişən cərəyan dövrəsində induktiv müqavimət 60 Om-dursa, sarğacın induktivliyi nə qədərdir?

A) 0,2 Hn

B) 0,25 Hn

C) 0,01 Hn

D) 1 Hn

E) 1,5 Hn

35. Dəyişən cərəyanın tezliyini 2 dəfə azaltdıqda tutum müqaviməti necə dəyişər?

A) 2 dəfə azalar

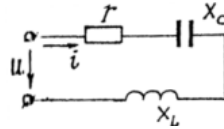
B) 2 dəfə artır

C) $\sqrt{2}$ dəfə artır

D) $\sqrt{2}$ dəfə azalır

E) Dəyişməz

36. Dövrənin sığacları arasında gərginlik $u = 120 \sin 100 t$ qanunu ilə dəyişir. Dövrəyə qoşulmuş $L = 0,5$ Hn induktivlikli sarğacın induktiv müqavimətini tapmalı:



A) 20 Om

B) 30 Om

C) 40 Om

D) 50 Om

E) 60 Om

37. Tezliyi 50 % azaltdıqda və sarğacın induktivliyini 2 dəfə artırdıqda dəyişən cərəyan dövrənin induktiv müqaviməti necə dəyişər?

A) 2 dəfə artır

B) 2 dəfə azalar

C) Dəyişməz

D) 4 dəfə artır

E) 3 dəfə artır

38. r və L elementlərinin ardıcıl birləşdikləri dəyişən cərəyan dövrəsi üçün aşağıdakı ifadələrin hansında səhv buraxılmışdır?

A) $Z = r + jX_L$

B) $X_L = 2\pi fL$

C) $\cos\varphi = \frac{X_L}{r}$

D) $\omega = \frac{2\pi}{T}$

E) $\omega = 2\pi f$

39. Şəkildə göstərilən dəyişən cərəyan dövrəsi üçün aşağıdakı ifadələrin hansında səhv buraxılmışdır?

A) $\dot{U} = \dot{U}_r + \dot{U}_L + \dot{U}_C$

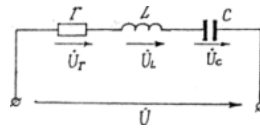
B) $Z = r + j(X_L - X_C)$

C) $X_C = 2\pi fC$

D) $X_L = 2\pi fL$

E) $L = \frac{x_l}{\omega}$

40. Dövrədə cərəyan $i = I_m \sin\omega t$ qanunu ilə dəyişir.



$X_L > X_C$ olarsa, aşağıdakı ifadələrdən hansı doğru olmaz?

A) $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$

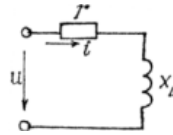
B) $u_L = U_{mL} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

C) $u_C = U_{mC} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

D) $u_r = U_{mr} \sin \omega t$.

E) $u = U_m \sin(\omega t - \varphi)$

41. $i = 10 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right)$



qanunu ilə dəyişən cərəyan amplitudunun kompleks ifadəsini tapmalı:

A) $\dot{U}_m = (8,65 + j5)V$

B) $\dot{U}_m = \frac{10}{\sqrt{2}}V$

C) $\dot{U}_m = (10 + j10)V$

D) $\dot{U}_m = (5 + j5)V$

E) $\dot{U}_m = (5 - j5)V$

42. Dövrənin (şəkildəki) tam müqaviməti hansı düsturla təyin edilir?

A) $Z = r + X_L + X_C$

B) $Z = r + (X_L - X_C)$

C) $Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}$

D) $Z = \sqrt{r^2 + (X_L + X_C)^2}$

E) $Z = r - (X_L - X_C)$;

43. Dövrədə (şəkildəki) gərginliklər rezonansı hansı şərt ödəndikdə yaranır?

A) $r = X_L - X_C$

B) $X_L = X_C$

C) $r = X_C - X_L$

$$D) Z = \sqrt{r^2 + (X_L + X_C)^2}$$

$$E) r = X_C + X_L$$

44. r, L və C elementlərinin ardıcıl birləşdikləri dəyişən cərəyan dövrəsində gərginliklər rezonansı hansı tezlikdə yaranır?

$$A) f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$B) f = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$C) f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$D) f = 2\pi(X_L + X_C)$$

$$E) f = 2\pi(X_L - X_C)$$

45. Dövrədə (şəkildəki) r və X_L müqavimətlərini 2 dəfə artırıqda güc əmsalı necə dəyişər?

A) 2 dəfə artar

B) 2 dəfə azalar

C) Dəyişməz qalar

D) 4 dəfə artar

E) 4 dəfə azalar

46. r və C elementlərinin ardıcıl birləşdikləri dəyişən cərəyan dövrəsində hansı səbəbdən gərginliklər üçün vektor diaqramı (şəkildə) 1 halından 2 halına keçər?

A) r – azalsa

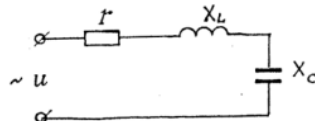
- B) f - azalsa
- C) f – artsa
- D) S – azalsa
- E) r –artsa

47. r və L elementlərinin ardıcıl birləşdikləri dəyişən cərəyan dövrəsində gərginlik fazaca...

- A) cərəyandan 90° geri qalır
- B) cərəyanı 90° qabaqlayır
- C) cərəyanla üst-üstə düşür ($\varphi = 0$)
- D) $\varphi < 90^\circ$ cərəyanı qabaqlayır
- E) $\varphi > 90^\circ$ qədər cərəyanı qabaqlayır

48. r və C elementlərinin ardıcıl birləşdikləri dəyişən cərəyan dövrəsində gərginlik fazaca...

- A) Cərəyanı 90° qabaqlayır
- B) Cərəyandan 90° geri qalır



- C) $\varphi < 90^\circ$ qədər cərəyandan geri qalır
- D) $\varphi < 90^\circ$ qədər cərəyanı qabaqlayır
- E) Cərəyanla üst-üstə düşür

49. Hansı cavab düz deyil?

İdeal C – elementli dəyişən cərəyan dövrəsində...

A) İş görülmür

B) Mənbəyin enerjisi maqnit sahəsi enerjisinə və əksinə çevrilir

C) Mənbəyin enerjisi elektrik sahəsi enerjisinə və əksinə çevrilir

D) Mənbəyin enerjisi istilik enerjisinə çevrilmir

E) Elektromaqnit sahə enerjisinə

50. Güc əmsalı hansı düsturla təyin edilə bilməz?

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

B) $\cos\varphi = \frac{r}{Z}$

C) $\cos\varphi = \frac{Q}{S}$

D) $\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}$

E) $\cos\varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}$

51. Hansı müddəə səhvdir? Dəyişən cərəyan dövrəsində...

A) Rezistiv element olduqda aktiv güc $P \neq 0$

B) İnduktiv element olduqda reaktiv güc $Q_L > 0$

C) Tutum element olduqda reaktiv güc $Q_C < 0$

D) Tam güc $S = \sqrt{P^2 - Q^2}$

$$E) S=P+jQ$$

52. Dövrənin aktiv keçiriciliyi ümumi halda hansı düsturla hesablanır?

$$A) g = \frac{1}{Z}$$

$$B) g = \frac{r}{Z}$$

$$C) g = \frac{r}{Z^2}$$

$$D) g = \frac{x}{Z}$$

$$E) g = \frac{x}{Z^2}$$

53. Dövrənin reaktiv keçiriciliyi ümumi halda hansı düsturla hesablanır?

$$A) b = \frac{1}{Z}$$

$$B) b = \frac{x}{Z^2}$$

$$C) b = \frac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}$$

$$D) g = \frac{x}{Z}$$

$$E) b = \frac{1}{y}$$

54. Dəyişən cərəyan dövrəsində tam güc hansı vahidlə ölçülür?

$$A) Vt$$

B) $Vt.saad$

C) V.A

D) Var

E) $Vt.san$

55. Dəyişən cərəyan dövrəsində ani güc hansı düsturla ifadə olunur?

A) $P = UI$

B) $p = u i$

C) $Q=UI$

D) $S=UI$

E) $S=P+jQ$

56. Dəyişən cərəyan dövrəsi üçün yazılmış düsturlardan hansı düz deyil?

A) $P= UI \cos \varphi$

B) $Q = UI \sin \varphi$

C) $S=P+Q$

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

E) $S=UI$

57. Səhv cavabı göstərin. Gərginliklər rezonansı rejimində...

A) $U_r = rI_{rez}$

B) $U_L = X_L I_{rez}$

C) $U_C = X_C I_{rez}$

D) $\cos \varphi=0$

E) $\cos \varphi=1$

58. Transformatorun pasportunda “250 kVA” göstərilib. Transformatorun güc əmsalı 0,8-dir. Nominal yüklənmədə aktiv gücü təyin etməli:

A) 50 kVt

B) 100 kVt

C) 150 kVt

D) 200 kVt

E) 250 kVt

59. Dəyişən cərəyanın amplitud qiyməti 14,1 A-dirsə, dövrəyə qoşulmuş ampermetr nə qədər cərəyan göstərir?

A) 14,1 A

B) 1 A

C) 1,41 A

D) 10 A

E) 1,4 A



60. Dövrə ardıcıl birləşmiş $r = 3 \text{ Om}$ və $X_L = 4 \text{ Om}$ müqavimətlərindən ibarətdir. Gərginliklə cərəyan arasındakı faza sürüşmə bucağını tapmalı:

A) $\varphi = \arccos \frac{3}{5}$

B) $\varphi = \arcsin \frac{3}{5}$

C) $\varphi = \arccos \frac{4}{5}$

D) $\varphi = \arccos \frac{3}{4}$

E) $\varphi = \arccos \frac{6}{4}$

61. Cərəyanın kompleks təsiredici qiyməti $\dot{I} = (16 + j12)A$ -dir. Cərəyanın təsiredici qiymətinin modulunu tapmalı:

A) 16 A

B) 12 A

C) 28 A

D) 20 A

E) 25 A

62. Cərəyanın hansı qiymətlərinin nisbətində forma əmsalı deyilir?

A) Təsiredici qiymətinin orta qiymətə nisbətində:

$$K = \frac{I}{I_{or}}$$

B) Təsiredici qiymətinin amplitud qiymətə nisbətində: $K = \frac{I}{I_m}$

C) Amplitud qiymətinin təsiredici qiymətə olan nisbətində: $K = \frac{I_m}{I}$

D) Amplitud qiymətinin orta qiymətə nisbətində: $K = \frac{I_m}{I_{or}}$

E) Orta qiymətin təsiredici qiymətə olan nisbətində:
 $K = \frac{I_{or}}{I}$

63. Dövrədə dəyişən cərəyanın amplitud qiyməti 14,1 A-dirsə ampermetrin göstərişi nə qədər olar?

A) 7 A

B) 10 A

C) 14,1 A

D) 28,2 A

E) 30 A

64. Tezliyi 50 Hz olan dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuş voltmetr 220 V gərginlik göstərir. Gərginliyin ani qiyməti hansı düsturla hesablanır?

A) $u = 220 \sin 314 t$

B) $u = 220\sqrt{2} \sin 314 t$

C) $u = \frac{220}{\sqrt{2}} \sin 314 t$

D) $u = 110 \sin 50 t$

E) $u = 127 \sin 314 t$

65. Aşağıdakı ifadələrdən hansı ümumi cərəyanı tapmaq üçün istifadə edilə bilməz (şəkil):

A) $\dot{I} = \dot{I}_C + \dot{I}_r + \dot{I}_L$

$$\text{B) } I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$\text{C) } I = U \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$$

$$\text{D) } I = \frac{\dot{U}}{r} - j \frac{\dot{U}}{X_L} + j \frac{\dot{U}}{X_C}$$

$$\text{E) } \dot{I} = \dot{I}_C - \dot{I}_r - \dot{I}_L$$

66. M düyün nöqtəsində (şəkildəki) I_1 və I_2 cərəyan kompleksləri: $\dot{I}_1 = 60 e^{j160}$; $\dot{I}_2 = 80 e^{j70}$ -dir. I_3 cərəyanını tapmalı:

A) 140 A

B) 70 A

C) 90 A

D) 100 A

E) 200 A

67. Sinusoidal gərginliyin amplitud qiyməti $U_m = 100$ V, başlanğıc fazası $\Psi_u = -\frac{\pi}{3}$, tezliyi 50 Hz-dir. Gərginliyin ani qiymətinin ifadəsi necə yazılır?

A) $u = 5 \sin \frac{\pi}{3}$

B) $u = 100 \sin \left(314 t - \frac{\pi}{3} \right)$

C) $u = \frac{100}{\sqrt{2}} \sin \left(314 t - \frac{\pi}{3} \right)$

D) $u = 100 \sin \left(314 t + \frac{\pi}{3} \right)$

E) $u = 7 \sin \frac{\pi}{3}$

68. Dövrədə aktiv müqavimətdən keçən cərəyanın ani qiyməti $i = 2,5 \sin(\omega t + \frac{\pi}{3})$, gərginliyin dəyişməsi $U = 50 \sin(\omega t + \frac{\pi}{3})$.

Müqaviməti tapmalı:

- A) 50 Om
- B) 2,5 Om
- C) 20 Om
- D) 25 Om
- E) 30 Om

69. Gərginliklər rezonansının yaranmasına hansı kəmiyyətin dəyişməsi ilə nail olmaq olar? Səhv cavabı göstərin:

- A) ω tezliyini
- B) L induktivliyini
- C) C tutumunu
- D) Dövrənin giriş gərginliyinin
- E) F tezliyinin

70. Səhv cavabı göstərin. Gərginliklər rezonansı rejimində...

- A) $X_L = X_C$
- B) $\cos \varphi = 1$
- C) $U_L > U_C$
- D) $I_{rez} = I_{max}$

E) $U_C > U_L$

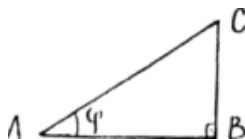
71. Dəyişən cərəyan nəyə deyilir?

A) Qiymət və istiqamətcə periodik dəyişən cərəyana dəyişən cərəyan deyilir

B) Qiymətcə periodik dəyişən cərəyana dəyişən cərəyan deyilir

C) İstiqamətcə periodik dəyişən cərəyana dəyişən cərəyan deyilir

D) Qiyməti sinus və ya kosinus qanunu ilə dəyişən cərəyana dəyişən cərəyan deyilir. Məs. $i = I_m \sin \omega t$.



E) Periodik dəyişməyən cərəyana dəyişən cərəyan deyilir

72. Dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv güc hansı düsturla hesablanır?

A) $P = \frac{1}{2} I_m U_m$

B) $P = IU$

C) $P = IU \cos \varphi$

D) $P = U_m I_m \sin \varphi$

E) $P = \frac{1}{3} I_m U_m$

73. Dövrəyə daxil olan müqavimət $r = 60 \text{ Om}$ olduqda ampermetr $I = 5 \text{ A}$ cərəyan göstərir. Şəbəkədəki gərginliyin amplitud qiymətini tapmalı:

A) 423 A

B) 300 V

C) 150 V

D) 220 V

E) 200 V

74. Nə üçün induktiv müqavimət olan dövrədə cərəyan fazaca gərginlikdən 90° geri qalır?

A) Çünki induktiv müqavimət tezliklə düz mütənasibdir

B) Çünki induktiv müqavimətdə cərəyan enerjisi maqnit sahəsi enerjisinə çevrilir

C) Çünki induktiv müqavimət olan dövrədə reaktiv güc sıfırdan fərqlidir

D) Çünki induktiv sargıca yaranan induksiya e.h.q. $e_L = -L \frac{di}{dt}$ düsturuna görə cərəyanın dəyişmə sürəti ilə düz mütənasibdir

E) Çünki induktiv müqavimət tezliklə tərs mütənasibdir

75. Dəyişən cərəyan dövrəsində ani güc hansı düsturla ifadə olunur?

A) $P = UI$

B) $S = UI$

C) $Q = UI$

D) $p = ui$

E) $P = IU \cos\varphi$

76. Güclər üçbucağında (şəkildəki) tam güc necə ifadə olunur?

A) AB tərəfi ilə

B) BC tərəfi ilə

C) AC tərəfi ilə

D) Üçbucağın sahəsi ilə

E) φ bucağının qiyməti ilə

77. Hansı elementlərin necə birləşdikləri dəyişən cərəyan dövrəsində gərginliklər rezonansı yaranır?

A) r, L – ardıcıl

B) r, L, C – ardıcıl

C) r, C – paralel

D) r, L, C – paralel

E) r, L paralel

78. Dəyişən cərəyan dövrəsində hansı müqavimətli elementdə enerji istiliyə çevrilir, periodik olaraq maqnit sahəsi enerjiyə çevrilir.

- A) Tutum müqavimətli
- B) İnduktiv müqavimətli**
- C) Aktiv müqavimətli
- D) Omik müqavimətli
- E) Tam müqavimətli

79. Sinusoidal cərəyanın kompleks amplitudu $i_m = 10e^{-j\frac{\pi}{6}}$ olarsa, ani qiyməti hansı düsturla ifadə olunar?

- A) $i = 10 \sin(\omega t + \pi/3)$
- B) $i = 10 \sin(\omega t - \pi/6)$**
- C) $i = \frac{10}{\sqrt{2}} \sin(\omega - \pi/6)$
- D) $i = 10\sqrt{2} \sin(\omega - \pi/6)$
- E) $i = 10 \sin(\omega t - \pi/4)$

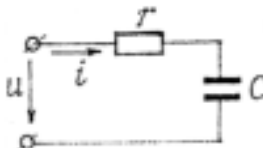
80. Cərəyanın ani qiyməti $i = 14,1 \sin(\omega t + \pi/6)$. Cərəyanın təsiredici qiymətinin kompleks ifadəsini yazın:

- A) $i = 14,1 e^{j\frac{\pi}{6}}$
- B) $i = 141 e^{-j\frac{\pi}{6}}$
- C) $i = 10 e^{j\frac{\pi}{6}}$**

$$D) \dot{I} = 10 e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$E) \dot{I} = 15 e^{j\frac{\pi}{2}}$$

81. Dəyişən cərəyan dövrəsində $\dot{U} = 220 V$, $\dot{I} = (5 - j10)A$ olduğunu bilərək tam güc kompleksini tapın;



$$A) \tilde{S} = (25 - j100)$$

$$B) \tilde{S} = 220e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$C) \tilde{S} = (1100 - j2200)$$

$$D) \tilde{S} = \sqrt{125}e^{j0}$$

$$E) \tilde{S} = \sqrt{135}e^{j0}$$

82. Verilən dövrə üçün aşağıdakı ifadələrdən hansı düz deyil?

$$A) \underline{Z} = Z e^{-j\varphi}$$

$$B) g = \frac{r}{r^2 + X_C^2}$$

$$C) b_C = \frac{X_C}{r^2 + X_C^2}$$

$$D) y = g + b_C$$

$$E) b = \frac{1}{Z}$$

83. Generatorun faz dolaqlarının üçbucaq birləşməsində birinci dolağın başlanğıcı hansı nöqtə ilə birləşir?

- A) İkinci dolağın başlanğıcı ilə
- B) İkinci dolağın sonu ilə
- C) Üçüncü dolağın başlanğıcı ilə
- D) Üçüncü dolağın sonu ilə**
- E) ikincinin başlanğıcı ilə birincinin başlanğıcı

84. Üçfazlı simmetrik sistemdə sinusoidal e.h.q.-nin nələri müxtəlifdir?

Düzgün cavabı göstərin...

- A) Amplitudları
- B) Başlanğıc fazaları**
- C) Tezlikləri
- D) Bütün cavablar düzdür
- E) Fazalar

85. Simmetrik (I) və qeyri-simmetrik (II) hallarında neytral xətt qırıldıqda xətt cərəyanları dəyişəcəkdirmi?

- A) I halda dəyişəcək, II halda dəyişməyəcək
- B) I və II halların hər ikisində dəyişəcək
- C) I və II halların hər ikisində dəyişməyəcək

D) I halda dəyişməyəcək, II halda dəyişəcək

E) Hər ikisində $\sqrt{3}$ dəfə dəyişəcək

86. Simmetrik yük üçbucaq birləşmişdir. Xətt gərginliyi 380 V-dur. Faz gərginliyini tapmalı:

A) 127 V

B) 220 V

C) 380 V

D) 350 V

E) 400 V

87. Simmetrik yük ulduz birləşmişdir. Xətt cərəyanı 5 A-dir. Faz cərəyanını tapmalı:

A) 5 A

B) 4 A

C) $5\sqrt{3}$ A

D) 2 A

E) 6 A

88. Sıfır xətti qırılsa, ulduz birləşmiş qəbuledicidə yük $r_A > r_B > r_C$ olarsa, faz gərginlikləri arasında hansı münasibət olar?

A) $U_A < U_B < U_C$

B) $U_A > U_B > U_C$

C) $U_A > U_B < U_C$

D) $U_A < U_B > U_C$

$$E) U_A = U_B = U_C$$

89. Üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə qoşulmuş üç eyni aktiv qəbuledicinin ulduz birləşməsindən üçbucaq birləşməsinə keçdikdə xətt məftillərində cərəyanlar necə dəyişər?

- A) Dəyişməzlər
- B) $\sqrt{3}$ dəfə artar**
- C) $\sqrt{3}$ dəfə azalar
- D) 3 dəfə artar
- E) 3 dəfə azalar

90. Üçfazlı cərəyan dövrəsində faz gərginliyi nəyə deyilir?

- A) Xətt məftili ilə neytral xətt arasındakı gərginliyə**
- B) İki xətt məftili arasındakı gərginliyə
- C) İki fazanın başlanğıcları arasındakı gərginliyə
- D) Neytral xəttin ucları arasındakı gərginliyə
- E) Hər üç fazanın başlanğıcları arasındakı gərginliyə

91. Üçfazlı dövredə xətt gərginliyi nəyə deyilir?

- A) Xətt məftili ilə neytral xətt arasındakı gərginliyə

B) Fazanın başlanğıc və son nöqtələri arasındakı gərginliyə

C) İki xətt məftili arasındakı gərginliyə

D) Neytral xəttin başlanğıc və son nöqtələri arasındakı gərginliyə

E) Mənbə və işlədicinin “0” nöqtələri arasındakı gərginliyə

92. Ulduz birləşmiş simmetrik yükədə üçfazlı cərəyan dövrəsi üçün aşağıdakı düsturlardan hansı düz deyil?

A) $U_x = \sqrt{3}U_F$

B) $I_x = \sqrt{3}I_F$;

C) $P = \sqrt{3}U_x I_x \cos\varphi$

D) $Q = \sqrt{3}U_x I_x \sin\varphi$

E) $S = \sqrt{3}$

93. Ulduz birləşmiş, simmetrik yüklü üçfazlı cərəyan dövrəsində xətt və faza gərginlikləri və cərəyanları arasında hansı əlaqə düsturları doğrudur?

A) $I = \sqrt{3}I_F; U = \sqrt{3}U_F$

B) $I = I_F; U = \sqrt{3}U_F$

- C) $I = \sqrt{3}I_F; U = U_F$
 D) $I = I_F; U = U_F$
 E) $I = 3I_F; U = 3U_F$

94. Simmetrik yüklü və üçbucaq birləşmiş üçfazlı cərəyan dövrəsində xətt və faza gərginlikləri və cərəyanları arasında hansı münasibət doğrudur?

- A) $U = \sqrt{3}U_F; I = \sqrt{3}I_F$
 B) $U = \sqrt{3}U_F; I = I_F$
 C) $U = U_F; I = \sqrt{3}I_F$
 D) $U = U_F; I = I_F$
 E) $I = 3I_F; U = 3U_F$

95. Simmetrik yüklənmə halında üçfazlı cərəyan dövrəsinin aktiv, reaktiv və tam gücü üçün yazılmış düsturlardan hansında səhv vardır?

- A) $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$
 B) $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$
 C) $S = \sqrt{3} UI$
 D) Heç birində
 E) $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

96. Üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə qoşulmuş simmetrik yükün ulduz birləşməsindən üçbucaq

birləşməsinə keçdikdə işlədicidə xətt və faza cərəyanlarının qiymətləri necə dəyişər?

- A) I_x və I_F – dəyişməzlər
- B) $I_x - 3$ dəfə artar, $I_F - \sqrt{3}$ dəfə artar**
- C) $I_x - \sqrt{3}$ dəfə artar, I_F – dəyişməz
- D) I və I_F hər ikisi $\sqrt{3}$ dəfə azalar
- E) $I_x - 3$ dəfə azalar, $I_F - \sqrt{3}$ dəfə artar

97. Xətt gərginliyi 220 V, xətt cərəyanı 5 A, $\cos \varphi = 0,8$. Yüklə simmetrikdir. Üçfazlı dövrənin aktiv gücünü tapmalı:

- A) $P=1140$ Vt
- B) $P = 1100$ Vt
- C) $P = 1520$ Vt**
- D) $P = 880$ Vt
- E) $P=2000$ Vt

98. Xətt gərginliyi 220 V, xətt cərəyanı 2 A, üçfazlı dövrənin aktiv gücü $P = 380$ Vt. Güc əmsalını tapmalı;

- A) $\cos \varphi = 0,4$
- B) $\cos \varphi = 0,5$
- C) $\cos \varphi = 0,6$
- D) $\cos \varphi = 0,8$**
- E) $\cos \varphi = 0,3$

99. Nominal gərginlikləri 127 V olan közərmə lampalarını xətt gərginliyi 220 V olan üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə hansı birləşmə sxemi üzrə qoşmaq lazımdır?

- A) Lampaları belə şəbəkəyə qoşmaq olmaz
- B) Üçməftilli dövrəyə ulduz
- C) Neytral xətlə dövrəyə ulduz**
- D) Üçbucaq
- E) Üçbucaq birləşmənin bir fazına qoşmaq

100. Dolaqları 127 V gərginliyə hesablanmış üçfazlı mühərriki xətt gərginliyi 380 V olan şəbəkəyə qoşmaq üçün onun dolaqlarını necə birləşdirmək lazımdır?

- A) Mühərriki belə şəbəkəyə qoşmaq olmaz**
- B) Ulduz
- C) Üçbucaq
- D) Həm ulduz, həm də üçbucaq sxemləri üzrə birləşdirmək olar
- E) Ziqzaq birləşdirmək olar

BEYNƏLXALQ VAHİDLƏR SİSTEMİ (BS)

Ölçü vahidləri elm və texnikanın bütün sahələri üçün universaldır. Bu sistemdə qəbul edilmiş əsas və əlavə vahidlər 1- ci cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 1

Əsas və əlavə vahidlər sistemi

<i>Kəmiyyətin adı</i>	<i>Vahidi</i>	<i>Ölçü vahidinin qısa işarəsi</i>
<i>Əsas vahidlər</i>		
Uzunluq	Metr	M
Kütlə	Kiloqram	kQ
Zaman	Saniyə	San
Elektrik cərəyanı	Amper	A
Termodinamik temperatur	Kelvin dərəcəsi	$^{\circ}K$ (temperatur fərqi üçün dərəcə işarəsi işlədilir)
Işıq şiddəti	Şam	Ş
<i>Əlavə vahidlər</i>		
Müstəvi bucaq	Radian	rad
Fəza bucağı	steradian	ster

Göstərilən vahidlərdən başqa, yerdə qalan vahidlərin hamısı əsas və əlavə vahidlərdən törəmədir.

Törəmə vahidlərdən ən çox istifadə ednləri 2-ci və 3-cü cədvəllərdə verilmişdir.

Törəmə vahidlər sistemi

<i>Kəmiyyət</i>	<i>Ölçü vahidi</i>	<i>Ölçü vahidi-nin qısa işarəsi</i>	<i>Vahidin ölçüsü</i>
1	2	3	4
Sahə	Kvadrat metr	M^3	(1m).(1m)
Həcm	Kub metr	M^3	(1m).(1m).(1m)
Tezlik	Hers	Hc	1:(1san)
Xətti sürət	Metr bölünsün saniyə	m/san	(1m):(1san)
Bucaq sürəti	Radian bölünsün saniyə	rad/san	(1rad):(1san)
Xətti təcili	Metr bölünsün saniyə kvadratı	m/san^2	(1rad/san:1san)
Bucaq təcili	Radian bölünsün saniyə kvadratı	rad/san^2	(1rad/san:1san)
Qüvvə	Nyuton	N	(1kQ).(1/san ²)
Təzyiq (mexaniki gərginlik)	Nyuton bölünsün kvadrat metr	N/m^2	(1/1):(1m ²)
Sıxlıq (həcmi kütlə)	Kiloqram bölünsün kub metr	kQ/m^3	(1kQ):1m ³
İş enerji, istilik miqdarı		C	(1N):(1san)
Güc	Coul	Vm	(1C):(1san)
Xüsusi çəki	Vatt	N/m^3	(1N):(1m ²)
Dinamik özlülük	Nyuton bölünsün kubmetr	$N.san/m^2$	(1N).(1san):(1m)

Kinematik özlülük	Nyuton saniyə- bölünsün kvadrat metr. Kvadrat metr bölünsün saniyə	M ² /san	(1m ²):(1san)
----------------------	--	---------------------	---------------------------

Cədvəl 3.

Törəmə vahidlər sistemi

<i>Kəmiyyət</i>	<i>Ölçü vahidi</i>	<i>Ölçü vahidinin qısa işarəsi</i>	<i>Vahidin ölçüsü</i>
Elektrik miqdarı. elektrik yükü	Kulon	K	(I.A):(Isan)
Elektrik potensalları fərqi, elektrik hərəkət qüvvəsi,elektrik gərfinliyi		V	(1V):(1A)
Elektrik tutumu	Volt	F	(1K):(1V)
Elektrik müqaviməti	Farad	Om	(1V):(1A)
Xüsusi elektrik müqaviməti	Om	Om.m	(1om):(1m ²):(1m)
Elektrik keçiriciliyi	Om-metr	Sim	(1A):(1B)
Maqnit seli	Simens	Vb	(1V):(1san)
Maqnit induksiyası	Veber	Tl	(1Vb):(1m ²)
Maqnit hərəkət qüvvəsi, maqnit potensiallar fərqi	Tesla	A	(IA)
Maqnit sahəsinin intensivliyi	Amper	A/m	(1A):(1m)

İnduktivlik, qarşılıqlı induksiya Maqnitləşmə	Amper bölünsün metr	Hn	(1Bb):(1A)
Elektrik enerjisi		A\m	(1A):(1m)
Elektrik dövrəsinin aktiv gücü	Henri Amper	C	(1N):(1m)
Elektrik dövrəsinin reaktiv gücü	bölüşün metr	Bm Var	(1C):(1san) (1B):(1A)
Elektrik dövrəsinin tam gücü	Coul		
Elektrik rəqslərinin tezliyi	Vatt Volt- Amper reakti	B A He	(1B):(1A) 1:(1san)
	Volt- Amper Hers		

Cədvəl 4.

Müxtəlif ölçü vahidlərinin müqayisəsi

E n e r j i

<i>Vahidin adı</i>	<i>kQ.m</i>	<i>C</i>	<i>kVt.saət</i>	<i>kkal</i>
1 kiloqrammetr (kQm)	1 0,102	9,81	$2,72 \cdot 10^{-6}$ $0,278 \cdot 10^{-6}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$ $2,39 \cdot 10^{-4}$
1 Coul (C)	$3,67 \cdot 10^5$	1	1	860
1 kilovat- saət(kVt:saət)	427	$3,6 \cdot 10^6$ $4,91 \cdot 10^3$	$1,63 \cdot 10^{-3}$	1
1 kilokalori(kkal)				

Cədvəl 5

Törəmə vahidlər sistemi

<i>Kəmiyyət</i>	<i>Ölçü vahidi</i>	<i>Ölçü vahidinin qısa işarəsi</i>	<i>Vahidin ölçüsü</i>
1	2	3	4
Sahə	Kvadrat metr	m^2	(1m).(1m)
Həcm	Kub metr	m^3	(1m).(1m).(1m)
Tezlik	Herc	Hs	1:(1san)
Xətti sürə	Metr bölünsün	m/san	(1m):(1san)
Bucaq sürəti	saniyə	rad/san	1rad):(1san)
	Radian bölünsün		
Xətti təcil			
	Metr bölünsün	m/san^3	(1rad/san):1san
Bucaq təcili	saniyə kvadratı		
	Radian bölünsün	rad/san ²	(1rad/san):1san
Qüvvə	saniyə kvadratı	N	(1kQ).(İm/san ²)
	Nyuton		
Təzyiq (mexaniki gərginlik)		N/m^2	(1N):(1m ²)
	Nyuton bölünsün		
	kvadrat metr		(1kQ):1m ³
Sıxlıq (həcmi kütlə)	Kiloqram	kQ/m^3	(1N):(m)
	bölünsün kub metr		
İş,enerji,istilik miqdarı		C	(1C):(1san)
		Vm	(1C):(1san)
Güc	Coul		(1N):(1m ²)
	Vatt	N/m^3	
Xüsusi çəki	Nyuton bölünsün		
	kub metr		(1kI). (1m ²)
Ətalət momenti	Kiloqram	kQm^2	
	vurulsun		
	Kvadrat metr		(1N).(1san):(1m)

Dinamik özlülük	Nyuton saniyə bölünsün kvadrat metr	N.san./m ² M ² /san	(1m ³):(1san)
Kinematik özlülük	Kvadrat metr bölünsün saniyə		

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. 1997.

2. Əsgərov C.S., Babayev R.V., Hüseynov T.Ş. Elektrotexnika kursundan hesabat qrafik işlərin tapşırıqları. Bakı, Azərb.NKİ-nəşri. 1980.

3. Atakişiyev T., Babayev R., Əsgərov C., Axundov N., Hüseynov T. Elektrotexnikadan məsələlər(elektrik dövrləri). Bakı. 1986.

4. Kazımsadə R.Z., Əsgərov C.S., Ağaməmmədov M.Ş. Dəyişən cərəyan elektrik dövrləri. Bakı, 2005.

5. Анвельт М.Ю. и др. Сборник задач по общей электротехнике, под. ред. проф. Пантюшина В.С. Москва, Высшая школа. 1973.

6. Kazımsadə R.Z., Əsgərov C.Ə. Elektrotexnika. Bakı, ADNA mətbəsi, 2008.

7. Axundov N.S., Yolçuyev M.N. Elektrotexnika və elektronika. ADPU mətbəsi; Bakı, 2001.

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	3
İ FƏSİL. XƏTTİ SABİT CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ	
1.1. Elektrik dövrləri.....	5
1.2. Elektrik cərəyanı.....	6
1.3 Müqavimət və keçiricilik.....	10
1.4. Potensial və gərginlik.....	13
1.5 Om qanunları.....	14
1.6. Güclər balansı. enerketik diaqram.....	16
1.7. Elektrik dövrəsinin iş rejimləri.....	17
1.8. Cərəyanın istilik effekti.....	20
1.9. Müqavimətləri ardıcıl birləşmiş dövrlər.....	23
1.10 Kirxhof qanunları.....	29
1.11 Mürəkkəb dövrlərin hesablanması.....	32
1.12 Cərəyanın işi və gücü.....	36
1.13 Mürəkkəb sabit cərəyan dövrlərinin hesabı.....	38
1.14 Qondarma metodu (superpozisiya).....	41

1.15	Kondensatorlu elektrik dövrələri. Dielektriklər...	46
.		
1.16	Sabit cərəyanlı dövrələrdə qeyri-xətti elementlər.....	51
.		

II FƏSİL. ELEKTROMAQNİT HADİSƏLƏRİ VƏ ONLARDAN İSTİFADƏ OLUNMASI. MAQNİT DÖVRƏLƏRİ

2.1.	Maqnit sahəsinin elektromexaniki təsiri və maqnit sahəsinə xarakterizə edən əsas kəmiyyətlər.....	58
.		
2.2.	Maqnit sahəsinin induksion təsiri. Elektromaqnit induksiya qanunu.....	62
2.3.	Elektrik generatorunun və mühərrikinin iş prinsipi.....	63
2.4.	Ferromaqnit materiallar və onların xassələri.....	66
2.5.	Budaqlanmayan maqnit dövrələrinin hesabı.....	68
2.6.	Budaqlanan maqnit dövrələrinin hesabı.....	72
2.7.	Maqnitləşdirici qüvvələrə görə sarğaçların hesabı.	76
2.8.	Özünəinduksiya.....	79
.		
2.9.	Qarşılıqlı induksiya.....	82

III FƏSİL. DƏYİŞƏN CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ

3.1.	Sinusoidal dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin alınması.....	86
3.2.	Dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin period və tezliyi.....	89
3.3.	Dəyişən elektrik hərəkət qüvvəsinin vektor diaqramı.....	91
3.4.	Dəyişən cərəyan və elektrik hərəkət qüvvəsinin effektiv və orta qiymətləri.....	94
3.5.	Dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv müqavimət.....	99
3.6.	Dəyişən cərəyanın dövrəsində induktivlik.....	10 1
3.7.	Dəyişən cərəyanın dövrəsində tutum.....	10 5
3.8.	Dəyişən cərəyanın dövrəsində qarışıq müqavimət.....	10 8
..		
3.9.	Dəyişən cərəyan dövrlərində rezonans hadisələri.....	11 1
.		
3.10	Gərginliklər	11
.	rezonansı.....	1
3.11	Cərəyanlar	11
.	rezonansı.....	3
3.12	Çoxfazlı	11
.	sistemlər.....	4
3.13	Üçfazlı	11
.	sistemlər.....	7
3.14	Ulduz birləşmiş	12
.	sistem.....	2
3.15	Üçbucaq birləşmiş	12
.	sistem.....	7

3.16	Üçfazlı dövrlərdə qeyri-simmetriklik.....	13 0
3.17	Qeyri-simmetrik yüklü üçfazlı sistemlər.....	13 1
3.18	Simmetrik mürəkkəbələr . metodu.....	13 4
3.19	Qeyri-sinusoidal e.h.q. və cərəyanlar.....	13 8
3.20	Qeyri-sinusoidal kəmiyyətlərin təhlili.....	13 9
3.21	Sabit mürəkkəbənin təyini.....	14 1
3.22	Horizontal oxa nəzərən simmetrik olan əyrinin təhlili.....	14 1

IV FƏSİL. ELEKTRİK ÖLCÜLƏRİ

4.1.	Ölcmələr haqqında məlumat və əsas anlayışlar....	14 4
4.2.	Bilavasitə qiymətləndirən cihazlarla ölçmənin əsas göstəriciləri.....	14 5
4.3.	Qeyri - elektrik kəmiyyətlərin elektrik üsulları ilə ölçülməsi.....	14 7

V FƏSİL. TRANSFORMATORLAR

5.1.	Transformatorun quruluşu və iş prinsipi.....	15 2
5.2.	Transformatorun yüksüz işləmə rejimi.....	15 3
5.3.	Transformatorun yüklü rejimi.....	15 5
5.4.	Üçfazlı transformatorlar.....	16 2

5.5.	Üçfazlı transformatorların birləşmə qrupları.....	16 4
5.6.	Transformatorun parametrlərinin və f.i.ə-nin təyini.....	16 6
5.7.	Transformatorların paralel işləməsi.....	17 0
5.8.	Güc transformatorların konstruksiyası.....	17 3
5.9.	Avtotransformatorlar.....	17 5
5.10	Ölçü transformatorları.....	17 8

VI FƏSİL. ELEKTRİK MAŞINLARI

6.1.	Asinxron maşınlar asinxron mühərrikin vəzifəsi və iş prinsipi.....	18 5
6.2.	Fırlanan maqnit sahəsinin alınması.....	18 7
6.3.	Asinxron mühərrikin quruluşu.....	19 1
6.4.	Asinxron mühərrikin yüksüz işləmə rejimi.....	19 2
6.5.	Asinxron mühərrikin dövrlərində gedən elektromaqnit proseslər.....	19 4
6.6.	Yüklü asinxron mühərrikin əvəz sxemi.....	19 8
6.7.	Asinxron mühərrikin fırlandırıcı momenti və mexaniki xarakteristikası.....	20 0
6.8.	Asinxron mühərrikin energetik göstəriciləri.....	20 5

6.9.	Asinxron mühərrikin sürətinin tənzim edilməsi və reversivlənməsi.....	20 7
6.10	Asinxron mühərriklərin işə . salınması.....	21 0
6.11	Asinxron . generator.....	21 5
6.12	Asinxron mühərrikin elektrik . tormozlanması.....	21 5
6.13	Asinxron . mühərriklər.....	21 7
6.14	İnduksion tənzimləyici və fəza . tənzimləyicisi.....	22 1
6.15	Sinxron maşınlar üçfazlı sinxron generatorun . quruluşu və iş prinsipi.....	22 8
6.16	Sinxron generatorun iş . prosesi.....	23 2
6.17	Sinxron generatorların paralel . işləməsi.....	23 7
6.18	Sinxron . mühərrik.....	24 3
6.19	Reaktiv . mikromühərriklər.....	25 0
6.20	Sabit cərəyan . maşınları.....	25 2
6.21	Sabit cərəyan generatorlarının quruluşu və iş . i.....	25 3
6.22	Sabit cərəyan generatorunun iş . i.....	25 7
6.23	Elektromaşın . gücləndiriciləri.....	26 5

6.24	Sabit cərəyan	26
.	mühərrikləri.....	7
6.25	Kollektorlu	27
.	mikromühərriklər.....	4
VII FƏSİL. ALTERNATİV ENERJİ MƏNBƏLƏRİ		
7.1.	Məhsulların enerji tutumuna görə qiymətləndirilməsi. Enerjinin növləri və enerji tutumlu məhsullar.....	27 8
7.2.	Enerji mənbələrinin enerji tutumuna görə müqayisəsi.....	27 8
7.3.	Alternativ enerji mənbələri və onlardan istifadənin istiqamətləri.....	28 0
7.4.	Alternativ enerji mənbələrinin sinifləşdirilməsi..	28 0
7.5.	Alternativ enerji mənbələrinin texniki iqtisadi göstəricilərinin hesabat metodikası.....	28 1
7.6.	Alternativ enerji mənbələrinin ekoloji göstəricilərə görə qiymətləndirilməsi.....	28 1
	Elektrotexnika fənnindən test sualları	28 9
	BEYNƏLXALQ VAHIDLƏR SISTEMI (BS)	32 8
	ƏDƏBİYYAT	33 4