

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**J. Nuryýew**

**ELEKTRİK ÜPJÜNÇİLİĞİ  
ULGAMLARYNDA GEÇİJİLİK  
PROSESLERİ**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

**J. Nuryýew,** Elektrik üpjünçiligi ulgamlarynda geçijilik prosesleri.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

## **“Elektrik üpjünçiligi ulgamlarynda geçijilik prosesleri”**

Kitapda elektrik ulgamlarda elektromagnit we elektromehanika geçiş prosesleriniň gysgaça teoriýasy seredilen. Olaryň hasaplanýş usullary, olar san mysallar arkaly berkedilen.

Okuw kitaby hökmünde „Elektrik üpjünçiligi“ hünäriniň talyplary üçin niýetlenen, beýleki elektrik hünärlerde-de ulanylyp biliner, esasanda „Elektrik tansiýalary we podstansiýa“, „Elektrik ulgamlary we setleri“ we beýlekiler üçin okuw gollanmasy hökmünde ulanylyp biliner. Bulardan başga-da kitap aspirantlar, ylmy işgärler, inžener-tehniki işgärlertarapyndan ulanylyp biliner.

## **SÖZBAŞY**

Garaşsyz baky Bitarap Türkmenistan döwletimizde geljegimiz bolan ýaşlaryň dünýäniň iň ösen talaplaryň laýyk gelýän derejede bilim almagy üçin ähli işler edilýär.

Hormatly Prezidentimiz döwlet başyna geçen ilkinji gününden bilime, ylma giň ýol açdy, Türkmenistan ýurdumyzda milli bilim ulgamyny kämilleşdirmek boýunça düýpli özgertmeler geçirmäge girişdi.

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň “Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakynda” 2007-nji ýylyň 15-nji fewralyndaky Permany bilim ulgamyndaky düýpli özgertmeleriň başyny başlady.

Häzirki zaman milli bilim ulgamyndaky döwrebap özgertmeler ýaş nesliň ýokary derejede bilim almagyna we terbiýelenmegine, giň dünýägaraýyşly, edep- terbiýeli, tämiz ahlakly, kämil hünärmenler bolup ýetişmeklerine uly ýardam edýär.

Hormatly Prezidentimiz ýygnaqlarda, uly Döwlet maslahatlarynda milli maksatnamada göz önünde tutulan meseleleriň çözülişleri, durmuşa geçirilişini esasy üns merkezinde saklaýar. Milli maksatnamada ilaty elektrik eneriýasy bilen üpjün etmegi gowulandyrmak barada öňde

goýulan wezipeleri üstünlikli durmuşa geçirmek üçin, energetika ulgamlarynda işlejek ýokary bilimli hünärmenleri dünýä derejesinde taýýarlamak esasy mesele bolup durýar. “Elektrik üpjünçiligi” hünäri boýunça bilim alýan talyp ýaşlaryň Türkmenistanyň syýasy – ykdysady ösüşlerini göz önünde tutup, Watanmyzyň gülläp ösmegi, halkymyzyň hal – ýagdaýynyň gowulanmagy üçin ýokary derejeli hünärmenleri taýýarlamagyň esasy bolup durýanlygy aýdyňdyr.

Hususy soraglardan energiýany ösdürmegiň häzirki zaman çeşmeleriniň, ulgamlarynyň işleýşi, ulanylyşy, olary kämilleşdirmek baradaky meseleleri çözmäge ukyply talyplaryň nazary pikirlerini ösdürmek meselesi dersini esasy bolup durýar.

Energetiki ulgamlaryň sazlaşykly işlemekleri, halk hojalygynda ýerlikli peýdalanmak, energiýany hasaba almak, energetiki resurslary ulanmaklygyň ähmiýetliligini, tygşytlylygyny talyplara öwretmek dersini esasy tutýar. Häzirki döwürde ekologiki taýdan arassa, ykdysady taýdan arzan, konstruksiýasy boýunça ýönekeý energetiki enjamlary gurmaklygyň, peýdalanmaklygyň tehnikalary öwredilýär. Okatmagyň esasy usuly hökmünde umumy okuw ulanylýar. Amaly we tejribe sapaklarynda bolsa desgalaryň bölekleri, olaryň berkligi, ýüze çykyan näsazlyklaryň önüni almak ýaly meseleleriň toplumyna seredilýär.

Elektrik we mehaniki enjamlar boýunça, şeýle hem umumy senagat maksatly mehanizmlaryň häzirki zaman elektropriwodlarynda ulanylýan shemaly çözümleriň bilimini almak dersi öwrenmegiň maksady bolup durýar.

## GIRIŞ

Elektrik üpjünçiligi ulgamlarynda geçijilik prosesleri ulgamy kadaly peýdalanylan ýagdaýynda (zynjyr birikdirilen we ýazdyrylan pursatynda, beýleki düzüjilere birleşdirilende, gurnamalary synagdan geçirilen ýagdaýlarda we ş.m.), şeýle hem ulgamda gysga utgaşma bolanda, daşky zynjyrlaryň üzülen ýagdaýynda, işläp duran elektrik maşynlary sinhron ýagdaýyndan çykanda çylşyrymly ýagdaýlar ýüze çykýar.

Şeýle ýagdaýlaryň – hadysalaryň fiziki manysyny seljermek, düşünmek üçin, olara baha bermek, sebaplerini anyklamak we gaýtadan ýüze çykmaklarynyň önüni almak hem-de önünden duýdyrmak üçin geçirijilik proseslerini düýpli öwrenmek gerek bolýar.

Ýokarky ýazylan ýagdaýlaryň haýsysy ýüze çykanda hem ulgamyň düzüjileriniň elektromagnit deňagramlylygy üýtgeýär. Aýlanýan bölegi bolan elektrik maşynlarynyň aýlow momentleri üýtgeýär, şeýle hem tizlikleri käbiriniň tizligi ýokarlanýar, käbiriniň tizligi peselýär we ş.m. Bu ýagdaý sazlaýjy enjamlar işläp – täsir edip, adaty ýagdaýa getirýänçäler dowam edýär.

Geçirijilik prosesi ulgamda elektromagnit we mehaniki üýtgeşmeleriň toplumydyr. Ýokary mehaniki inersiýasy bolan elektrik maşynlarynda geçirijilik prosesiniň başlangyjy elektromagnit üýtgeşmeleri esasynda bolup geçýär.

Ýeterlik kiçi üýtgeşmelerde, uly garşylykda gysga utgaşma bolanda; uzak aralykda bolsa we ş.m. geçirijilik prosesini elektromagnit üýtgesine goşmal bolýar. Beýle ýagdaýlarda ulgamdaky tok güýji örän uly bolýar, mysal üçin 400 Wolt naprýaženiýeli ulgamda tok güýji 5000A ýetýär.

Umuman geçirijilik prosesini iki topara bölüp bolýar : 1) elektromagnit geçirijilik prosesi ; 2) elektromagnit we mehaniki geçirijilik prosesini bilelikde seredilýär. Şeýle bolup aýratynlykda okatmaklyk talyplaryň dersi özleşdirmegi üçin ýeňil bolýar.

Dersi özleşdirmek, düşünmek üçin öňki ýyllarda okalan «Elektrotehnikanyň nazary esaslary», «Fizika», «Ýokary matematika» we ş.m. dersler kömek edýär. Ders öwrenilende ulgamlary bir fazaly, üç fazaly görnüşlerini göz önünde tutmaly boýar. Olary häsiýetlendirýän ulylyklaryň aýratynlygyna, meňzeşligine görä gabat gelýän meselelere seredilýär.

Geçijilik prosesi ýokary okuw mekdeplerinde aýratyň ders hökmünde 20-nji asyryň ahyrlarynda meýilnama girizildi. Ilkinji gerek Park geçijilik prosesiniň nazary esaslary elektrik maşynlaryny göz önünde tutup düzdi, esaslandyrdy.

Geçijilik prosesini nazary esasyda öňrenmek bilen önümçilikde giňden tejribe esasynda hem dowam etdirildi. Tejribeleriň esasynda täze birnäçe nazary soraglar ýüze çykyp, öňkileriň üstüni doldyrdy.

Önümçilikde tejribe esasynda geçijilik prosesini synagdan geçirmek we öwrenmek örän howply ýagdaý. Soňky

ýyllarda elektro energetiki ulgamlaryň kämilleşmegi netijesinde bu işler üstünlikli amala asyryldy.

Geçijilik proseslerindäki ýagdaýlary seljermek we hasaplamak işlerine degişli birnäçe awtorlar tarapyndan köp kitaplar ýazyldy, olaryň birnäçesi şu kitabyň soňunda görkezilendir.

«Elektrik üpjünçiligi ulgamynda geçiş prosesleri» dersiň maksady talyplarda elektrik üpjünçiligi ulgamynda geçiş proseslerinde analiz we sintez etmek barada bilimlerini ösdürmekden ybarat. Geçiş prosesleri barada gysgaça maglumatlar we ony öwrenmegiň tehniki we ykdysadyýet tarapdan ähmiýetleri. Geçiş prosesinde ulanylýan esasy fiziki kanunlar. “Elektrotehnikanyň nazary esaslarynda” özleşdirilen kommutasiýanyň kanunlary we araçäk şertlerinden peýdalanylyşy. Liniýanyň (setleriň we ulgamlaryň) başynda, ahyrynda we islendik uzaklykda döreýen araçäk şertleriniň hasaba alynyşy.

## **1. Esasy kesgitlemeler, düşüňjeler. Geçiş proseslerini döredýän sebäpler.**

### **Gysga utgaşma we onuň görnüşleri**

Elektrik ulgamlarynda geçiş hadysalary diýlip ulgamyň normal iş düzgüni bozulanda bolup geçýän hadysalara düşünilýär. İş düzgüni bozulanda ulgamyň elektromagnit we elektromehaniki ýagdaýlary üýtgeýär. Şonuň üçin kurs iki bölek edilip okalýar, ýagny

- 1) elektromagnit geçiş hadysalary;
- 2) elektromehaniki geçiş hadysalary.

Bu şertli bölmedir, sebäli bu iki hadysa bir biri bilen aýrylmaz baglydyr, olar bir birini ugradýarlar. Bu iki hadysanyň araçäginä görkezmek mümkin däldir. Emma, elektromagnit hadysalary basym sowulýar, elektromehaniki hadysalar bolsa uzaga çekýär. Islendir ulgamda elektromagnit hadysalary 0,2-0,3 sekund wagtda tamam bolýarlar, emma, elektromehaniki hadysalar sekundlarça, hat-da minutlarça hem dowam edip bilerler. Geçiş hadysalaryny köp sebäpler döredip bilýärler, ýagny, hereketlendirijileri işe goýbermeklik, energiýa çeşmelerini aýyrmaklyk ýa-da birikdirmeklik, elektrik geçirijileri, transformatorlary, ýükleri birikdirmek we aýyrmak, gysga utgaşmalar, faza simlarynyň üzülmegi we başgalar. Elektrik ulgam üçin in howply sebäp bolup durýan zat gysga utgaşmadyr. Sebäbi gysga utgaşma wagtynda akýan togyň



ulylygy onlarça esse köpelyär, kuwwatlyklar artýar. Bu bolsa ulgamyň diňe bir, elektromagnit ýagdaýyny güýçli üýtgetmek bilen çäklenmän, onuň mehaniki ýagdaýyny hem ýeterlik derejede üýtgetýär.

Şonuň üçin generatorlaryň we hereketlendirijileriň tizlikleri üýtgeýär, bu bolsa olaryň sinchronizmden çykamaklygyna getirip biler. Şu sebäpden ötri, gysga utgaşmanyň üstünde bir az durup geçeliň.

Gysga utgaşmany esasy döredýän zat, bu izolýasiýanyň könelmegi ýa-da onuň hapalanmagydyr. Gysga utgaşma wagtynda garşylyk kiçelýär we tok ulalýar. Gysga utgaşmalar simmetriki we simmetriki däl görnüşde bolup bilerler. Simmetriki gysga utgaşma üç fazaly gysga utgaşma degişlidir. Üç fazaly gysga utgaşma  $K^{(3)}$  diýlip şertli belgi bilen belgilenýär. Üç fazaly gysga utgaşmada hemme faza bir deň şert aşagynda bolýar.

Simmetriki däl gysga utgaşmalara aşadakylyk degişlidir:

1. Bir fazaly gysga utgaşma. Ol  $K^{(1)}$  görnüşde belgilenýär. Bir fazaly gysga utgaşmada A faza ýere birikýär diýlip şertli kabul edilendir.

2. Iki fazaly gysga utgaşma. Ol  $K^{(2)}$  görnüşde belgilenýär. Iki fazaly gysga utgaşmada B we C fazalar özara birikýär diýlip kabul edilendir.

3. Iki fazaly ýere birigen gysga utgaşma. Ol  $K^{(1,1)}$  görnüşde belgilenýär. Bu görnüşli gysga utgaşmada B we C fazalar özara hem-de ýere birikýärler diýlip kabul edilendir.

Gysga utgaşma wagtynda köp tok akýanlygy sebäpli tok geçiriji enjamlar örän gaty gyzýarlar, hem-de olar örän gaty gyzýarlar, hat-da olar eräp hem bilerler. Mundan başgada gysga utgaşmalar ulgamyň durnuklylygyny bozup bilerler, bu bolsa örän howply hadysadyr.

Gysga utgaşmalar metalliki we metalliki däl görnüşlere-de bölünýärler.

Indi esasy düşüňjeleriň we kesgitlemeleriň üstünde bir az durup geçeliň.

Elektroenergetiki ulgam diýlip elektrik energiýanyň öndürilýän ýerinden, onuň sarp edilýän ýerine çenli bolan komplekse aýdylýar. Onuň düzümine elektrik stansiýalar, beýgeldiji we peseldiji transformatorlar, ýokary woltly elektrik geçirijiler, iýmitlendiriji we paýlaýjy setler, hem-de energiýany gös-göni talap edijiler girýär.

Elektrik üpjünçiligi ulgamynyň ýokary naprýaženiýeli geçirijä birikýän ýerine ýük düwüni diýilýär. Ýük düwüninde bütün ulgamda bolýan geçiş hadysalary ýaly hadysalar bolup geçýär.

Elektroenergetika ulgamy hil we mukdar görkezijiler bilen alamatlandyrylýar. Mukdar görkezijilere elektrostansiýanyň işläp öndürýän kuwwaty degişlidir. Esasy hil görkezijilere düwünlerdäki naprýaženiýeler we setdäki ýygýlyklar degişlidir.

Hil we mukdar görkezijiler ulgamyň düzgünini kesgitleýär. Elektrik ulgamyň indiki hili düzgünleri kabul edilendir:

1) Normal durnuklanan düzgün. Bu düzgüne niýetlenip elektrostansiýanyň taslamasy edilýär we onuň esasy tehniki-yktysady hasiýetnamalary kesgитlenýär.

2) Awariýadan soňky durnuklanan düzgün. Bu düzgün awariýa bolan ýeri öçürilenden soň döreýär.

3) Geçiş düzgüni. Bu düzgün döwründe ulgam bir ýagdaýdan başga ýagdaýa geçýär.

Düzgün üýtgände üýtgeýän görkezijilere elektrik ulgamyň düzgün parametrleri diýilýär.

Olara kuwwat, naprýaženiýe, tok, ýygýlyk we başgalar degişlidir.

Ulgamuň elementleriniň häsiýetlerini alamatlandyryýan görkezijilere ulgamyň elementleriniň parametrleri diýilýär. Olara garşylyklar, geçirijilikler, transformasiýa koeffisientleri we başgalar degişlidir. Bu parametrlər umuman göni çyzykly

däldirler, sebäbi, olar düzgün üýtgände üýtgeýärler. Muňa garamazdan olar köplenç ýagdaýlarda hemişelik diýlip kabul edilýärler.

Düzgün parametrleri we ulgamyň parametrleri bir-biri bilen deňlemeler, tablisalar ýa-da grafikler arkaly baglanyşýarlar. Mysal üçin:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \frac{U^2}{Z} \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot Z \cdot \cos \varphi \quad (1.1)$$

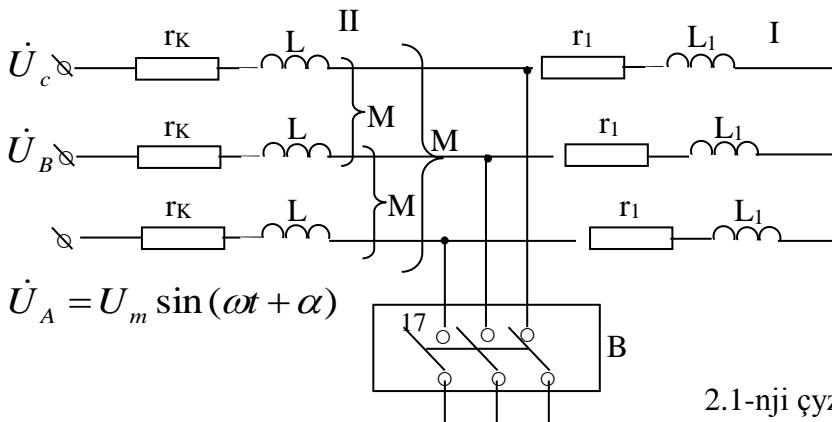
Bu baglanyşyklar köplenç göni çyzykly däldirler.

## 2. Şahalanmadyk zynjyrda üçfazaly gysga utgaşma

Ýönekeýje üçfazaly zynjyr diýip transformator baglanyşygy bolmadyk aktiw garşylyklary we induktiwlikleri bir nokatda jemlenen simmetriki üçfazaly zynjyra aýtmaklyk şertli kabul edilendir.

Şu zynjyrda elektromagnit geçiş hadysalaryny ol tükeniksiz kuwwatly çeşmeden iýmitlenen ýagdaýynda seredeliň. Bu şertde zynjyrda döreýän mejburi periodiki tok amplitudasy we ýygylgy boýunça üýtgemeyär.

Indiki çyzga seredeliň.



2.1-nji çyzgy

B öçürijini birikdirsek ol üçfazaly metalliki gysga utgaşmany aňladýar.

Shema iki bölege bölünýär, olar shemada rim sifrleri bilen bellendir. Bölekleriň hadysalaryny aýratynlykda seredeliň.

1-nji bölek. Ol energiýa çeşmesini saklamaýar. Onuň differensial deňlemesi aşakdaky ýaly ýazylýar

$$L_1 \frac{di}{dt} + ir_1 = 0 \quad (2.1)$$

Bu erde:  $r_1$  – bölegiň aktiw garşylygy;

$L_1$  – bölegiň induktiwligi.

Bu deňlemäniň çözgüdi şeýle:

$$i = i_0 \cdot l^{-\frac{t}{Ta_1}} \quad (2.2)$$

bu ýerde:  $i_0$  – bölekde döreyän erkin toguň başlangyç bahasy. Ol normal düzgüniň togunyň gysga utgaşmanyň başlangyç pursatyndaky bahasyna deňdir.

$T_{a1}$  – erkin toguň togtamaklygynyň wagat hemişeligi. Ol aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$T_{a1} = \frac{L_1}{r_1} = \frac{X_1}{\omega r_1}, \quad (2.3)$$

bu ýerde:  $X_L$  – bölegiň induktiw garşylygy. Şeýlelikde,  $I$  – bölekde diňe erkin tok döreýär. Togy döredýän sebäp  $L$ -induktivlikde jemlenýän elektromagnit energiýadyr. Bu tok başlangyç bahasy  $i_0$ -dan eksponenta boýunça togtaýar, ýagny ol  $r_1$  garşylygy gyzdymaga harçlanýar.

II-bölek. Bu bölek energiýa çeşmesini saklaýar. Bu bölek köplenç gysga utgaşma bölegi diýlip atlandyrylýar. Bu bölekde fazalaryň hususy induktivliklerinden başga olaryň özara induktivlikleri hem hasaba alynandyr.

Bu bölegiň differensial deňlemesi aşadaky ýaly ýazylýar:

$$L \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_C}{dt} + i_A r_K = U_A = U_m \sin(\omega t + \alpha), \quad (2.4)$$

bu ýerde:  $L$  – fazalaryň hususy induktivligi;

$M$  – fazalaryň özara induktivlikleri;

$r_K$  – bölegiň fazalarynyň aktiw garşylyklary;

$U_m$  – çeşmäniň naprýaženiýesiniň

amplitudasy;

$\alpha$  – birikdirme burçy; bu burç  $A$  fazanyň naprýaženiýesiniň wektorynyň wagt okuna perpendikulýar ok bilen emele getirýän burçdyr.

Agzalan ululyklar 1-çyzgyda getirilen wektor diagramma görkezilendir. Wektor diagramma  $A$  faza üçin gurulandyr. (4) deňleme üç sany näbelli toklary saklaýar, ýagny  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ . Üçfazly zynjyryň düzgünini hasaba alyp, ýagny

$$i_B + i_C = -i_A, \quad (2.5)$$

$$i_{r_k} + L_k \frac{di}{dt} = U, \quad (2.6)$$

ol deňlemäni aşakdaky görnüşe getirip bileris:  
bu ýerde  $L_k = L - M$  - fazanyň jemleýji induktiwligi.

Soňky deňlemäniň işlenişi şeýle:

$$i = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_{ao} l^{-\frac{t}{T_a}}; \quad (2.7)$$

$Z_k$  – II-bölegiň doly garşylygy;

$\varphi_k$  – bölegiň togy bilen naprýaženiýesiniň arasyndaky burç;

$T_a = L_k/r_k = X_k/\omega r_k$  – bölegiň wagt hemişeligi.

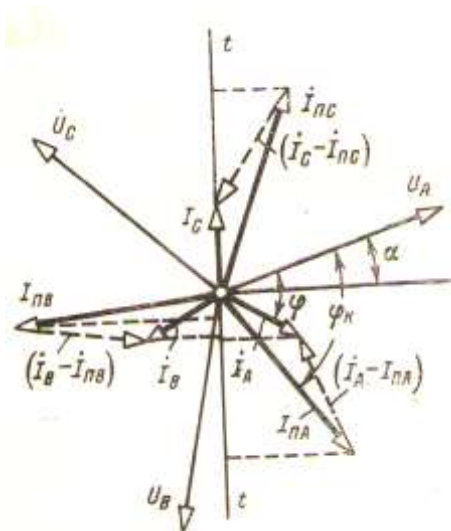
II-bölekde gysga utgaşmadan soň iki tok döredýär: gysga utgaşmanyň periodiki togy we gysga utgaşmanyň erkin togy. Periodiki togy çeşme döredýär, ol üýtgemeyän

$$Z_k = \sqrt{r_k^2 + (\omega L_k)^2}; \quad \varphi_k = \arctg \frac{X_k}{\omega r_k}, \quad (2.8)$$

amplitudaly sinusoidal tokdyr. Erkin togy  $L_k$  induktiwlikde ýygynalan elektromagnit energiýa döredýär. Bu tok  $i_o$  başlangyç bahasyndan başlap eksponenta görnüşde  $T_a$  hemişelik boýunça togtaýar we  $r_k$  garşylygy gyzdymaga harçlanýar. Bu toguň başlangyç bahasy aşakdaky formula esasynda kesgitlenýär:

$$i_{ao} = \dot{I}_m \sin(\alpha - Y_k) - \dot{I}_{nm} \sin(\alpha - Y_k) \quad (2.9)$$

3.2-nji çyzgyda bu toklaryň wektor diagrammalary görkezilendir.  $i_n$  we  $i_o$  toklary  $\dot{I}_{nm}$  we  $\dot{I}_m$  wektorlaryň wagt okuna proyeksiýasydyr. Onda  $i_{ao}$  hem  $(\dot{I}_m - \dot{I}_{nm})$  wektoryň wagt okuna proyeksiýasy bolar.



2.2-nji çyzgy. Ýönekeý elektrik zynjyrd a toguň we naprýaženiýäniň wektor diagrammalary.

Indi toklaryň iň uly bahalarynyň döretmeklik şertlerine seredeliň.

**1.** Erkin toguň başlangyç bahasynyň iň uly bahasynyň döremek şerti. Bu şert  $\alpha$  birikdirme burçundan we geçen normal düzgünden baglydyr. A burç üznüksiz ulalyp gidýär. Bu burçuň belli bir bahasynda wektor  $(\dot{I}_m - \dot{I}_{nm})$  wagat okuna parallel bolýar. Şu pursatda  $i_{ao}$  tok hem iň uly bahasyny alýar. Wektor diagrammadan görnüşi ýaly berlen fazada normal tok nuldan geçende we periodiki tok wagat oky bilen gabat gelende  $i_{ao}$  tok periodiki toguň amplitudasyna ters belgi bilen deňdir. Bu bolsa erkin toguň bolup biläýjek iň uly bahasydyr.

**2.** Doly toguň iň uly bahasynyň döremek şerti. Bu tok hem öňki tok ýaly birikdirme burçy  $\alpha$ -dan we geçen normal düzgüniň togundan baglydyr. Köplenç gysga utgaşmada pes naprýaženiýeli set şuntirlenýär. Çeşmä birigip galýan bölek

bolsa uly naprýaženiýeli elementleri saklaýar. Bu bölekde induktiw garşylyk aktiw garşylykdan örän ulydyr. Beýle diýildigi  $Y_k$  burçuň bahasy  $90^\circ$  ýakyndygyny aňladýar. Şonuň üçin şertli doly toguň in uly bahasy gysga utgaşma döränden dörtden bir perioddan soň döreyär diýiligidir. Bu şert hasap şerti diýilip kabul edilýär. Bu şertiň ossillogrammasy – çyzgyda görkezilendir. Doly toguň in uly bahasy zarply tok diýlip atlandyrylýar. Çyzgya görä zarply toguň ululygy aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$i_3 = I_{nm} + I_{nm} \cdot e^{-\frac{0,01}{T_a}} = k_z \cdot I_{nm}, \quad (2.10)$$

bu ýerde 0,01 – zarply toguň döreyän wagty;

$k_z$  – urgy koeffisiýenti;

$I_{nm}$  – periodiki toguň amplitudasy.

Urgy koeffisiýenti  $k_z$  aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär.

$$k_z = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (2.11)$$

Urgy koeffisiýenti zynjyryň induktiw garşylygynyň aktiw garşylygyna bolan gatnaşygynyň ululygyndan baglydyr.

Urgy koeffisiýentiň bahasy 1 we 2 sanlar arasynda üýtgeýär

$$1 \leq k_z \leq 2$$

$k_z = 1$ , eger gysga utgaşma in pes naprýaženiýeli setde dörände we induktiw garşylyk nula deň diýlip kabul edilende.

$k_z = 2$ , eger gysga utgaşma uly naprýaženiýeli setde dörände ýa-da aktiw garşylyk nula deň diýlip kabul edilen.



### 3. Düzgüniň duýdansyz bozulmagynyň başlangyç pursaty

Ilki bilen ýönekeýleşdiriji ýagdaýlary kabul edeliň:

1. Statoryň togunyň uzoboýa düzüjisiniň magnitlendiriji güýjüniň ugry oýandyryjy sarymyň magnitlendiriji güýjüniň ugry bilen gabat gelende ol togy položitel diýip kabul ediris.
2. Statoryň togunyň keseleýin düzüjisiniň, magnitlendiriji güýjüniň ugry oýandyryjy sarymyň magnitlendiriji güýjüniň ugrundan  $90^\circ$  yza galsa ol togy položitel diýip kabul ediris.
3. Rotoryň hemme ululyklary statora getirilen we olar özara otnositel birlikde aňladylan diýip kabul ediris.

Indi sinhron maşynyň düzgün bozulmagynyň başlangyç pursatynda haýsy elektrik herekete getiriji we reaktiwlikler bilen häsiýetlendirilýändigine seredeliň.

#### 3.1. Sinhron maşynyň geçişli elektrik hekekete getirijiligi we reaktiwligi

Çyzgyda sinhron maşynyň uzoboýa oky boýunça magnit meýdanlaryň balansy görkezilen. Ol normal hem geçiş hadysalyň nul pursaty üçin berilendir. Ol ýerde:

$\Phi_{fo}$  – oýandyryjy sarymyň öňki düzgüniň nul pursatynda döredýän magnit akymy.

$\Phi_{f/o/}$  - şol magnit meýdan geçiş hadysanyň nul pursatynda.

$\Phi_{tfo}$  – oýandyryjy sarymyň ýaýraýan magnit akymy öňki pursatda.

$\Phi_{tf/o/}$  - şol magnit akym geçiş pursatynda.

$\Phi_{fado}$  – peýdaly magnit akymy öňki düzgüniň nul pursatynda.

$\Phi_{fad/o/}$  - şol akym geçiş hadysanyň nul pursatynda.  
 $\Phi_{\delta do}$  - statoryň howa aralygyndaky magnit akymy  
 öňki düzgüniň nul pursatynda.  
 $\Phi_{\delta d/o/}$  - şol akym geçiş hadysanyň nul pursatynda.  
 $\Phi_{ado}$  – statoryň tersine reaksiýasynyň magnit akymy  
 öňki düzgüniň nul pursaty.  
 $\Phi_{ad/o/}$  - şol akym geçiş hadysanyň nul pursatynda.  
 $\Delta\Phi_{f/o/}$  - düzgün üýtgände oýandyryjy sarymyň magnit  
 akymynyň artmasy.  
 $\Delta\Phi_{af/o/}$  - düzgün üýtgände statoryň tersine  
 reaksiýasynyň alýan artmasy.  
 $\Phi_{f\Sigma o}$  – jemleýji akym öňki täze düzgüniň nul pursaty.

Diagrammadan görnüşi ýaly düzgün üýtgände hemme  
 magnit akymlar üýtgeýärler. Üýtgemeýän akym diňe jemleýji  
 akym. Şonuň üçin şu akymdan başlap elektrik hekekete getiriji  
 we reaktiwlikler üçin aňlatmalar çykaryp başlarys.

Jemleýji magnit akymyň bir bölegi statoryň sarymynda  
 elektrik hekekete getirijini döredýär. Bu bölegi aşakdaky ýaly  
 aňladyp bolar:

$$\Psi_d' = (1-\tau_f) \Psi_{f\Sigma} \quad (3.1.1)$$

Ýaýrama koeffisiýenti:

$$\delta_f = \frac{\Phi_{\mathcal{F}}}{\Phi_f} = \frac{x_{\mathcal{F}}}{x_{\mathcal{F}} + x_{ad}} = \frac{x_{\mathcal{F}}}{x_f} \quad (3.1.2)$$

Diagramma görä:

$$\overset{\circ}{\Psi}_{f\Sigma} = \overset{\circ}{\Psi}_f + \overset{\circ}{\Psi}_{ad},$$

ýa-da

$$\overset{\circ}{\Psi}_{f\Sigma} = \overset{\circ}{I}_f (x_{\mathcal{F}} + x_{ad}) + \overset{\circ}{I}_d x_{ad} \quad (3.1.3)$$

(3.1.2) we (3.1.3) (3.1.1) goýup alarys:

$$\dot{\Psi}_d = \dot{I}_d x_{ad} + I_d \frac{x_{ad}^2}{x_{\delta} + x_{ad}} \quad (3.1.4)$$

Bu akym ýapyşmasyna aşakdaky elektrik hekekete getiriji degişlidir:

$$E'_q = E_q - jI_d \frac{x_{ad}^2}{x_{\delta} + x_{ad}} \quad (3.1.5)$$

Bu elektriki hereketlendiriji güýje sinhron maşynyň geçişli elektrik hereketlendiriji güýji diýilýär. Ol kese ok boýunçadyr. Eger sinhron elektrik hekekete getiriji üçin

$$E_q = U_q + jI_d X_d \quad (3.1.6)$$

deňlemeden peýdalansak, onda (3.1.5) deňlemä indiki görnüşi hem berip bolar:

$$E'_q = U_q + jI_d \left( x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_{\delta} + x_{ad}} \right) = U_q + jI_d \cdot x'_d \quad (3.1.7)$$

bu ýerde:

$$x'_d = x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_{\delta} + x_{ad}} \quad (3.1.8)$$

Sinhron maşynyň uzoboýa ok boýunça geçişli reaktiwligidir. Eger reaktiwlik üçin

$$X_d = X_{\tau} + X_{ad} \quad (3.1.9)$$

deňlemäni ulansak, onda geçişli reaktiwlik üçin indiki hili deňlemäni hem alyp bileris:

$$x'_d = x_\delta + \frac{x_{\delta f} x_{ad}}{x_{\delta f} + x_{ad}} = x_\delta + \frac{1}{\frac{1}{x_{\delta f}} + \frac{1}{x_{ad}}} \quad (3.1.10)$$

bu ýerde  $X_\tau$  – stotor sarymynyň ýaýraýyş reaktiwligi;

$X_{\tau f}$  – oýandyryjy sarymyň ýaýraýyş reaktiwligi;

$X_{ad}$  – stotor we rotor sarymlarynyň arasyndaky magnit akym tarapyndan döredilen reaktiwlik.

Maşynyň kese oky. Bu ok boýunça rotorda hiç hili sarym ýok, şonuň üçin bu ok boýunça elektrik herekete getiriji nula, geçişli reaktiwlik bolsa sinhron reaktiwlige deňdir:

$$\begin{aligned} E'_d &= 0 \\ X'_g &= x_g \end{aligned} \quad (3.1.11)$$

Geçişli elektrik herekete getiriji fiksiw elektrik herekete getirijidir, sebäbi ony ölçäp bolanok. Onuň iň ajaýyp häsiýeti ol düzgün üýtgän mahaly üýtgemeyär. Bu bolsa köne we täze düzgünleri biri-biri bilen baglanyşdyrmaga kömek edýär.

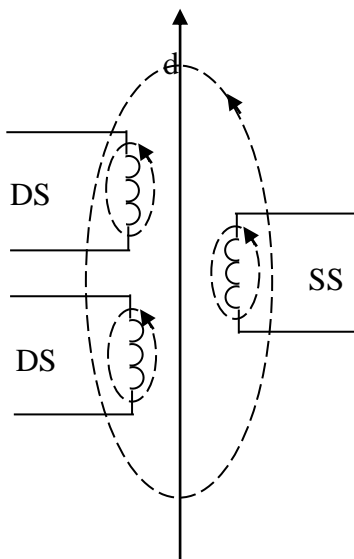
Geçişli reaktiwlik sinhron maşynyň iň wajyp parametrleriniň biridir we onyň pasport parametrleriniň içinde getirilýär.

Eger daşky zynjyr diňe induktiw häsiýetli bolsa, onda geçiş togy diňe uzoboýadyr:

$$I'_{d/o/} = \frac{E'_{q/o/}}{x'_d + x_{bH}} = I'_{/o/} \quad (3.1.12)$$

### 3.2. Sinhron maşynyň aşageçişli elektrik herekete getirijisi we reaktiwligi

Indi rotorynda oýandyryjy sarymdan başga her okunda bir dempfer sarymy bolan sinhron maşyna seredeliň.



3.2.1-nji çyzgy. Maşynyň uzoboýa oky.

**Maşynyň uzoboýa oky.** 3.2.1–nji çyzgyda ok boýunça maşynyň shemasy görkezilendir. Oýandyryjy dempfer sarymlar umumy magnit meýdany tarapyndan kesilýärler. Bu sarymlary parallel birigen görnüşde kabul edip, olary bir ekwiwalent sarym bilen çalşyryp bolar. Ekwiwalent sarymyň togy we reaktiwligi:

$$\overset{\circ}{I}_{zd/o/} = \overset{\circ}{I}_{f/o/} + \overset{\circ}{I}_{id/o/}; \quad (3.2.1)$$

$$x_{\delta rd} = \frac{x_{\delta f} \cdot x_{\delta 1d}}{x_{\delta f} + x_{\delta 1d}}, \quad (3.2.2)$$

bu ýerde  $x_{\delta 1d}$  – uzoboýa dempfer sarymyň ýaýraýyş reaktiwligi;

$I_{1d/o/}$  - onuň başlangyç togy.

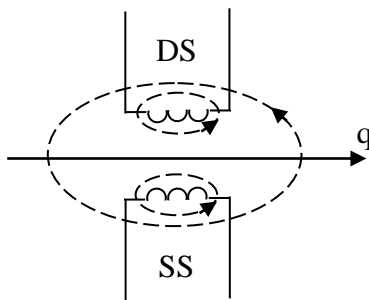
Magnit akymlaryň balansyny derňäp, geçen tema meňzeşlikde taparys:

$$E''_{q/o/} = E''_{qo} = U_{qo} + jI_{do}x_d'' \quad (3.2.3)$$

$$x_d'' = x_d \frac{x_{ad}^2}{x_{\delta rd} + x_{ad}} = x_{\tau} + \frac{1}{\frac{1}{x_{\delta f}} + \frac{1}{x_{ad}} + \frac{1}{x_{\delta rd}}} \quad (3.2.4)$$

Bu ýerde  $E''_{g/o/}$  - kese ok boýunça sinhron maşynyň aşageçişli elektrik herekete getirijiligi;  
 $x_d''$  – uzoboýa ok boýunça sinhron maşynyň aşageçişli reaktiwligidir.

**Maşynyň kese oky.** 3.2.2–nji çyzgyda bu ok boýunça statoryň we rotoryň shemalary görkezilendir. Bu ýagdaýda rotorda diňe dempfer sarym bardyr.



3.2.2-nji çyzgy. Maşynyň kese oky.

Bu ok boýunça geçişli elektrik herekete getiriji we reaktiwlik üçin aşakdaky deňlemeleri alarys:

$$E''_{d/o/} = E''_{do} = U_{do} + jI_{qo}x_q'' \quad (3.2.5)$$

$$x_q'' = x_q - \frac{x_{aq}^2}{x_{\delta lg} + x_{ag}} = x_{\delta} + \frac{1}{\frac{1}{x_{\delta lg}} + \frac{1}{x_{ad}} + \frac{1}{x_{ag}}} \quad (3.2.6)$$

bu ýerde  $X_{\tau lg}$  – kese okdaky dempfer sarymyň ýaýraýyş reaktiwligi.

$X_{ag}$  – kese ok boýunça stator sarymynyň ters reaksiýasy tarapyndan döredilen reaktiwlik.

Aşageçişli e.h.g. hem fiktiwdir. Ol e.h.g. düzgün üýtgände öz bahasyny üýtgetmän saklap bilýär we öňki we täze düzgünleri bir-biri bilen baglanyşdyrmage kömek edýär.

Aşageçişli reaktiwlikler sinhron maşynyň wajyp parametrleridir we onuň pasport berilmeleriniň içinde getirilýär.

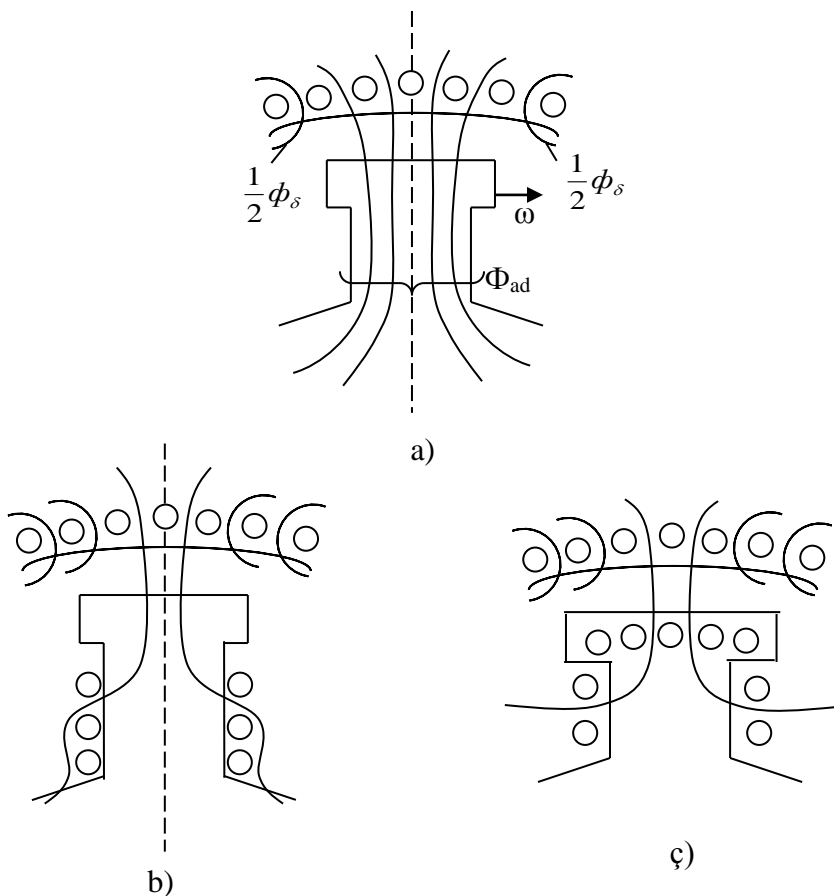
Eger daşky zynjyr induktiw häsiýetli bolsa, onda oklar boýunça aşageçişli toklaryň başlangyç bahalary we doly tok aşakdaky formulalar esasynda kesgitlenýärler:

$$I''_{d/o/} = \frac{E''_{q/o/}}{x''_d + x_{bh}} \quad (3.2.7)$$

$$I''_{q/o/} = \frac{E''_{d/o/}}{x''_q + x_{bh}} \quad (3.2.8)$$

#### 4. Sinhron maşynyň sinhron geçişli we aşageçişli reaktiwliklerini deňeşdirmek

Ilki bu reaktiwlikleri uzoboýa ok boýunça deňeşdireliň.  
4.1-nji çyzgyda sinhron maşynyň şu ok boýunça konstruksion shemasy we magnet akymlaryň çyzgyny görkezilen.



4.1-nji çyzgy. Dik ok boýunça magnet liniýalaryň maşynyň konstruksiyasyna baglylykda üýtgeýşi.



- a) - çyzgyda sinhron düzgün şekillendirilen. Statoryň döredýän magnit meýdany kemkäsleýin dargaýar, emma onuň esasy bölegi rotoryň üsti bilen birikýär, sebäbi rotoryň magnit garşylygy bu ýagdaýda örän az, onuň induktiwligi bolsa örän köp. Şu ýagdaýda statoryň reaktiwligi hem örän köp. Ol reaktiwligine sinhron reaktiwlik diýilýär. Ol sinhron maşynyň iň uly bolup biläýjek reaktiwligidir.
- b) - çyzgyda geçiş ýagdaýy diýlip çaklanylýar. Ondan başga-da rotorda diňe oýandyryjy sarym bar diýip çaklaýarys. Indi stator sarymy magnit akymynyň artmasyny alýar (mysal üçin gysga utgaşma sebäpli). Magnit akymynyň artmasy oýandyryjy sarymyň ters reaksiýasyny emele getirýär. Rotoryň magnit garşylygy artýar, induktiwligi bolsa kiçelýär. Şu ýagdaýda stator sarymynyň reaktiwligi kiçelýär, oňa geçişli reaktiwlik diýilýär, ol sinhron reaktiwlikden kiçidir.
- ç) - çyzgyda-da geçiş ýagdaýy diýlip saklaýarys. Indi rotorda oýandyryjy sarymdan başga dempfer sarym hem bar diýip kabul edýäris. Statoryň sarymynyň artmasy oýandyryjy we dempfer sarymylaryň ikisiniň hem ters reaksiýasyny döredýär. Rotoryň magnit garşylygy has hem köpelär, onuň induktiwligi has kiçelýär. Stator sarymynyň bu ýagdaýdaky reaktiwligine aşageçişli reaktiwlik diýilýär. Ol öňki iki reaktiwlikden hem kiçidir, ýagny:

$$X_d < X'_d < X''_d \quad (4.1)$$

Eger magnit meýdany rotora geçmese stator sarymyň reaktiwligi özünüň ýaýraýyş meýdany bilen emele getirilýär. Bu reaktiwlik sinhron maşynyň iň bolup biläýjek kiçi reaktiwligidir.

$$X_d \angle X'_d \angle X''_d \angle X_\delta \quad (4.2)$$

Maşynyň kese oky boýunça hem şeýle ýagdaý bolýar:

$$X_q \angle X'_q \angle X_\delta$$

#### 4.1. Elektrik hereketlendirijileriň we ýükleriň aşageçişli parametrleri

Ýokarda aýdylanlar sinhron generatorlara, sinhron hereketlendirijilere we sinhron kompensatorlara deň derejede degişlidir. Generatorlardan we kompensatorlardan reaktiw toklar diňe sete garşy ugrukdyrylandyr. Sinhron hereketlendirijileriň reaktiw togynyň ugry setde galýan naprýaženiýe bilen hereketlendirijiniň aşageçişli elektrik herekete getiriji gatnaşyklaryndan baglydyr. Eger elektrik herekete getiriji naprýaženiýeden uly bolsa onda reaktiw tok sete garşy ugrukdyrylandyr.

Asinhron hereketlendirijiler adatça bir az typmak bilen işleýärler (0,02÷0,05). Onuň azlygy üçin ony köplenç nula deň diýip hasap edýärler we asinhron hereketlendirijä pes oýandyrylan deň kuwwatly sinhron hereketlendiriji hökmünde garaýarlar. Şeýle ýagdaýda asinhron hereketlendirijileriň aşageçişli reaktiwligi we elektrik herekete getirijiligi aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$X''_{ah} = \frac{I}{I_{* \text{ го́щ}}} \quad (4.1.1)$$

$$E''_{ah/o/} = E''_{aho} = \sqrt{(U_o \cos \varphi_o)^2 + (U_o \sin \varphi_o - I_o X''_{ah})^2} \quad (4.1.2)$$

ýa-da

$$E''_{ah/o/} \approx U_o - I_o X''_{ah} \cdot \sin \varphi_o \quad (4.1.3)$$

bu ýerde  $I_{goý}$  – hereketlendirijiniň goýberiş togy;  $(5\div 7)I_{nom}$

$U_o, I_o, \psi_o$  – öňki normal düzgüniň naprýaženiýesi, togy we olaryň arasyndaky burçy.

Umumylaşdyrylan elektriki ýükleriň esasy düzümini asinhron hereketlendirijiler düzýär  $(80\div 85)\%$ . Kysymly umumylaşdyrylan ýükler üçin ortaça aşageçişli elektrik herekete getirijilik we reaktiwlik indiki hili kabul edilendir:

$$\begin{aligned} E''_{\mu k/o/} &= 0,85 \\ X''_{\mu k} &= 0,35 \end{aligned} \quad (4.1.4)$$

Bu parametrler ýüküň iş kuwwatyna (MBA) we onuň orta nominal naprýaženiýesine (kB) getirilen otnositel birlikdedir.

## 5. Sinhron maşynyň elektromagnit geçiş hadysalarynyň deňlemeleri

Käbir ýönekeýleşdirmeleri kabul edeliň:

1. Maşynyň magnit ulgamy doýan däl. Bu ýagdaýda induktiwlikler magnitlendiriş güýçlerden bagly däl.
2. Magnitlendiriş güýçleriň we induksiýanyň statoryň howa aralygynda hakyky bölüniş egrisine derek onuň birinji garmonikasyny hasaba alarys. Bu ýagdaýda döreýän elektrik herekete getiriji hem diňe birinji garmonikaly sinusoidal dyr.
3. Maşynyň magnit ulgamynda ýitgi ýok.

4. Maşynyň konstruksiýa ýasalşy onuň faza sarymlarynyň simmetriýasyny berjaý edýär. Şeýle-de rotor sarymlary öz oklaryna görä simmetrikidir.
5. Rotoryň uzoboýa okunda ýerleşen ähli sarymlar bir ekwiwalent sarym bilen çalşylandyr. Şu ýagdaý kese oka hem degişlidir.
6. Seredilýän geçiş hadysa dowamynda maşynyň tizligi hemişelikdir we sinhron bahasynda deňdir.

Şu ýönekeýleşdirmeleri kabul edemizden soň sinhron generatoryň ilkinji differensial deňlemeleri aşakdaky görnüşde ýazylýarlar:

$$U_A = -\frac{d\Psi_A}{dt} - r \cdot i_A \quad U_B = -\frac{d\Psi_B}{dt} - r \cdot i_B \quad (5.1)$$

$$U_C = -\frac{d\Psi_C}{dt} - r \cdot i_C$$

$$U_f = \frac{d\Psi_f}{dt} + r_f \cdot i_f$$

bu ýerde  $U_A, U_B, U_C$  – fazalaryň naprýaženiýeleri;  
 $\psi_A, \psi_B, \psi_C$  – fazalaryň akym ilteşmesi;  
 $r$  – fazalaryň sarymlarynyň aktiw garşylygy;  
 $r_f$  – oýandyryjy sarymyň aktiw garşylygy;  
 $i_A, i_B, i_C$  – faza sarymlarynyň toklary;  
 $\psi_f$  – oýandyryjy sarym bilen akym ilteşmesi.

- (1) ulgama girýän akym ilteşmeleri üçin deňlemeler indiki görnüşde bolýar:

$$\begin{aligned}
\Psi_A &= L_A \cdot i_A + M_{AB} \cdot i_B + M_{AC} \cdot i_C + M_{Af} \cdot i_f \\
\Psi_B &= M_{BA} \cdot i_A + L_B \cdot i_B + M_{BC} \cdot i_C + M_{Bf} \cdot i_f \\
\Psi_C &= M_{CA} \cdot i_A + M_{CB} \cdot i_B + L_C \cdot i_C + M_{Cf} \cdot i_f \\
\Psi_f &= M_{fA} \cdot i_A + M_{fB} \cdot i_B + M_{fC} \cdot i_C + L_f \cdot i_f
\end{aligned} \tag{5.2}$$

Bu deňlemä girýän induktiwler we özara induktiwler rotor hemişelik aýlanýanlygy sebäpli üýtgeýärler. Şol sebäpli (1) deňlemeler üýtgeýän koeffisientli differensial deňlemelerdir. Beýle deňlemeler ýa-ha işlenmeýärler, eger işleseler-de olaryň işlenmesi örän kyn bolýarlar. Aşakda bu deňlemeleriň işlenişiniň bir usulu görkezilýär.

Ilki sinhron maşynyň induktiwlikleriniň üýtgeýiş kanunlaryna seredeliň.

### 5.1. SM sarymlarynyň induktiwlikleriniň üýtgeýiş kanunlary

A okuň položitel ugry bilen  $d$  okuň položitel ugurlarynyň arasyndaky burçy  $\gamma$  diýip belläliň.

1. Oýandyryjy sarymyň induktiwligi  $L_f$ . Diňe şu induktiwligi şertli hemişelik diýip kabul edip bileris.
2. Faza sarymlarynyň induktiwlikleri  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$ . Bu induktiwlikler period bilen sinusoidal üýtgeýärler we hemişelik düzüjini saklaýarlar.

$$\begin{aligned}
L_A &= l_o + l_2 \cos 2\gamma \\
L_B &= l_o + l_2 \cos 2\left(\gamma - \frac{2\pi}{3}\right) \\
L_C &= l_o + l_2 \cos 2\left(\gamma - \frac{2\pi}{3}\right)
\end{aligned} \tag{5.1.1}$$

bu ýerde  $l_o$  – induktiwligiň hemişelik düzüjisi;  
 $l_2$  – induktiwligiň ikinji garmonikasynyň  
amplitudasy.

3. Faza sarymlarynyň özara induktiwlikleri  $M_{AB}$ ,  $M_{AC}$ ,  $M_{BC}$ . Bu induktiwlikler hem  $\pi$  period bilen sinusoida boýunça üýtgeýärler, hem-de hemişelik düzüjini saklaýarlar:

$$\begin{aligned} M_{AB} &= m_o + m_2 \cos 2(\gamma - \frac{\pi}{3}) \\ M_{AC} &= m_o + m_2 \cos 2(\gamma - \frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3}) \\ M_{BC} &= m_o + m_2 \cos 2(\gamma - \frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (5.1.2)$$

bu ýerde  $m_o$  – induktiwlikleriň hemişelik düzüjisi;  
 $m_2$  – induktiwlikleriň ikinji garmonika-  
synyň amplitudasy.

4. Faza sarymlar bilen oýandyryjy sarymyň özara induktiwlikleri  $M_{Af}$ ,  $M_{Bf}$ ,  $M_{Cf}$ .

Bu induktiwlikler  $2\pi$  period boýunça sinusoidal üýtgeýärler:

$$\begin{aligned} M_{Af} &= M_{fA} = M_d \cdot \cos \gamma \\ M_{Bf} &= M_d \cdot \cos(\gamma - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{Cf} &= M_d \cdot \cos(\gamma + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (5.1.3)$$

bu ýerde  $M_d$  – induktiwlikleriň amplitudasy.

## 5.2. Üçfazaly ulgamyň umumylaşdyrylan wektory

Üçfazaly ulgamyň iki hili aňladylyşy bar.

1. Bir gozganmaýan wagt oky  $t$  alynýar. O okuň daşynda üç şöhleli simmetriki wektorlar aýlanýarlar. Bu wektorlaryň wagt okuna bolan proyeksiýasy faza ululyklaryny görkezýärler.
2. Üç sany biri-birinden  $120^\circ$  we  $240^\circ$  burça süýşürilen gozganmaýan wagt oklary alynýar. Aýlanýan wektor bir sany. Bu wektoryň wagt oklaryna proyeksiýalary fazanyň parametrlerini aňladýarlar. Bu wektora üçfazaly ulgamyň umumylaşdyrylan wektory diýilýär. Bu wektor hökmünde islendik elektriki we fiziki ululygy alyp bolar, ýöne şunda aşakdaky şert ýerine ýetmeli:

$$f_A + f_B + f_C = 0 \quad (5.2.1)$$

Eger bu şert ýerine ýetmese, onda deňligiň sag bölegi üç sany deň  $f_0$  bölege bölünýär we ýokdaky şert aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$(f_A - f_0) + (f_B - f_0) + (f_C - f_0) = 0 \quad (5.2.2)$$

Eger umumylaşdyrylan wektor bilen  $A$  okuň položitel ugrunyň arasyndaky burçy  $\alpha$  diýip bellesek, onda umumylaşdyrylan wektor bilen onuň proyeksiýalarynyň arasyndaky baglanyşyk indiki görnüşde bolar:

$$\begin{aligned} f_A &= F \cdot \cos \alpha \\ f_B &= F \cdot \cos\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right) \\ f_C &= F \cdot \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad (5.2.3)$$

Umumylaşdyrylan wektoryň ululygyny aşakdaky formuladan kesgitläp bileris:

$$F = \sqrt{\frac{2}{3}(f_A^2 + f_B^2 + f_C^2)} \quad (5.2.4)$$

Süýşme burçy aşakdaky formuladan tapylýar:

$$\alpha = \arccos \frac{f_A}{F} \quad (5.2.5)$$

## 6. Sinhron maşynyň deňlemeleriniň öwürmek. Park-Gorewiň deňlemeleriniň ulgamlary

Merkezi bir nokatda ýerleşen iki koordinatlar ulgamyny, ýagny ABC we  $d_q$  koordinatlar okuna seredeliň. Merkeziň daşynda umumylaşdyrylan wektor  $F$  aýlanýar. Wektory iki koordinatlar okuna-da proyektirläliň. Eger  $\gamma$  diýip  $A$  ok bilen  $d$  okuň arasyndaky burçy bellesek,  $\alpha$  diýip –  $A$  ok bilen umumylaşdyrylan wektoryň arasyndaky burçy bellesek onda:

$$\begin{aligned} f_d &= F \cdot \cos(\gamma - \alpha) \\ f_q &= F \cdot \sin(\gamma - \alpha) \end{aligned} \quad (6.1)$$

$F$  wektor bilen  $f_A, f_B, f_C$  proyeksiýalaryň arasyndaky baglanyşyk aşakdaky ýaly bolar:

$$\begin{aligned} f_A &= F \cdot \cos \alpha + f_0 \\ f_B &= F \cdot \cos\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right) + f_0 \\ f_C &= F \cdot \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) + f_0 \end{aligned} \quad (6.2)$$



$f_0$  – nul düzüji.

Eger  $f_d, f_a$  belli bolsa, onda  $f_A, f_B, f_C$  olaryň üsti arkaly aşakdaky ýaly kesgitlener:

$$\begin{aligned} f_A &= f_d \cos \gamma + f_q \sin \gamma + f_0 \\ f_B &= f_d \cdot \cos(\gamma - \frac{2\pi}{3}) + f_q \sin(\gamma - \frac{2\pi}{3}) + f_0 \quad (6.3) \\ f_C &= f_d \cdot \cos(\gamma + \frac{2\pi}{3}) + f_q \sin(\gamma + \frac{2\pi}{3}) + f_0 \end{aligned}$$

Eger  $f_A, f_B, f_C$  proyeksiýalar belli bolsa, onda olaryň üsti bilen  $f_d, f_q$  proyeksiýalar aşakdaky formulalardan kesgitlenýär:

$$\begin{aligned} f_d &= \frac{2}{3}(f_A - f_0) \cos \gamma + (f_B - f_0) \cos(\gamma - \frac{2\pi}{3}) + (f_C - f_0) \cos(\gamma + \frac{2\pi}{3}) \quad (6.4) \\ f_q &= \frac{2}{3}(f_A - f_0) \sin \gamma + (f_B - f_0) \sin(\gamma - \frac{2\pi}{3}) + (f_C - f_0) \sin(\gamma + \frac{2\pi}{3}) \quad (4) \end{aligned}$$

(4) formula arkaly  $f_A, f_B, f_C$  koordinatlardan  $f_d, f_q$  koordinatlara geçmeklik üçfazly maşyny iki fazly maşyn bilen çalyşmaklygy aňladýar.  $\Gamma$  burç täze stator sarymlarynyň  $d$  we  $q$  oklarynyň magnit oklarynyň giňişlikdäki ýagdaýlaryny kesgitlenýär.

Eger täze  $d, q$  sarymlar gozganmaýan bolsalar, onda olaryň induktiwlikleri rotor aýlananda üýtgeýärler. Eger Blondel tarapyndan durnuklanan düzgün üçin hödürülen we Park hem Gorew tarapyndan geçiş düzgünlere ýaýradylan öwürmeleri ulansak, onda, täze sarymlaryň induktiwliklerini hemişelik edip bolar. Munuň üçin täze sarymlar rotor bilen berk baglanandyr diýip çak etmeklik ýeterlidir. Bu ýagdaýda rotoryň  $d$  we  $q$  oklary täze sarymlaryň oklary bilen gabat gelmelidir. Täze koordinatlar oklaryny  $d, q, 0$  diýip atlandyryrlar. Eger  $f_0$  wektor nula deň bolsa, onda ol  $d, q$  koordinatlar bilen gabat gelýärler.

## 6.1. Deňlemeleriň öwrülişi

Geçen sapagyň (3) formulasyny ulanyp tok, naprýaženiýe we akym ilteşmesi üçin aşakdaky deňlemeleri ýazalyň:

$$\begin{aligned} i_A &= i_d \cdot \cos \gamma + i_q \sin \gamma + i_0 \\ U_A &= U_d \cos \gamma + U_q \sin \gamma + U_0 \\ \Psi_A &= \Psi_d \cos \gamma + \Psi_q \sin \gamma + \Psi_0 \end{aligned} \quad (6.1.1)$$

Bu deňlemeleri sinhron maşynyň ilkibaşdaky deňlemesine

$$U_A = -\frac{d\varphi_A}{dt} - i_A r \quad (6.1.2)$$

goýalyň. Differensirleme geçirenimizde  $\Psi_d$ ,  $\varphi_q$ ,  $\gamma$  wagtdan bagly diýip hasap edeliň:

Onda:

$$\begin{aligned} (U_d + \frac{d\Psi_d}{dt} + \Psi_q \frac{d\gamma}{dt} + r \cdot i_d) \cos \gamma + (U_q + \frac{d\Psi_q}{dt} - \Psi_d \frac{d\gamma}{dt} + r \cdot i_q) \sin \gamma + \\ + (U_0 + \frac{d\Psi_0}{dt} + r \cdot i_0) = 0 \end{aligned} \quad (6.1.3)$$

Sinuslar we kosinuslar boýunça toplalyň:

$$\begin{aligned} U_d \cos \gamma + U_q \sin \gamma + U_0 = -\frac{d\Psi_d}{dt} \cos \gamma + \Psi_d \sin \gamma \cdot \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\Psi_0}{dt} - \\ - \frac{d\Psi_q}{dt} \sin \gamma - \Psi_q \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\Psi_0}{dt} - r \cdot i_d \cos \gamma - r \cdot i_q \sin \gamma - i \cdot i_0 \end{aligned}$$

(3) deňleme  $\gamma$  islendik bahasynda ýerine ýetmeli. Ol şert diňe ýaýyň içindäki aňlatmalar aýratynlykda nula deň bolan

halatda ýerine ýetip biler. Bu şertden aşakdaky deňlemeleri alarys:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= -\frac{d\Psi_d}{dt} - \Psi_q \frac{d\gamma}{dt} - r \cdot i_d \\ U_q &= -\frac{d\Psi_q}{dt} - \Psi_d \frac{d\gamma}{dt} - r \cdot i_q \\ U_0 &= -\frac{d\Psi_0}{dt} - r \cdot i_0 \end{aligned} \right\} \quad (6.1.4)$$

Alynan netije A oka derek B ýa-da C oklary alyp öwürsek hem üýtgemezdi. Bu deňlemeleriň üstüne oýandyryjy sarymyň deňlemesini hem goşmaly:

$$U_f = \frac{d\Psi_f}{dt} + r_f \cdot i_f \quad (6.1.5)$$

(4) we (5) deňlemelere girýän akym ilteşmeleri aşakdaky ýaly bolýarlar:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d &= x_{ad} \cdot i_f + x_d \cdot i_d \\ \Psi_q &= x_q \cdot i_q \\ \Psi_0 &= x_0 \cdot i_0 \\ \Psi_f &= x_f \cdot i_f + x_{ad} \cdot i_d \end{aligned} \right\} \quad (6.1.6)$$

(5) deňlemeler sinhron maşynyň elektromagnit geçiş hadysa döwründe iki reaksiýasynyň teoriýasynyň esasyny aňladýar. Olara Park-Gorewiň deňlemeleri diýilýär.

Eger elektromekanika hadysalary hasaba almak isleseň, onda öňki deňlemeleriň üstüne aşakdaky deňlemeleri hem goşmaly:

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \omega_0 t + \gamma_0 \\ \frac{d\gamma}{dt} &= \omega_0 \end{aligned} \right\} \quad (6.1.7)$$

Otnositel birlikde  $d\gamma/dt=1$ .

(4) deňlemelerdäki  $d\Psi_d/dt$ ,  $d\Psi_q/dt$  agzalara transformasiýa elektrik herekete getiriji diýilýär,  $\Psi_d \cdot d\gamma/dt$  düzüjilere bolsa aýlaw elektrik herekete getiriji diýilýär.

## 7. Park-Gorewiň deňlemeleriniň operator görnüşi

Laplastyň öwürmelerini ulanyp Park-Gorewiň deňlemelerini operator görnüşde aňladalyň. Ýönekeýlik üçin nul başlangyç şertleri kabul edeliň. Parametrleri olaryň artmalary bilen çalşyralyň. Munuň üçin parametrleriň önünde  $\Delta$  belgisini goýmaklyk ýeterlikdir. Eger  $d\gamma/dt=1$  diýip hasap etsek, onda elektromagnit geçiş hadysalarynyň deňlemeleri aşakdaky ýaly ýazylar:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_d(P) &= -p\Delta\Psi_d(P) - \Delta\Psi_q(P) - r \cdot \Delta i_d(P) \\ \Delta U_q(P) &= -p\Delta\Psi_q(P) - \Delta\Psi_d(P) - r \cdot \Delta i_q(P) \\ \Delta U_0(P) &= -p\Delta\Psi_0(P) - r \cdot \Delta i_0(P) \\ \Delta U_f(P) &= p\Delta\Psi_f(P) - r_f \cdot \Delta i_f(P) \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

Akym ilteşmeleriniň deňlemeleri:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\Psi_d(P) &= x_{ad} \cdot \Delta i_f(P) + x_d \cdot \Delta i_d(P) \\ \Delta\Psi_q(P) &= x_q \cdot \Delta i_q(P) \\ \Delta\Psi_o(P) &= x_o \cdot \Delta i_o(P) \\ \Delta\Psi_f(P) &= x_f \cdot \Delta i_f(P) + x_{ad} \cdot \Delta t_d(P) \end{aligned} \right\} \quad (7.2)$$

Bu deňlemeleri wagt görnüşinden operator görnüşe getirmek üçin proizwodynyň belgisi bolan  $d/dt$   $p$  operatora normal taýdan çalyşmaklyk ýeterlikdir.

Operator deňlemeleri islendik parametre görä işläp bolýar. Ondan soň operator aňlatmanyň tersine geçmeklik usuly bilen wagt (original) aňlatmasyny tapmak gerek.

### 7.1. Sinhron maşynyň operator reaktiwlikleri

Ýokarda getirilen operator deňlemelerden sinhron maşynyň operator reaktiwliklerini tapmak hem bolýar. Muňa göz ýetirmek üçin dempfer sarymy bolmadyk maşyna seredeliň.

Rotoryň kese okunda hiç hili sarym ýok, şol sebäpli statoryň magnit meýdany rotorda hiç zat bilen ilteşip bilenok. Onda bu ok boýunça operator reaktiwlik sinhron reaktiwlige deňdir:

$$X_q(p) = X_q \quad (7.1.1)$$

$I_o$  tokdan akym hem rotor bilen baglanyşykly däl, ýagny ol ýaýraýar. Onda:

$$X_o(p) = X_o \quad (7.1.2)$$

Uzoboýa ok boýunça rotorda dempfer sarym bar. Şonuň üçin statoryň magnit meýdany bu sarym bilen ilteşýär. Onda operator deňlemeler öwürme ýoly bilen aşakdaky aňlatmany taparys:

$$x_d(P) = \frac{x_d \pm T_{f_o}' x_d' p}{1 + T_{f_o}' p} = x_d \frac{1 + T_f' p}{1 + T_{f_o}' p}, \quad (7.1.3)$$

bu ýerde  $T_{f_o} = \frac{x_f}{r_f}$  – stator sarymyň üzük ýagdaýynda oýandyryjy sarymyň wagt hemişeligi;

$$T_f' = T_{f_o}' \frac{x_d'}{x_d} - \text{stator sarymynyň ýapyk}$$

ýagdaýyndaky oýandyryjy sarymynyň wagt hemişeligi.

(3) deňlemeden görnüşi ýaly bu ok boýunça operator reaktiwlik geçiş döwrüň dürli pursatlarynda dürli bahalara eýe bolýar:

1. Eger  $p=\infty$ ,  $t=0$ , geçiş hadysanyň başlangyç pursaty. Bu ýagdaýda operator reaktiwlik geçiş reaktiwlige deň bolýar, ýagny:

$$X_d(P) = X_d'. \quad (7.1.4)$$

2.  $p=0$ ;  $t=\infty$ , ýagny geçiş hadysanyň durnuklanan pursaty. Bu ýagdaýda operator reaktiwlik sinhron reaktiwlige deň bolýar:

$$X_d(P) = X_d \quad (7.1.5)$$

Eger sinhron maşyn dempfer sarymlar bilen üpjün edilen bolsa onda onuň oklar boýunça operator reaktiwlikleri çalşyryjy shemalaryň esasynda tapylýar. Ol aňlatmalar örän

çylşyrymly, şonuň üçin olary bu ýerde getirmekden saklanýarys.

## 7.2. Generatoryň oýandyryjy sarymyny hemişelik naprýaženiýa birikdirilendäki geçiş hadysalary

Sinhron tizlik bilen aýlanýan generatora seredeliň. Goý onuň stator sarymlary açyk bolsun we rotorynda dempfer sarym ýok diýip hasap edeliň. Onda başlangyç şertler aşakdy ýaly bolar:

$$\left. \begin{aligned} i_d(t) = i_q(t) &= 0; \\ U_f(t) &= \text{const, ýa-da } U_f(p) = \frac{U_f}{p} \end{aligned} \right\} \quad (7.2.1)$$

bu şertleri hasaba alyp sinhron generatoryň operator deňlemelerini aşadaky ýaly ýazyp bileris:

$$\left. \begin{aligned} U_d(p) &= -px_{ad}i_f(p); \\ U_q(p) &= x_{ad} \cdot i_f(p); \\ U_f(p) &= \frac{U_f}{p} = px_f i_f(p) + r_f \cdot i_f(p) \end{aligned} \right\} \quad (7.2.2)$$

bu ýerde  $U_f$  – çeşmäniň naprýaženiýesi. Iň soňky deňlemeden toguň operatoryny tapalyň, soň bolsa originala geçeliň:

$$\dot{i}_f(p) \stackrel{\cdot}{=} i_f(t) = i_f(1 - e^{-\frac{t}{T_{f0}}}) 0, \quad (7.2.3)$$

Bu ýerde  $i_f = \frac{U_f}{r_f}$  – durnuklanan tok.

Şol prossedurany amala aşyryp oklaryň naprýaženiýeleri üçin taparys:

$$\left. \begin{aligned} U_d(t) &= \frac{i_f}{T_{fo}} x_{ad} l^{-\frac{t}{T_{fo}}} = \frac{E_q}{T_{fo}} l^{-\frac{t}{T_{fo}}} \\ U_q(t) &= x_{ad} \cdot i_f (1 - e^{-\frac{t}{T_{fo}}}) = E_q (1 - e^{-\frac{t}{T_{fo}}}), \end{aligned} \right\} \quad (7.2.4)$$

bu ýerde  $E_q = x_{ad} \cdot i_f$  – tok boýunça durnuklanan sinhron elektrik herekete getiriji.

Bu deňlemeleri aşakdaky deňlemä goýup taparys:

$$\begin{aligned} U_A &= U_d \cdot \cos \gamma + U_q \cdot \sin \gamma = \frac{E_q e^{-\frac{t}{T_{fo}}}}{T_{fo}} \cdot \cos(\omega t + \gamma_o) + \\ &+ E_q (1 - e^{-\frac{t}{T_{fo}}}) \sin(\omega t + \gamma_o) \end{aligned} \quad (7.2.5)$$

bu ýerde birinji düzüji transformator elektrik herekete getirijidir, ikinjisi bolsa aýlaw elektrik herekete getirijidir. Eger  $T_{fo} = 1500 \div 3000$  pag. Şonuň üçin transformator elektrik herekete getiriji aýlaw elektrik herekete getirijiden köp esse kiçidir. Şonuň üçin transformator elektrik herekete getirijini hasaba almasak hem bolýar. Onda generatoryň naprýaženiýesi aşakdaky formula boýunça kesgitlener:

$$U_A = E_q (1 - e^{-\frac{t}{T_{d'o}}}) \sin(\omega t + \gamma_o) \quad (7.2.6)$$

bu formula uzoboýa dempfer sarym bar ýagdaýy üçin adalatlydyr. Bu ýerde wagt hemişeligi:

$$T_{do} \approx T_{fo} + T_{ldo} \quad (7.2.7)$$

$T_{ldo}$  – uzoboýa dempfer sarymyň wagt hemişeligidir.



## 8. Sinhron maşynyň magnit meýdanyny öçürmekde geçiş hadysalary

Eger hatardan çykma sinhron maşynyň içinde bolsa ýa-da öçüriji enjama çenli bolsa, onda awariýany duzduzmaklygyň ýeketäk usuly bolup diňe magnit meýdany öçürmeklik hyzmat edýär. Magnit meýdany öçürmeklik diýilip oýandyryjy togy nula çenli azaltmaklyga düşünilýär.

Oýandyryjy togy azaltmak üçin ulanylýan gurallara meýdany öçüriji awtomatlar diýilýär. Bu gurallar aşakdaky talaplary ödemelidirler:

1. Meýdany öçürmekligiň wagty mümkin boldugyça kiçi bolmalydyr.
2. Meýdany öçürilýän wagtda oýandyryjy sarymyň uçlarynda naprýaženiýe ol sarymyň izolýasiýasynyň saklap biljek naprýaženiýesinden uly bolmaly däl.

Bu iki talap bir-birine çapraz gelýärler, şonuň üçin ol ikisiniň ylalaşykly ýagdaýyny tapmak gerek.

Öçürme wagty diýip meýdany öçürip başlan pursatymyzdan statoryň elektrik herekete getirijisi üýtgeýän toguň dugasynyň öz-özünden öçýän naprýaženiýesine çenli azalmagyna sarp edilýän wagta düşünilýär. Bu naprýaženiýe 150 W çemesidir.

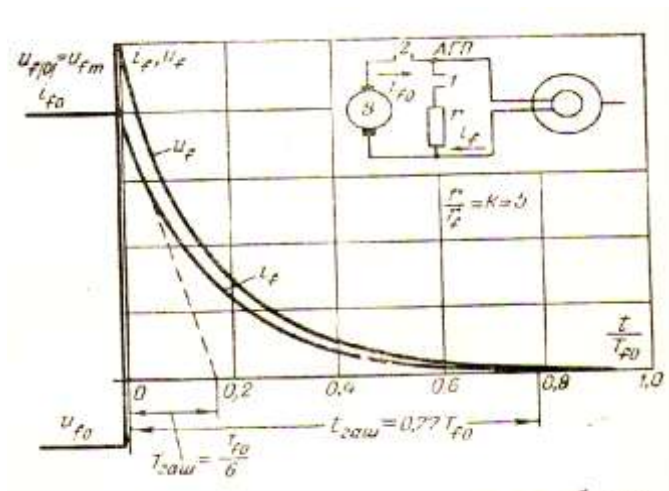
Izolýasiýanyň çydap bilýän naprýaženiýesi aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$U_{\text{ç}} \leq 0,7 \cdot U_s$$

bu ýerde  $U_s$  – oýandyryjy sarymyň izolýasiýasynyň synag naprýaženiýesi. Ol 1500-5000 W çemesi çäkde bolýar.

Häzirki wagtda meýdany öçürmekligiň köp usullary bar. Olardan has köp ýaýrany adaty usuldyr. Bu usula laýyklykda meýdany öçürmeklik üçin oýandyryjy sarymy oýandyryjydan aýyryp aktiw garşylyga birikdirmek ýeterlidir. Bu usulyň shemasy we naprýaženiýäniň we toguň wagty

boýunça üýtgeýşi 8-5-nji çyzgyda görkezilendir. Meýdany öçürmeklik üçin 2-kontakly açmaklyk we 1-kontakly birikdirmek gerek. Bu ýagdaýda oýandyryjy sarymda ýygňalan energiýa razrýad garşylykda ýylylyk görnüşde bölünip çykýar.



8.1-nji çyzgy. Adaty duga öçüriji gurnama ulanylanda toguň we napýaženiýäniň üýtgemegi.

Eger dempfer sarym ýok diýip hasap etsek oýandyryjy tok aşakdaky kanun esasynda azalýar:

$$i_f = i_{f0} e^{-\frac{t}{T_o}} \quad (8.1)$$

Öçürme wagt hemişeligi

$$T_o = \frac{L_f}{r + r_f} = T_{f0} \frac{1}{q + k}, \quad (8.2)$$

bu ýerde  $k=r/r_f$  – razrýad garşylygyň kratnylygy;  
 $r$  – razrýad garşylygyň ululygy;  
 $r_f$  – oýandyryjy sarymyň aktiw  
garşylygy;

Oýandyryjy sarymyň naprýaženiýesi oýandyryjy toga proporsionaldyr. Onuň iň uly bahasy başlangyç pursatda bolýar, ýagny:

$$U_{fm}=U_{fo}/=K\cdot U_{fo}$$

Razrýad garşylygyň bahasy praktikada  $r=(3\div 5)r_f$  aralykda alynýar.

Bu usulyň iň uly kemçilikleriniň biri, onuň öçürme wagty uly bolýar we formula bilen kesgitlenýär.

$$t_{\delta} = T_{fo} \frac{1}{1+k} \ln N, \quad (8.3)$$

Eger  $N=i_{fo}/i_{fo}=100$   $k=5$ , diýip kabul etsek, onda öçürme wagty  $t_{\delta}=0,77T_{fo}$  bolýar.

Öçürme wagty eger oýandyryjy tok göni çyzyk boýunça kiçelse iň az bahasyny alýar. Togy göni çyzygyň kanuny boýunça azaltmak üçin köp usullar hödürlenilen. Olaryň arasynda iň gowusy gysga duganyň häsiýetini ulanýan usuldyr. Gysga duganyň üstüne düşýän naprýaženiýe onuň üstinden geçýän tokdan bagly däl we takmynan 30 W deňdir. Bu usuly uly naprýaženiýelere ulanmak üçin bir näçe gysga duga yzygiderli birikdirilýärler. Oňa duga söndüriji gözenek diýilýär. Bu duga köp  $Om$  garşylygy bolan az kuwwatly aktiw garşylyk bilen şuntirlenýär. Bu çäre toguň azalmagy bilen kâbir gysga dugalaryň öçmegi zerarly döreýän aşa naprýaženiýani çäklendirmek üçin ulanylýar.

Bu usulda tok aşakdaky aňlatma boýunça üýtgeýär:

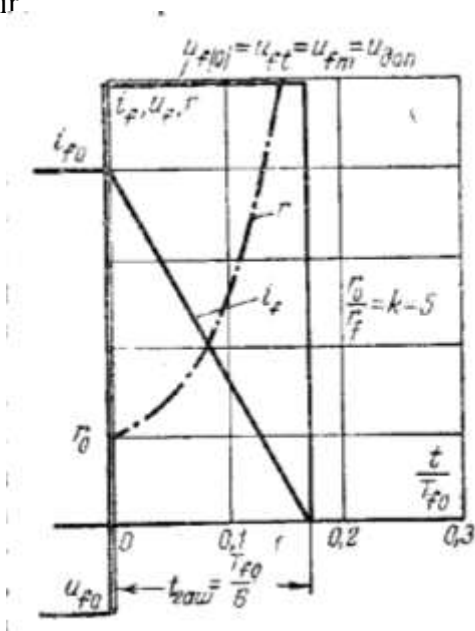
$$i_f = i_{fo} - \frac{U_{\xi}}{L_f} \cdot t \quad (8.4)$$

Bu usul ulanylanda öçürme wagty aşakdaky aňlatmadan kesgitlenýär:

$$t_{\ddot{o}} = T_{fo} \frac{1}{k} \quad (8.5)$$

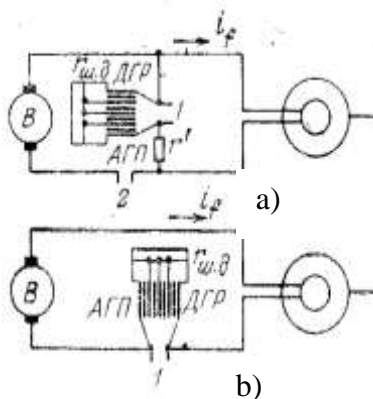
Öňki getirilen şertde  $t_{\ddot{o}} = 0,2 T_{fo}$ .

Toguň we naprýaženiýanyň üýtgeýşi 8.6-njy çyzgyda görkezilendir.



8.2-nji çyzgy. Dugasöndüriji gözenekli gurnama ulanylanda naprýaženiýanyň we toguň üýtgemesi.

Bu usul ulanylanda DÖG-iň iki hili birikdiriliş usuly bar, ýagny parallel we yzygider birikdiriliş usullary (8.3-nji çyzgy). Bu usullaryň arzany yzygider birikdirilişdir. Ondan başga-da yzygider birikdirilende oýandyryjy naprýaženiýäniň bir bölegini öz üstüne alýar we oýandyryjy sarymyň işini ýeňilleşdirýär.



8.3-nji çyzgy. Parallel we yzygider birikdirilen  
duga öçüriji gurnama.

## 9. Ulgamyň simmetriýasy bozulandaky geçiş hadysalary

### Umumy ýagdaýlar

Aşakda seretjek geçiş hadysalarymyz ulgamyň simmetriýasynyň diňe bir nokatda bozulan haly bilen çäklenendir. Şeýle simmetriýasyzlyga bir kratny simmetriýasyzlyk diýilýär. Kese simmetriýasyzlyk diýip simmetriki däl gysga utgaşmalaryň islendik görnüşine aýdylýar. Uzoboýa simmetriýasyzlyk bolup bolsa bir fazaly we iki fazaly üzülmelere aýdylýar.

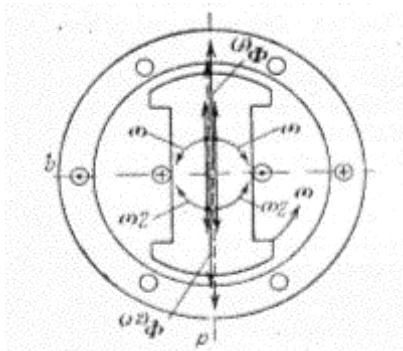
Simmetriki däl geçiş hadysalaryny derňemeklik örän kyn bolýar, sebäbi bu ýagdaýda ähli ýokary garmonikalar döreýär. Üstüne-de dürli garmonikaly toklar we dürli ýygyllykly toklar özara baglanyşykda bolýar. Şonuň üçin simmetriki däl gysga utgaşmany diňe toklaryň we naprýaženiýeleriň birinji garmonikalaryny hasaba alyp derňemeklik mümkin.

## 9.1. Ýokary garmonikalaryň döremegi

9.1-nji çyzga seredeliň. Goý diňe A faza boýunça tok akýar diýeliň. Bu ýagdaýda döreýän magnit meýdany giňişlikde gozganmaýar, ýagny aýlanmaýar. Bu pulsirlenýän akymy iki sany deň ululykly düzüjä böleliň. Ol düzüjiler stora görä dürli taraplara  $\omega$  tizlik bilen aýlanýar diýeliň. Rotoryň aýlanýan tarapyna aýlanýan düzüji oňa görä gozganmaýar. Beýleki, rotoryň garşysyna aýlanýan, düzüji rotora görä  $2\omega$  tizlikde bolýar we oýandyryjy sarymda  $2\omega$  ýygylýkly tok döredýär. Bu tok bolsa  $2\omega$  ýygylýkly pulsirlenýän magnit meýdanyny döredýär. Bu meýdany hem öňki ýaly iki sany deň ululykly düzüjä dargadaly. Ol düzüjiler rotora görä  $2\omega$  tizlik bilen dürli taraplara aýlanýar diýip hasap edeliň. Rotoryň aýlanýan tarapynyň garşysyna aýlanýan düzüji statora görä  $\omega$  tizlik bilen aýlanýar. Rotoryň aýlanýan tarapynyň garşysyna aýlanýan düzüji statora görä  $3\omega$  tizlik bilen aýlanýar we stator sarymlarynda  $3\omega$  ýygylýkly tok döreýär.

Şeýle oýanmalary dowam edip statoryň fazalarynda ähli garmonikaly toklaryň döreýändigine göz ýetirip bolar.

Eger rotoryň  $d$  we  $q$  oklarynda kämilleşdirilen dempfer sarymlar bar bolsa, onda döreýän ýokary garmonikaly toklar amplitudalary boýunça gaty kiçelýärler ýa-da ýok bolýarlar. Ýokary garmonikalar turbogeneratorlarda hem döremeýärler.



9.1-nji çyzgy. Anyk polýusly sinhron maşynyň shemasy.

## 9.2. Simmetriki düzüjiler usulyny ulanmak

Bu usul simmetriki zynjyrlarda simmetriýa bozulanda durnuklanan ýagdaýlary hasaplamak üçin niýetlenendir. Eger ýokary garmonikalary hasaba almasak bu usul simmetriki däl geçiş hadysalaryny hasaplamaga hem ýaraýar.

Eger simmetriki ýasalan enjam toguň göni, ters we nul yzygiderliklerine deňşlilikde  $z_1, z_2, z_0$  garşylyk görkezýän bolsa, onda onuň üstüne düşýän naprýaženiýeleriň düzüjileri indiki aňlatmalar bilen häsiýetlendiriler:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \dot{U}_1 &= z_1 \cdot \dot{I}_1 \\ \Delta \dot{U}_2 &= z_2 \cdot \dot{I}_2 \\ \Delta \dot{U}_0 &= z_0 \cdot \dot{I}_0 \end{aligned} \right\} \quad (9.2.1)$$

$z_1, z_2, z_0$  – deňşlilikde garşylygyň göni, ters we nul yzygiderlikleri. Olar şol bir element üçin hem umuman dürli-dürlidirler.

Islendik simmetriki däl gysga utgaşma üçin Kirhgofyň ikinji kanunyny dürli yzygiderlikler üçin aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \dot{U}_{k1} &= \dot{E}_\Sigma - z_{1\Sigma} \cdot \dot{I}_{k1} \\ \Delta \dot{U}_{k2} &= 0 - z_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{k2} \\ \Delta \dot{U}_{k0} &= 0 - z_{0\Sigma} \cdot \dot{I}_{k0} \end{aligned} \right\} \quad (9.2.2)$$

bu ýerde -  $U_{k1}, U_{k2}, U_{k0}$  – gysga utgaşma nokadyndaky naprýaženiýanyň simmetriki düzüjileri;

$I_{k1}, I_{k2}, I_{ko}$  – gysga utgaşma nokadyndaky toguň simmetriki düzüjileri;

$E_{\Sigma}$  - gysga utgaşma nokadyna görä göni, ters we nul yzygiderlikli shemalaryň jemleýji garşylyklary.

(2) deňlemelerden görnüşi ýaly ters we nul yzygiderlikli toklar gysga utgaşma nokadynda döreýän ters we nul yzygiderlikli napryaženiýeleriň netijesi hökmünde seredip bolar.

(3) deňlemeler alty näbellini saklaýarlar. Şonuň üçin ýetmeýän üç deňlemäni araçäk şertlerden alyp bolar.

Bu usula görä ilki faza ululyklardan simmetriki düzüjilere aşakdaky formulalar arkaly geçilýär:

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_0 &= \frac{1}{3}(\dot{F}_A + \dot{F}_B + \dot{F}_C) \\ \dot{F}_1 &= \frac{1}{3}(\dot{F}_A + a \cdot \dot{F}_B + a^2 \cdot \dot{F}_C) \\ \dot{F}_2 &= \frac{1}{3}(\dot{F}_A + a \cdot \dot{F}_B + a^2 \cdot \dot{F}_C) \end{aligned} \right\} \quad (9.2.3)$$

Ondan soň mesele simmetriki düzüjilere görä işlenýär. Faza ululyklar simmetriki düzüjileriň esasynda aşakdaky aňlatmalar esasynda tapylýar:

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_A &= \dot{F}_{A1} + \dot{F}_{A2} + \dot{F}_0 \\ \dot{F}_B &= a^2 \dot{F}_{A1} + a \cdot \dot{F}_{A2} + \dot{F}_0 \\ \dot{F}_C &= a \dot{F}_{A1} + a^2 \cdot \dot{F}_{A2} + \dot{F}_0 \end{aligned} \right\} \quad (9.2.4)$$

Bu formulalarda  $a = e^{j120} = -0,5 + j\sqrt{3}/2$  faza köpeldijisi diýilýär.



## 10. Elementleriň toguň dürli yzygiderliklerine görkezýän garşylyklary

1. Dürli yzygiderlikli garşylyklary kesgitlemek üçin umumy düzgün.
2. Sinhron we asinhron maşynlaryň, ýükleriň, transformatorlaryň we awtotransformatorlaryň, howa we kabel liniýalaryň dürli yzygiderlikli toklara garşylyklary.

1. Umuman seredilende her haýsy element toguň dürli yzygiderliklerine dürli garşylyk görkezýärler. Häzir bu garşylyklary kesgitlemek üçin umumy düzgüne seredeliň.

Eger elementiň fazalarynyň arasynda magnit baglanyşyk ýok bolsa, onda ol elementiň garşylyklary dürli yzygiderlikler üçin deňdir:

$$\begin{aligned}r_1 &= r_2 = r_0 \\x_1 &= x_2 = x_0\end{aligned}\quad (10.1)$$

Mysal: reaktor, transformatorlar.

Eger elementiň fazalary arasynda magnit baglanyşyk bar bolsa, ýöne fazalar gozganmaýan bolsalar, onda ol element üçin göni we ters yzygiderlikli garşylyklar bir-birine deňdirler:

$$\begin{aligned}r_1 &= r_2 \neq r_0 \\x_1 &= x_2 \neq x_0 \\z_1 &= z_2 \neq z_0\end{aligned}\quad (10.2)$$

Mysal: transformatorlar, awtotransformatorlar.

Eger elementiň fazalary arasynda magnit baglanyşyk bar bolsa we fazalar aýlanan bolsalar, onda ol elementiň dürli yzygiderlikli garşylyklary dürlidirler.

$$\begin{aligned}r_1 &\neq r_2 \neq r_0 \\x_1 &\neq x_2 \neq x_0 \\z_1 &\neq z_2 \neq z_0\end{aligned}\quad (10.3)$$

## 10.1. Sinhron maşynlar

Sinhron maşynlaryň göni yzygiderlikli garşylyklary olaryň simmetriki düzgün döwründäki garşylyklarydyr ( $x_d$ ,  $x_d'$ ,  $x_d''$ ,  $x_q$ ,  $x_q'$ ,  $x_q''$ ).

Sinhron maşynyň ters yzygiderlikli garşylygy aşakdy üç formulaň haýsam bolsa biri bilen hasaplanýar:

1. Dempfer sarym ýok mahaly

$$x_2 = \frac{2x_d'x_q}{x_d' + x_q} \quad (10.1.1)$$

$$x_2 = \frac{x_d' + x_q}{2} \quad (10.1.2)$$

$$x_2 = \sqrt{x_d' \cdot x_q} \quad (10.1.3)$$

Iň takyk netijäni (10.1.3) formula berýär, sebäli ol ýokary garmonikary hasaba alýar.

2. Dempfer sarym bar mahaly.

$$x_2 = \frac{2x_d'x_q''}{x_d'' + x_q''} \quad (10.1.4)$$

$$x_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2} \quad (10.1.5)$$

$$x_2 = \sqrt{x_d'' \cdot x_q''} \quad (10.1.6)$$

Gödegiräk hasaplarda  $x_2 \approx x_d''$ .

Nul yzygiderlikli toklar diňe ýaýraýan magnit meýdany döredýärler. Bu meýdan göni we ters yzygiderlikli toklaryň döredýän magnit meýdanlaryndan köp kiçidirler. Şonuň üçin nul yzygiderlikli reaktiwlik sarymyň kysymyndan baglydyr we giň çäklerde üýtgeýärler:

$$x_0 = (0,15 \div 0,6) x_d'' \quad (10.1.6)$$

## 10.2. Asinhron maşynlar

Bu maşynlaryň göni yzygiderlikli reaktiwligi  $S_H$  typma koeffisiýentinde kesgitlenýär, aşageçişli reaktiwlik bolsa  $S=I$  ýagdaýda kesgitlenýär. Ters yzygiderlikli yzygiderlik ( $2-S_H$ ) typma koeffisiýentinde kesgitlenýär. Çyzgyda görnüşine görä  $S=I$  we  $S=2-S_H$  reaktiwlikler bir-birinden örän az tapawutlanýarlar. Şonuň üçin  $Am$  ters yzygiderlikli reaktiwligi aşakdaky formuladan kesgitlenýär.

$$x_{*2} \approx x_{*S=1} = x_{*AM}^{//} = \frac{1}{I_{*goý}} \quad (10.2.1)$$

Asinhron maşynlaryň hem nul yzygiderlikli reaktiwligi ýaýraýan magnit meýdan bilen kesgitlenýär. Ol bolsa maşynyň kysymyndan, sarymyň kysymyndan bagly. Ol reaktiwligiň belli bir bahasyny getirmek mümkin däl, şonuň üçin zawod tarapyndan berilen bahalardan peýdalanmak gerek bolýar.

## 10.3. Umumylaşdyrylan ýükler

Ýükleriň esasyň asinhron hereketlendirijiler düzýärler (80%). Şonuň üçin orta kysymly umumylaşdyrylan ýükler üçin ters yzygiderlikli reaktiwlik üçin aşakdaky sandan peýdalanmak ýeterlikdir.

$$x_{*2} = 0,35 \quad (10.3)$$

Bu reaktiwlik ýüküň doly kuwwatyna (MBA) we onuň birikdirilen özara nominal naprýaženiýesine (kW) getirilendir.

Umumylaşdyrylan ýüküň nul yzygiderlikli reaktiwligi onuň düzümine girýän peseldiji transformatorlaryň birikdirilişi toparyndan baglydyr.

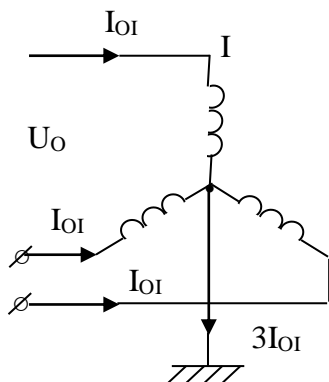
## **11. Güýç transformatorlary**

Güýç transformatorlarynyň göni we ters yzygiderlikli reaktiwlikleri olaryň normal düzgündäki reaktiwliklerinde deň. Şonuň üçin olaryň diňe nul yzygiderlikli reaktiwliklere seretmek bilen çäkleneliň. Nul yzygiderlikli reaktiwlik transformatorlaryň konstruksiýasy we sarymlaryň birikdirilişi bilen kesgitlenýär.

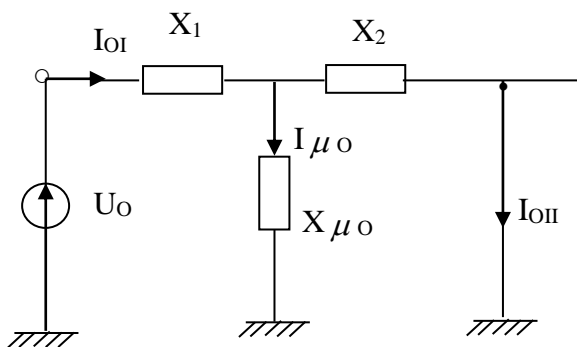
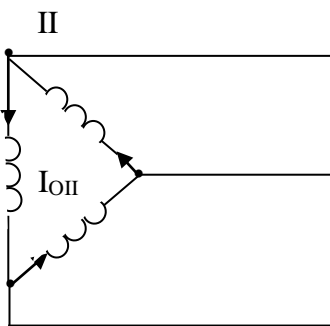
Güýç transformatorlarynyň nul yzygiderlikli reaktiwligi diňe nul yzygiderlikli naprýaženiýe onuň ýere birikdirilen ýyldyz görnüşli sarymy tarapyndan goýlanda kesgitli bolýar. Eger bozulma transformatoryň üçburçlyk ýa-da ýere birikmedik ýyldyz tarapynda bolsa, onda bu transformatoryň nul yzygiderlikli reaktiwligi tükeniksizlige deňdir.

### **11.1. Iksarymly transformatorlar**

Şeýle transformatorlar üçin üç hili birikdiriliş warianty bolup biler. Olar aşakdaky çyzgylarda görkezilen.



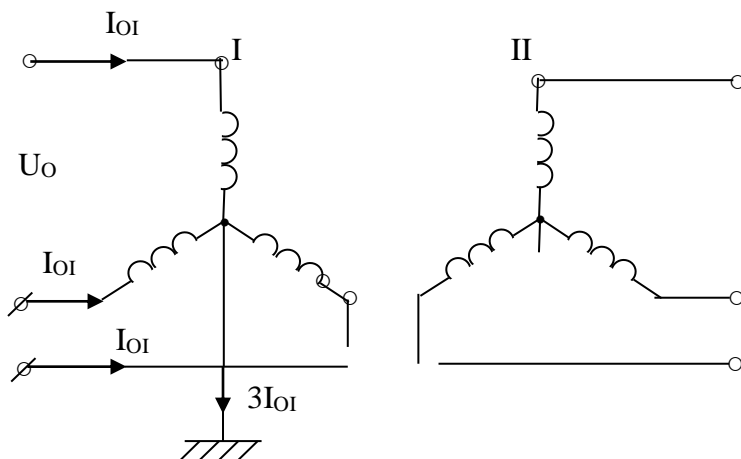
11.1.1-nji a çyzgy



11.1.1-nji b çyzgy.

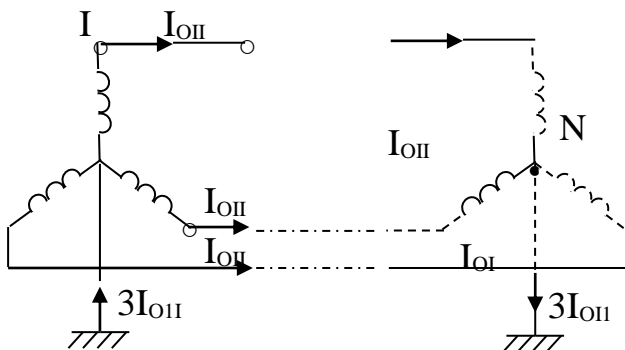
11.1.1-nji a çyzgyda transformatoryň  $\gamma_o/\gamma$  görnüşli birikdirilişi görkezilen. Bu ýagdaýda nul yzygiderlikli tok birinji sarymda döreyär. Toklaryň hemmesi üç faza boýunça bir tarapa ugrykdrylan. Şonuň üçin ol yzyna ýeriň üsti bilen gaýdyp barýar. Ikinji sarymda nul yzygiderlik tok diňe transformatorlaryň sarymlary boýunça birikýär, transformatorlaryň daşyna, ýagny sete tok gitmeýär. Birinji sarymyň togy diňe magnitlendiriji we ikinji sarymyň toklary bilen deňagramlaşýar. Aýdylana gabat gelýän çalşyryjy shema 11.1.1-nji b çyzgyda görkezilen. Nul yzygiderlikli reaktiwlik aşakdaky ýaly kesgitlenýär.

$$x_0 = x_1 + \frac{x_2 \cdot x_{\mu 0}}{x_2 + x_{\mu 0}} \quad (11.1.1)$$

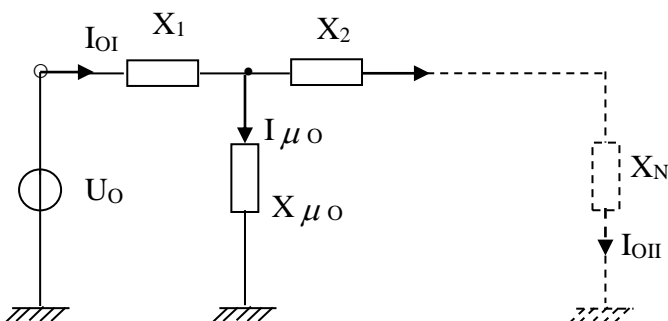


11.1.2-nji a çyzgy.





11.1.3-nji a çyzgy.



11.1.3-nji b çyzgy.

11.1.3-nji a çyzgyda transformatoryň  $\gamma_o/\gamma$  birikdirilen warianty görkezilen. Bu ýagdaýda ikinji sarymyň ugrunda ýere birikdirilen neýtrally ýük bar diýip hasap edilýär. Nul yzygiderlikli toklar birinji we ikinji sarymyň ugrunda ýere birikdirilen neýtrally ýük bar diýip hasap edilýär. Nul yzygiderlikli toklar birinji we ikinji sarymlarda döreýär. Bu toklar diňe ýer boýunça yzyna gaýdyp barýarlar. Çalşyryjy shemada 3,b çyzgyda görkezilen. Nul yzygiderlikli reaktiwlik hem çalşyryjy shemadan tapylýar.



Görkezilen shemalarda magnitlendiriji zynjyryň reaktiwligi görkezilen, ol hemme nul yzygiderlikli reaktiwlikleriň düzümine girýär. Bu reaktiwligiň ululygy tranformatoryň serdeçniginiň görnüşinden bagly.

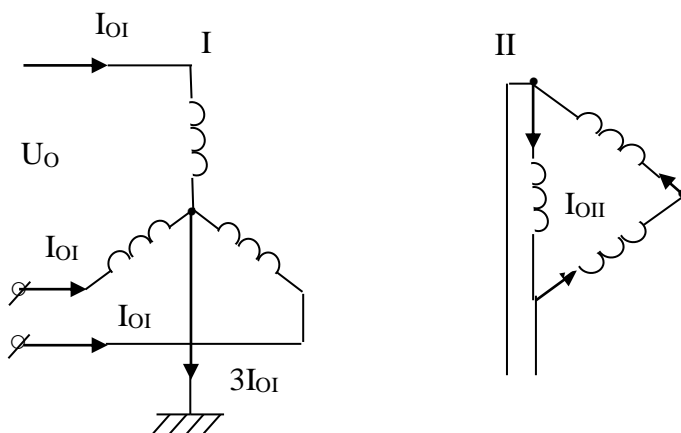
Eger transformator üç sterženli magnit geçirijili bolsa, nul yzygiderlikli magnit meýdan diňe howanyň üsti bilen yzyna gaýdyp barýar. Onuň bolsa magnit garşylygy uly. Şol sebäpli  $X_{\mu O}$  reaktiwlik örän kiçi bolýar, ýagny  $X_{\mu O} \neq \infty$ .

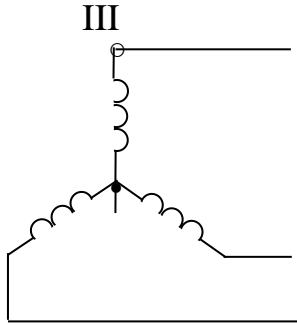
Eger transformator dört ýa-da baş sterženli bolsa magnit meýdanyna garşylyk az, şonuň üçin  $X_{\mu O}$  örän uly bolýar, ýagny,  $X_{\mu O} = \infty$ .

## 12. Üç sarymly tranformatolar

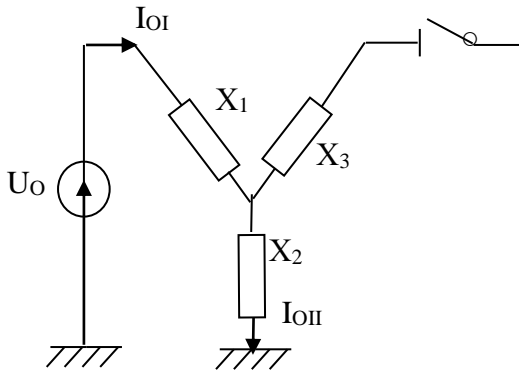
Üç sarymly transformatorlaryň haýsam bolsa bir sarymy üçburçlyk birikdirilýär. Şonuň üçin bu transformator üçin  $X_{\mu O} = \infty$  diýip kabul edip bolar.

Üç sarymly transformatorlar üçin birikdiriliş shemalary diňe üç hili bolup bilýär. Olar aşakdaky çyzgylarda görkezilen.





12.1-nji a çyzgy.

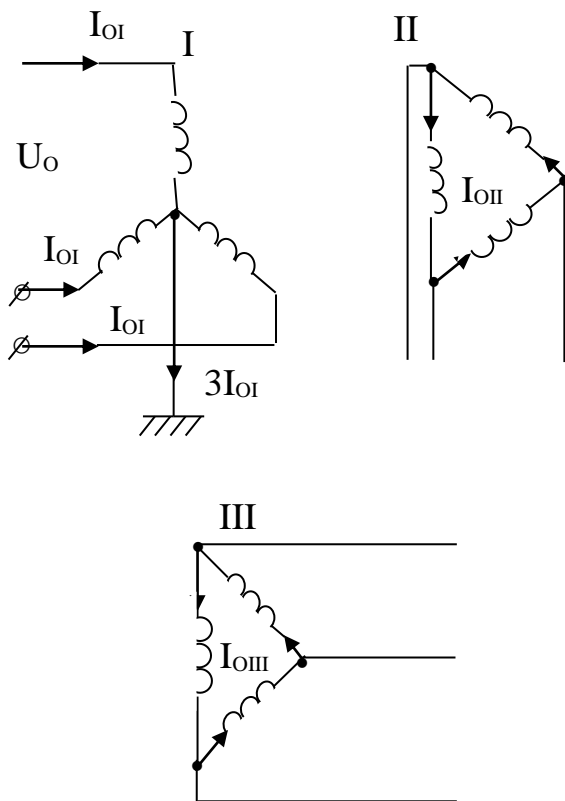


12.1-nji b çyzgy.

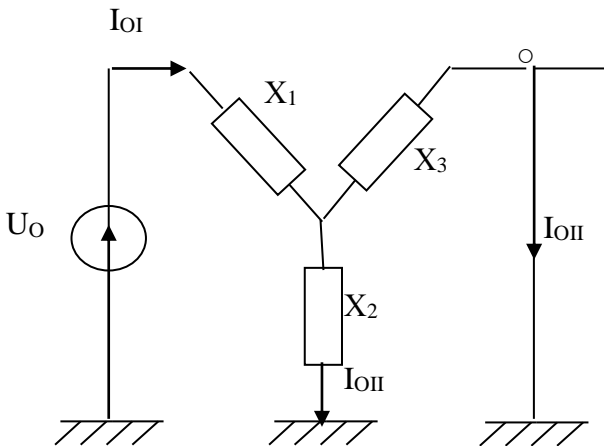
12.1-nji a çyzgyda  $\mathcal{Y}_o / \Delta / \mathcal{Y}$  görnüşli birikdirilen üç sarymly transformator görkezilen, 1,b çyzgyda bolsa onuň çalşygy shemasy görkezilen. Nul yzygiderlikli tok birinji we ikinji sarymlarda döreyär, üçünji sarymda bolsa beýle tok döremeýär. Muny çalşyryjy shemadaky  $X_3$  reaktiwligiň

soňundaky ýolunma görkezýär. Nul yzygiderlikli reaktiwlik aşakdaky ýaly kesgitlemek:

$$X_o = X_1 + X_2 \quad (12.1)$$



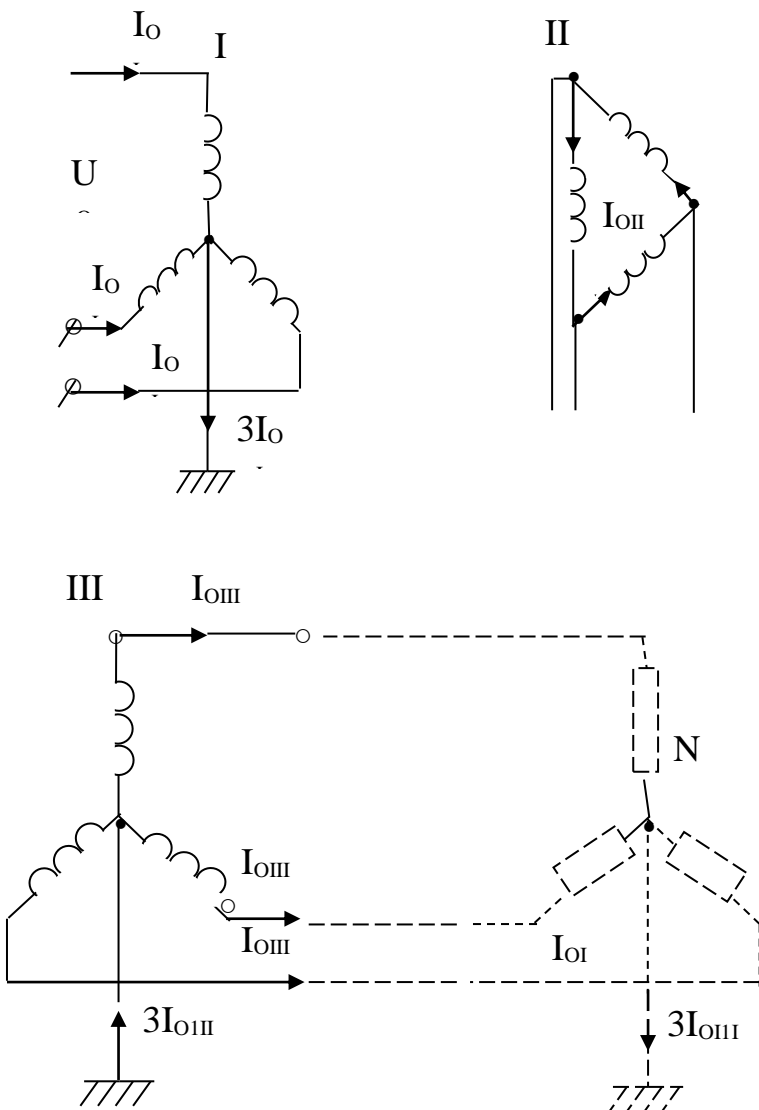
12.2-nji a çyzgy



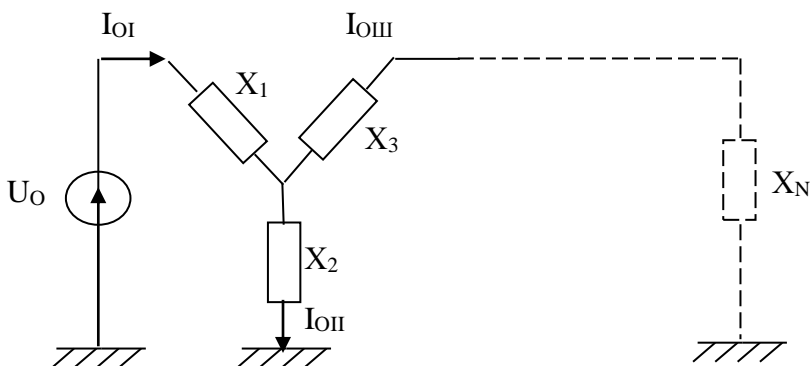
12.2-nji b çyzgy.

12.2-nji a çyzgyda  $\text{Y}_o / \Delta / \text{Y}$  görnüşli birikdirilen üç sarymly transformator görkezilen, 2,b çyzgyda bolsa onuň çalşyjy shemasy görkezilen. Bu ýagdaýda nul yzygiderlikli tok üç sarymda hem döreýär. Birinji sarymda dörän tok ýeriň üsti bilen yzyna gaýdyp barýar. Ikinji we üçünji sarymlarda bolsa dörän nul yzygiderlikli toklar diňe sarym boýunça birikýärler. Bu ýagdaýyň  $X_2$  we  $X_3$  reaktiwlikleriň yzyndan goýlan ýere birikdirmeler görkezýär. Transformatoryň nul yzygiderlikli reaktiwligi aşadaky ýaly kesgitlenýär:

$$X_o = X_1 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_2 + X_3} \quad (12.2)$$



12.3-nji a yzgy.



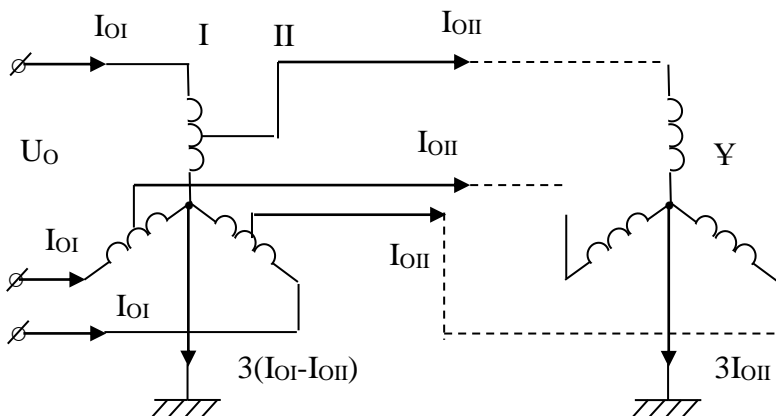
12.3-nji b çyzgy.

12.3-nji a çyzgyda  $\gamma_o / \Delta / \gamma$  görnüşli birikdirilen transformator görkezilen. Bu ýagdaýda üçünji sarymyň dowamynda neýtraly ýere birikdirilen ýük bar diýip hasap edilýär. Şonuň üçin bu ýagdaýda nul yzygiderlikli tok üç sarymda hem döreýär. Nul yzygiderlikli reaktiwlik çalşyryjy shemadan kesgitlenýär.

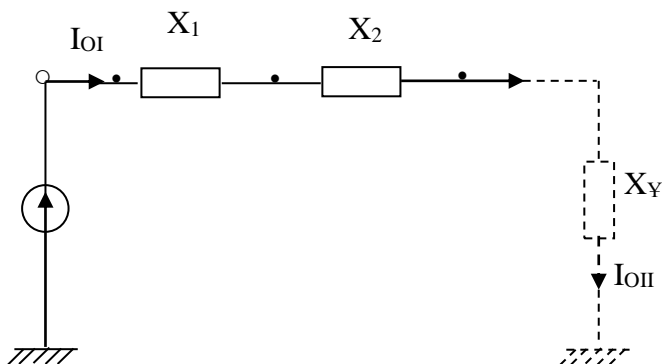
### 13. Awtotransformatorlar

Awtotransformatorlaryň aýratynlygy olaryň sarymlarynyň arasynda magnit baglansýykdan başga-da elektrik baglansýyk hem bar. Şonuň üçin olarda nul yzygiderlikli toklaryň akmagy üçin başga şertler döreýär. Kä halatlarda awtotransformatorlaryň neýtraly ýere birikmedik ýagdaýynda-da nul yzygiderlikli toklara akmaga mümkinçilik döreýär.

Transformatorlar ýaly awtotransformatorlarda hem nul yzygiderlikli naprýaženiýe onuň ýere birigen neýtraly tarapyndan goýlanda bir atly tok akyp biler.



13.1-nji a çyzgy.

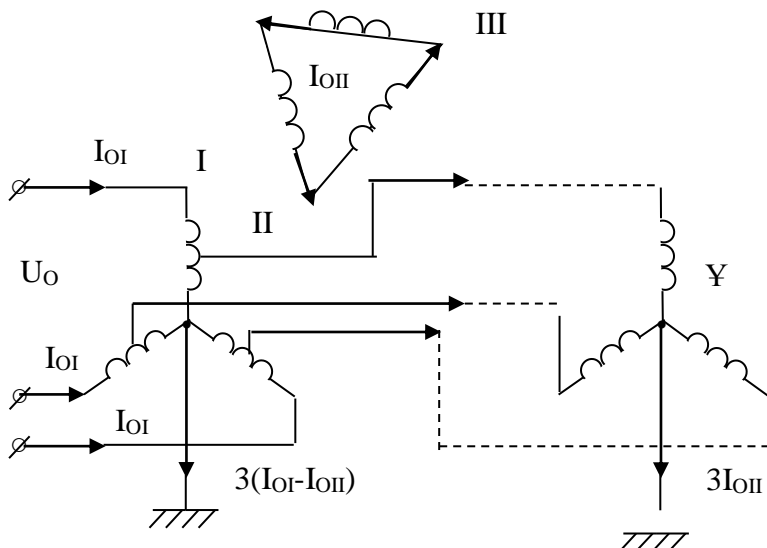


13.1-nji b çyzgy.

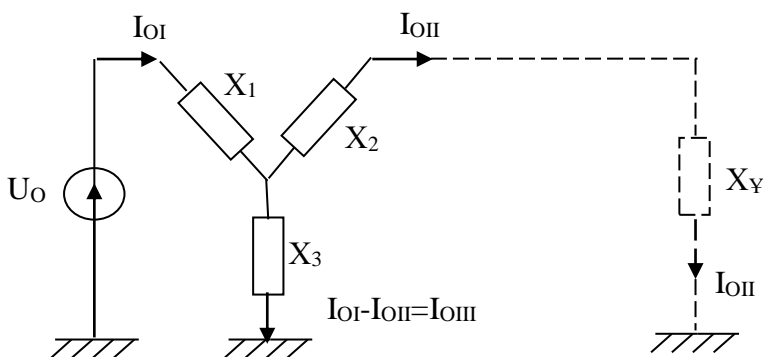
13.1-nji a çyzgyda ikisarymly awtotransformator şekillendirilen, 13.1-nji b çyzgyda bolsa onuň çalşyryjy shemasy görkezilen.  $X_1$  we  $X_2$  onuň sarymlarynyň reaktiwligi,  $X_Y$  ýüküň reaktiwligi. Bu ýerde magnitlendiriji zynjyryň reaktiwligi hasaba alynmadyk. Şonuň üçin awtotransformatoryň

sarymlarynyň ýaýraýan magnit meýdany tarapyndan döredilýän reaktiwlik görkezilen.

Egerde awtotransformator üç sarymly bolsa, ol sarym köplenç üçburçlyk birikdirilen bolýar.



13.2-nji a çyzgy.



13.2-nji b çyzgy.



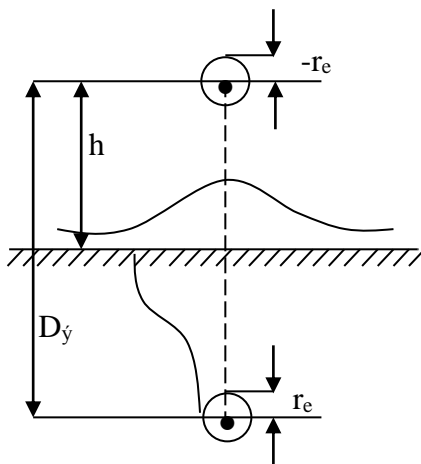
13.2-nji a çyzgyda üçsarymly awtotransformator, 13.2-nji b çyzgyda bolsa onuň çalşyryjy shemasy çyzgylandyrylan. Bu ýerde üçünji sarym üçburçlyk görnüşinde birikdirilen we ol beýleki sarymlar bilen diňe magnit baglansykda bolýar. Çalşyryjy shemadan görnüşi ýaly neýtralda akýan tok birinji we ikinji zynjyrlaryň nul yzygiderlikli toklarynyň tapawutlarynyň üçeldilen hasylyna deň. Olaryň her biri öz basgançagyynyň naprýaženiýesine gatnaşdyrylan bolmaly. Şol sebäpli awtotransformatoryň neýtralyna birikdirilen reaktiwlik çalşyryjy shema üçeldilen bahasy bilen girizilýär.

Eger awtotransformatoryň üçünji sarymy ýok bolsa, onda neýtraly ýolunan ýagdaýynda şeýle awtotransformator boş işleýän düzgüne geçýär. Onuň magnitlendiriji togy örän az bolýar we ony hasaba alynanok, şonuň üçin şeýle awtotransformator üçin  $x_{\mu 0} = \infty$ .

Eger awtotransformator üçburçlyk birikdirilen üçünji sarym bilen üpjün edilen bolsa, onda neýtral üzülen ýagdaýynda hem nol yzygiderlikli tok akyp biler.

## 14. Howa liniýalary

Nol yzygiderlikli toklar ýerden dolanyp yzyna barýarlar, olar az garşylykly ýollary saýlap alýarlar, ýagny, demir ýollaryň, gaz we suw turbalarynyň, ýere gömülen kabelleriň daşky metal bölekleriniň üsti bilen akýarlar. Şol bir wagtda-da olar liniýa has golaý aralyklara çekilýärler. Aşakdaky çyzgyda toguň dykzylygynyň ýeriň üsti we çuňlugy boýunça bölünişi görkezilen.



14.1-nji çyzgy

bu ýerde  $r_e$  – simiň ekwiwalent radiusy ,  
 $h$  – simiň ýer bilen aralygy,  
 $D_y$  – nul yzygiderlikli toguň ýere aralaşýan  
 çuňlugy. Toguň ýere aralaşýan ekwiwalent çuňlugy aşakdaky  
 aňlatmadan kesgitlenýär :

$$D_y = \frac{2,085}{\sqrt{f \cdot \lambda \cdot 10^{-9}}} \cdot 10^3, \quad (14.1)$$

bu ýerde  $f$  – toguň ýygylgy,  $G_s$

$\lambda$  – ýeriň udel geçirijiligi  $\frac{1}{Om \cdot sm}$

Eger ýygylgy  $f = 50Gs$  diýip hasap etsek, onda  $D_y = 935 m$ .  
 Ony köplenç 1000 m diýip kabul edýärler.

«Sim-ýer» ulgam üçin induktiw garşylyk aşakdaky ýaly  
 kesgitlenýär:

$$x_L = 0,145 \lg \frac{D_Y}{r_e}, \quad \frac{Om}{km}. \quad (14.2)$$

Simiň ekwiwalent radiusy aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

- a) togalanan mis simler üçin  $r_e (0,724 \div 0,771) r$  ;
- b) A,AC,ACS,ASY görnüşli alýumin we polat-alýumin simler üçin  $r_e = 0,95 \cdot r$ ,

bu ýerde  $r$  – simiň hakyky radiusy.

«Sim-ýer» ulgamyň aktiw garşylygy :

$$r = r_s + r_Y \quad (14.3)$$

Ýeriň aktiw garşylygy  $r_Y$  :

$$r_Y = \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4}, \quad \frac{Om}{km} \quad (14.4)$$

Eger ýygylgy  $f = 50 \text{ Gs}$  diýsek, onda  $r_4 = 0,05 \frac{Om}{km}$

„Sim-ýer“ ulgamyň özara induktiwligi bilen şertlenen garşylyk:

$$Z_M = 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_Y}{d}, \quad \frac{O}{km} \quad (14.5)$$

Üçfazly ulgam üçin  $d$  aralygy fazalaryň arasyndaky orta geometriki aralyk bilen çalyşýarlar :

$$D_{or} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{AC} \cdot d_{BC}} \quad (14.6)$$

Onda ortaça doly garşylyk

$$Z_{Mor} = 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_Y}{D_{or}}, \quad \frac{Om}{km} \quad (14.7)$$

Üçfazly birmeňzeş liniýa üçin nul yzygiderlikli garşylyk aşakdaky ýaly bolýar:

$$Z_0 = Z_L + 2Z_{Mor} \frac{Om}{km} \quad (14.8)$$

$Z_L$  – niň we  $Z_{Mor}$  bahalaryny goýup taparys :

$$Z_0 = r_s + 0,15 + j0,435 \lg \frac{D_Y}{R_{or}} , \quad \frac{Om}{km} \quad (14.9)$$

$$R_{or} = \sqrt[3]{r_e \cdot D_{or}^2} \quad (14.10)$$

Iki zynjyrlý liniýanyň nul yzygiderlikli garşylygy :

$$Z_{I-II} = 0,15 + j0,435 \lg \frac{D_Y}{D_{I-II}} , \quad \frac{Om}{km} \quad (14.11)$$

Bu aňlatma girýän orta geometriki aralyk aşakdaky ýaly tapylýar :

$$D_{I-II} = \sqrt[9]{d_{AA'} \cdot d_{AB} \cdot d_{AC} \cdot d_{AB'} \cdot d_{BB'} \cdot d_{BC'} \cdot d_{CA'} \cdot d_{CB'} \cdot d_{CC'}} \quad (14.12)$$

Ýyldyrymdan goraýan ters hem liniýanyň nul yzygiderlikli garşylygyna täsir edýär. Üçfazly bir zynjyrlý, tros bilen üpjün edilen ulgamyň nul yzygiderlikli garşylygy aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$Z_{TO} = 3 \cdot r_T + 0,15 + j0,435 \lg \frac{D_Y}{r_{eT}} , \quad \frac{Om}{km} \quad (14.13)$$

bu ýerde  $r_T$  – trosyň aktiw radiusy ;  
 $r_{eT}$  – trosyň ekwiwalent radiusy.

Takmynan hasaplarda nul we göni yzygiderlik reaktiwlikleriň gatnaşygyny aşakdaky ýaly tapyp bolar :

№	Liniýanyň häsiýetleri	$\frac{x_0}{x_1}$ gatnaşyk
1.	Trossyz bir zynjyry liniýa	3,5
2.	Polat trosly bir zynjyrly liniýa	3,0
3.	Gowy geçirijilikli trosly bir zynjyrly	2,0
4.	Trossyz iki zynjyrly liniýa	5,5
5.	Polat trosly iki zynjyrly liniýa	4,7
6.	Gowy geçirijilikli trosly iki zynjyrly liniýa	3,0

Liniýalaryň sygym garşylyklary hem bar. Emma olar ujypsyz az, şonuň üçin olar köplenç hasaba alynmaýar.

## 15. Kabel liniýalar

Kabelleriň göni we ters yzygiderlikli aktiw we induktiw garşylyklaryny howa liniýalarynyňky ýaly kesgitlep bolýar :

$$Z_1 = r_s + 0,145 \lg \frac{D_{or}}{r_e}, \quad \frac{Om}{km} \quad (15.1)$$

Köplenç kabelleriň damarlarynyň we beýleki bölekleriniň ölçeglerini kesgitlemek kyn, şonuň üçin zawodyň berlenlerini ulanýarlar.

Kabeller uly bolmadyk çuňlukda gömülýärler, şonuň üçin nul yzygiderlik garşylyklary howa liniýalarynyňky ýaly kesgitlenýärler.

Eger üç damarly kabeliň daşky örtügi geçiriji däl materialdan edilen bolsa, onda onuň nul yzygiderlikli garşylygy aşakdaky aňlatmadan kesgitlenýär :

$$Z_0 = r_s + 0,15 + j0,435 \lg \frac{D_Y}{R_{or}} \quad (15.2)$$

Bu aňlatmadaky  $R_{or}$  :

$$R_{or} = \sqrt[3]{r_e \cdot d^2} \quad (15.3)$$

bu ýerde  $r_e$  – damaryň ekwiwalent radiusy ;  
 $d$  – damarlaryň oklarynyň aralygy .

Kabelleriň daşky örtükleri köplenç geçiriji we olar bir näçe nokatdan ýere birikdirilen. Şonuň üçin olar nul yzygiderlikli toklar üçin ýere parallel ýollary döredýärler.

Bu jähtden kabelleriň örtükleri trosa meňzeş roly ýerine ýetirýärler. Toguň paýlanşyna hem örtügiň aktiw garşylygy, hem olaryň ýere birikdirmeli täsir edýärler. Bu bolsa kabelleriň nähili ýerleşdirilýändiginden bagly (tranşedemi ýa-da bloklardamy). Muny üçin nul yzygiderlikli garşylyklary hasaplamak kyn.

Praktir hasaplamalarda üç damarly kabeller üçin aşakdaky bahalary kabul edýärler

$$\begin{aligned} r_0 &\approx 10 \cdot r_1 ; \\ x_0 &\approx (3,5 \div 4,6) x_1 \end{aligned} \quad (15.4)$$

Togalak damarly kabeller üçin nul yzygiderlikli sygym garşylygy :

$$x_{co} = \frac{96,5}{1,85 + \frac{2 \cdot r}{b + B}} \cdot 10^3 , \quad Om \quad (15.5)$$

bu ýerde  $r$  – damaryň radiusy ;

$b$  – daşky örtügiň izolýasiýasynyň galyňlygy ;

$B$  – faza izolýasiýasynyň galyňlygy.

Sektor progilli damarly kabeller üçin nul we göni yzygiderlikli sygym garşylyklary bir azyrak kiçi bolýarlar. Bu azalmany aşakdaky tablisadan kesgitläp bolar :

$\frac{b+B}{2 \cdot r}$	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
n	0,70	0,82	0,87	0,9	0,94	0,96

## 16. Aýratyn yzygiderlikleriň shemalary

Islendik simmetriki däl düzgüni ýa-da prosesi hasaplanymyzda ilki bilen simmetriki düzüjiler usulyny ulanýarlar. Bu usuly ulananymyzda başda ähli yzygiderlikleriň çalşyryjy shemasyny düzýäris.

Goýlan meseläni analitiki usul bilen işlänimizde ilki düzli yzygiderlikli shemalary g.u. nokadyna görä öwürüp olaryň jemleýji garşylyklaryny tapýarys. Ondanam başga göni yzygiderlikli shemadan jemleýji elektrik herekete getirijini tapýarys.

Çalşyryjy shemalar simmetriki prosesler üçin düzülýän usul bilen düzýäris. Elementleriň garşylyklaryny atly ýa-da otnositel birlikde düzýäris. Ähli garşylyklar we elektrik herekete getirijiler saýlanyp alynan esasy basgançaga getirýäris.

### 16.1. Göni we ters yzygiderlikleriň shemalary

Göni yzygiderlikli shema simmetriki düzgündäki adaty shema bolýar. Bu shema generatorlar we umumylaşdyrylan ýükler elektrik herekete getirijiler we reaktiwlikler bilen

girizilýärler. Galan elementler bolsa shema üýtgemeýän garşylyk bilen girizilýärler.

Ters yzygiderlikli toklaryň akýan ýollary göni yzygiderlikli toklaryň ýollary bilen gabat gelýärler, şonuň üçin ters yzygiderlikli shema strukturasy boýunça göni yzygiderlikli shema meňzeş bolýar. Olaryň tapawudy ters yzygiderlikli shemada ähli generirleýji elementleriň elektrik herekete getirijileri nul diýlip kabul edilýärler. Ondan-da başga sinhron maşynlaryň we ýükleriň reaktiwlikleri hemişelik diýlip hasap edilýär.

Göni we ters yzygiderlikli shemanyň başlangyjy diýip, generirleýji we ýük şahalaryň boş uçlary birikdirilen nokady kabul edýärler. Bu biratly shemanyň nul potehsially nokady bolýar.

Göni we ters yzygiderlikli shemalaryň soňy diýip, simetriýasy bozulan nokady kabul edýäris. Dok simmetriýasyzlykda shemanyň soňy iki bolýar, bu nokatlaryň arasyna her yzygiderligiň biratly naprýaženiýeleri birikdirilýär.

## **16.2. Nul yzygiderlikli shema**

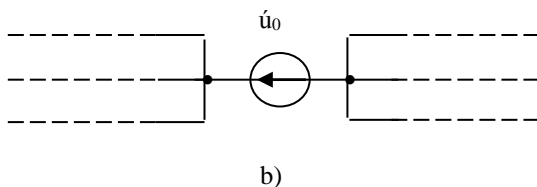
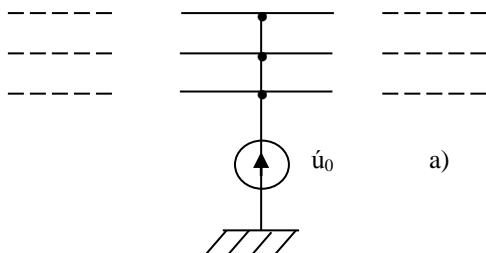
Nul yzygiderlikli tok birfazaly tok bolýar. Bu tok fazalara bölünýär we hemme faza boýunça bir tarapa ugrukdyrylan. Nul yzygiderlikli tok yzyna ýer boýunça gaýdyp gelýär. Şonuň üçin bu toklar ýollary boýunça göni we ters yzygiderlikli toklaryň ýollaryndan düýp göter başgaça bolýarlar.

Nul yzygiderlikli shemalar köp derejede shemadaky transformatorlaryň we awtotransformatorlaryň birikdirilişi shemalaryndan bagly bolýarlar.

Nul yzygiderlikli shemany simmetriýasy bozulan nokatdan düzüp başlaýarys. Bu nokatda hemme fazalar birikdirilen diýip hasap edýäris we oňa nul yzygiderlikli naprýaženiýe goýlan diýip kabul edýäris. Simmetriýasyzlygyň



görnüşinden baglylykda bu naprýaženiýe ýa-da ýer bilen aralyga ýa-da faza simleriniň ýolunan iki nokadynyň arasyyna goýlan diýlip hasap edilýär. (1-nji a, b – çyzgylar)



### 16.2.1-nji çyzgy

Birinji ýagdaý kese simmetriýasyzlyga, ikinji bolsa dik simmetriýasyzlyga degişli.

Soňra nul yzygiderli toklaryň akýan ýollary kesgitlenýär. Bu bolsa simmetriýasyzlygyň görnüşinden bagly.

Eger nul yzygiderlikli naprýaženiýe ýere göre goýlan bolsa we zynjyrda sygym ýok bolsa, onda nul yzygiderlikli tok akmak üçin berlen zynjyrda hiç bolmanda ýene bir ýere birikdirilen neýtral bolmaly. Eger ýere birikdirilen neýtral köp bolsa, onda nul yzygiderlikli toklar üçin parallel ýollar döreýär.

Eger simmetriýasyzlyk dik bolsa, ýagny, nul yzygiderlikli naprýaženiýe faza simlere yzygider birikdirilen

bolsa nul yzygiderlikli tok ýere birikdirilen neýtral ýok ýagdaýynda hem akyp biler. Munuň üçin goşmaça ýollar gerek.

Eger generatoryň, transformatoryň, ýüküň neýtral garşylygyň üsti bilen birikdirilen bolsa bu garşylyk çalşyryjy shema üçeldilen bahasy bilen girizilmeli, sebäbi onuň üstünden üç fazanyň hem togy akýar.

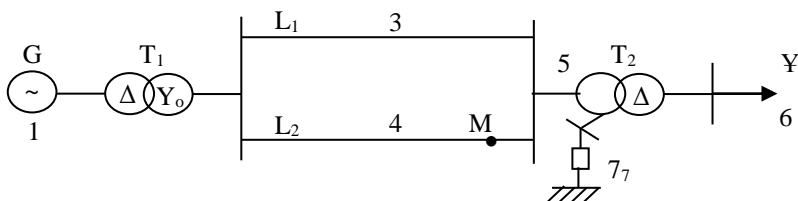
Nul yzygiderlikli shemanyň başlangyjy diýlip nul potensialy üçlaryň birikdirilen nokady hasaplanýar, soňy diýlip bolsa simmetriýasyzlyk dörän nokat hasaplanýar. Dik simmetriýasyzlykda nul yzygiderlikli shemanyň iki soňy bolýar.

## 17. Dürli yzygiderlikli shemalaryň jemleýji elektrik herekete getirijileri wegarşylyklary

Islendik simmetriki däl düzgüniň ýa-da prosesiniň hasabyny etmekligiň nobatdaky meselesi bolup, dürli yzygiderlikli shemalaryň jemleýji garşylyklaryny kesgitlemek bolup durýar. Ondan-da başga göni yzygiderlikli shemadan onuň jemleýji elektrik herekete getirijisini tapylýar. Munuň üçin shemalary bozulma bolup geçen nokada görä öwürýärler. Dik we kese simmetriýasyzlykda shemalaryň öwrülişi bir meňzeş dälidir.

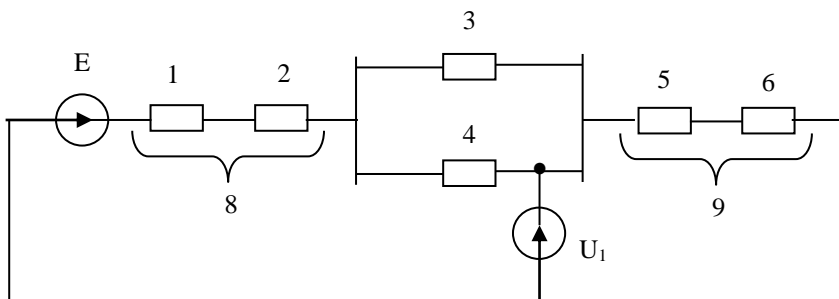
1-nji çyzgyda görkezilen shemanyň mysalynda bu aýratynlary göreliň. Shemada ähli elementler nomerlenendirler. Bu nomerler ähli shemalaryň öwrülişinde saklanýar.

Ilki M nokatda kese simmetriýasyzlyk bolýar diýeliň.



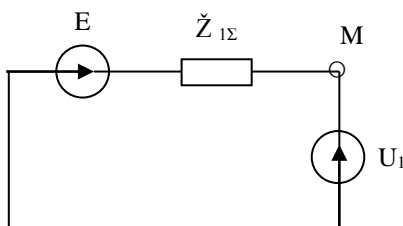
17.1-nji çyzgy

Kese simmetriýasyzlykda göni yzygiderlikli çalşyryjy shema 17.2-nji çyzgyda görkezilen.



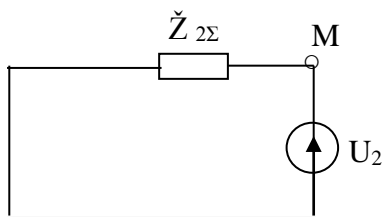
17.2-nji çyzgy.

Bu shemany parallel we yzygiderlikli goşma arkaly 17.3-nji çyzgyda görkezilen görnüşe getirmeklik aňsat.



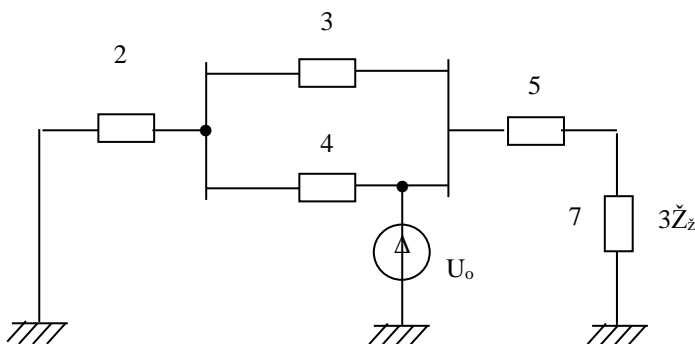
17.3-nji çyzgy

Ters yzygiderlikli shema hem şuňa meňzeş öwrülýär, tapawudy bu shemada elektrik herekete getriji bolmaýar. Öwrülen shema 17.4-nji çyzgyda görkezilen.



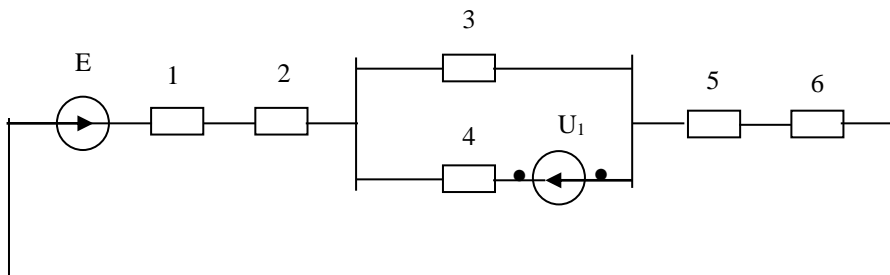
17.4-nji çyzgy.

Nul yzygiderlikli shemada 17.5-nji çyzgyda görkezilen. Bu parallel yzygider goşmak arkaly ýönekeý görnüşe getirmeklik aňsat.



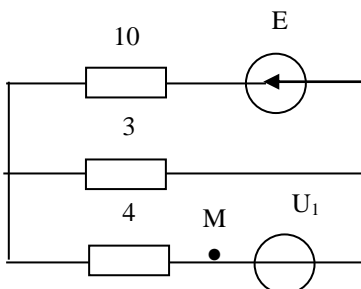
17.5-nji çyzgy.

Goý indi M nokatda dik simmetriýasyzlyk döreýär diýeli. Bu ýagdaýda göni yzygiderlikli shema göni yzygiderlikli naprýaženiýe zynjyrynyň kesilen ýerine girizilmeli. (17.6-njy çyzgy).



17.6-nji çyzgy.

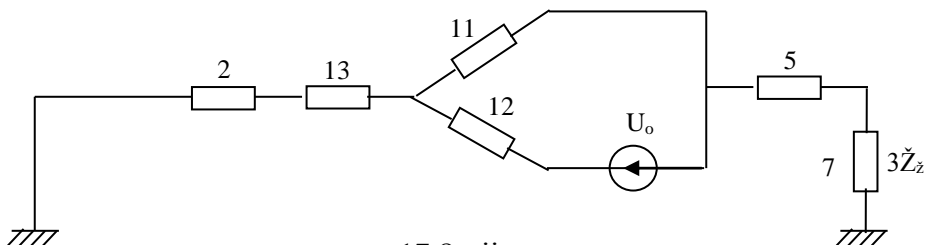
Parallel we yzygiderlikli birikdirilen zynjyrlary toplusak, onda shema üç sany parallel birikdirilen zynjyr görnüşe gelýär. (17.7-nji çyzgy).



17.7-nji çyzgy.

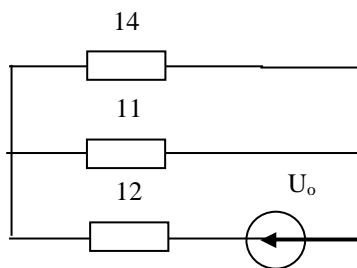
17.7-nji çyzgyda 3 we 10 elementer parallel birikdirilen. Olary öwrenimizden soň olar 4 elemente yzygider birikdirilen bolýarlar.

Ters yzygiderlikli shemanyň öwrülüşü göni yzygiderlikli shemanyň öwrülüşü meňzeş. Nul yzygiderlikli shema 17.8-nji çyzgyda görkezilen.



17.8-nji çyzgy.

Bu ýerde 11, 12, 13 garşylyklar iki zynjyrly liniýanyň elementleridir. Bu shema iki zynjyrly shemadaky özara induktiwlikleri hasaba alýar. 2, 13, 5, 7 garşylyklary yzygiderli goşanymyzdan soň shema aşadaky görnüşe gelýär.

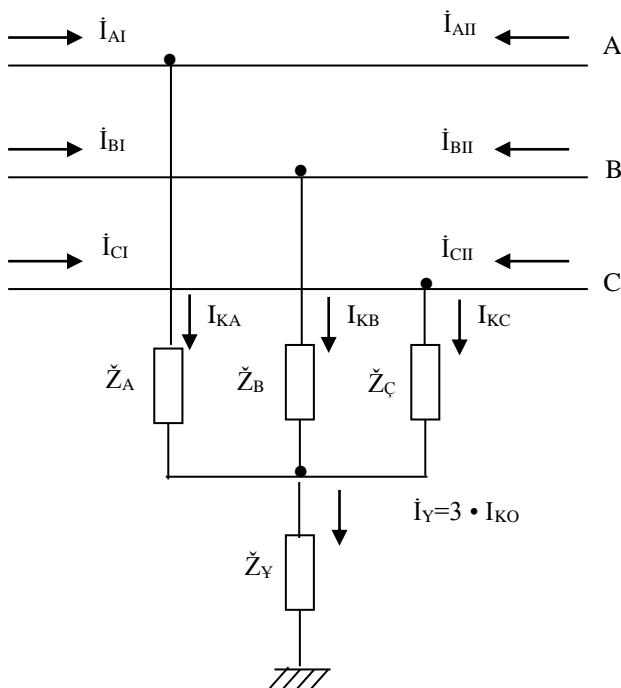


17.9-njy çyzgy

Bu shemada 11 we 14 elementler parallel, olary parallel goşanymyzdan soň ol 12 element bilen yzygider bolýar. Olary yzygider goşanymyzdan soň jemleýji garşylyk tapylýar.

## 18. Diňe bir nokatda bolýan kese simmetriýasyzlyk

Üç fazaly ulgamyň islendik nokadynda bolýan kese simmetriýasyzlygy bu nokada birikdirilen deň bolmadyk garşylyklaryň üsti bilen aňladyp bolar. (1-nji çyzgy.).



18.1-nji çyzgy

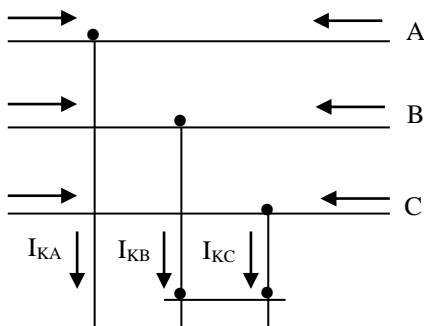
Şeýle çeşmelerde çözüdi umumy görnüşde toplama mümkinçilik berýär. Bu çözütden hususy ýagdaýlary çykarmak aňsat. Ýöne umumy görnüşde işlemeklik aşa uly çözütlere getirýär. Şonuň üçin her görnüşli g.u. üçin aýratyn çözüti etmek ýönekeý we düşnükli bolýar.

Kese simmetriýasyzlyklaryň esasy görnüşleri bir, iki we ýere birigen iki fazaly gysga utgaşmalardyr. G.u. diňe metalliki diýip kabul edýäris.

Aşakdaky ýagdaýlarda togyň we naprýaženiýäniň diňe esasy birinji garmoniýasyny hasaba alarys. Shemalary öwürmek netijesinde  $X_{1\Sigma}$ ,  $X_{2\Sigma}$ ,  $X_{0\Sigma}$  we jemleýji elektrik herekete getirijini tapýarys.

A fazany ýörite faza diýip kabul edýäris. Togyň položitel ugry diýip g. u. ugrukdyrylan ugruny kabul edýäris.

### 18.1. Iki fazaly gysga utgaşma



18.1.1-nji çyzgy.

18.1.1-nji çyzgyda iki fazaly g.u. shemasy görkezilen. Esasy faza A sagat galýar, B we C fazalar özara birleşýärler. Araçäk şertler aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$I_{KA}^{(2)} = 0; \quad (18.1.1)$$

$$I_{KB}^{(2)} = I_{KC}^{(2)}; \quad (18.1.2)$$



$$U_{KB}^{(2)} = U_{KC}^{(2)}; \quad (18.1.3)$$

Fazalaryň toklary deňagramlaşan, şonuň üçin

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (18.1.4)$$

We nul yzygigerlikli tok döremeyär.

$$\dot{I}_{KA} + \dot{I}_{KA1} + \dot{I}_{KA2} = 0_1 \quad (18.1.5)$$

$\dot{U}_{KB}$  we  $\dot{U}_{KC}$  naprýaženiýeleri A fazanyň naprýaženiýesiniň simmetriki düzüjileriniň üsti bilen aňladalyň.

$$a^2 \dot{U}_{KA1} + \dot{U}_{KA2} + \dot{U}_{KA0} - a \dot{U}_{KA1} - a \dot{U}_{KA2} - \dot{U}_{KA0} = (a^2 - a)(\dot{U}_{KA1} - \dot{U}_{KA2}) = 0; \quad (18.1.6)$$

Bu ýerden:  $\dot{U}_{KA1} = \dot{U}_{KA2}$

Indi zynjyryň esasy deňlemelerine seredeliň:

$$\dot{U}_{KA1} = \dot{E}_{A\Sigma} - Z_{1\Sigma} \cdot \dot{I}_{KA};$$

$$\dot{U}_{KA2} = 0 - Z_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{KA2};$$

$$\dot{U}_{K0} = 0 - Z_{0\Sigma} \cdot \dot{I}_{K0};$$

18.1.6 deňligi göz öňünde tutup alarys:

$$\dot{E}_{A\Sigma} - j x_{1\Sigma} \dot{I}_{KA1} = -j x_{2\Sigma} \dot{I}_{KA2}$$

Indi bolsa (18.1.5) deňligi hasaba alyp taparys:

$$\dot{I}_{KA1}^{(2)} = \frac{E_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma})} \quad (18.1.10)$$

Iki fazaly g.u. göni yzygiderlikli tok şu formuladan tapylýar. Şu togy tapanymyzdan soň galan toklary we naprýaženiýeli şu togyň üsti bilen aňladyp bolýar. Olar aşakdakylar ýaly bolýar:

$$\dot{I}_{KA2}^{(2)} = \dot{I}_{KA1}^{(2)} \quad (18.1.11)$$

$$\dot{U}_{KA1}^{(2)} = \dot{U}_{KA2} = j \cdot x_{2\Sigma} \cdot I_{KA1}^{(2)} \quad (18.1.12)$$

$$\dot{I}_{KA2}^{(2)} = 0 \quad (18.1.13)$$

$$-\dot{I}_{KB2}^{(2)} = \dot{I}_{KC1}^{(2)} = j\sqrt{3} \cdot I_{KA1}^{(2)} \quad (18.1.14)$$

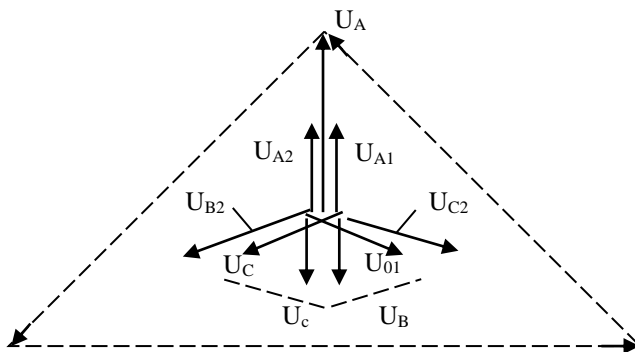
$$\dot{U}_{KA}^{(2)} = j \cdot x_{2\Sigma} \cdot I_{KA1}^{(2)} \quad (18.1.15)$$

$$\dot{U}_{KB}^{(2)} = \dot{U}_{KC}^{(2)} = j x_{2\Sigma} \cdot I_{KA1}^{(2)} \quad (18.1.16)$$

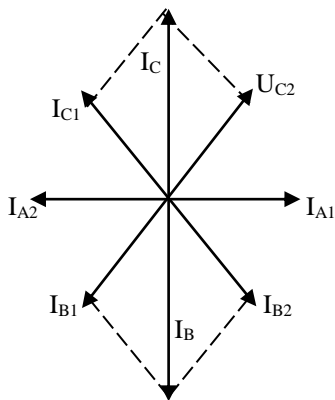
Nul yzygiderlikli naprýaženiýe iki fazaly g.u. kesgitsizlik bolýar, sebäbi:

$$\dot{U}_{K0}^{(2)} = -j \cdot x_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{0\Sigma}^{(2)} = -\infty \cdot 0 \quad (18.1.17)$$

Iki fazaly g.u. togyň we naprýaženiýäniň wektor diagrammalary 18.1.2-nji çyzgyda görkezilen.

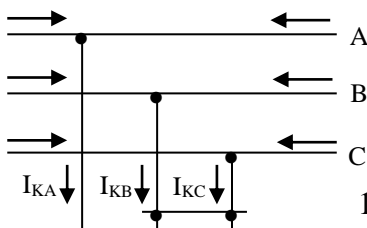


18.1.2-nji a çyzgy.



18.1.2-nji b çyzgy.

## 18.2. Birfazaly gysga utgaşma



18.2-nji çyzgy.

A faza ýere gysga utgaşanda araçäk şertler aşakdaky ýazylýar.

$$I_{KB}^{(1)} = 0; \quad (18.2.1)$$

$$I_{KC}^{(1)} = 0; \quad (18.2.2)$$

$$U_{KA}^{(1)} = 0; \quad (18.2.3)$$

Geçen temadaky ýaly pikir öwürp aşakdaky aňlatmalary alýarys:

$$\dot{I}_{KA1}^{(1)} = \dot{I}_{KA2}^{(1)} = \dot{I}_{K0}^{(1)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})} \quad (18.2.4)$$

$$\dot{U}_{KA1}^{(1)} = j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}) \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1)} \quad (18.2.5)$$

$$\dot{U}_{KA2}^{(1)} = -j x_{2\Sigma} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1)} \quad (18.2.6)$$

$$\dot{U}_{KA0}^{(1)} = -j x_{0\Sigma} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1)} \quad (18.2.7)$$

$$\dot{I}_{KA1}^{(1)} = 3 \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1)} \quad (18.2.8)$$

$$\dot{I}_{KB}^{(1)} = \dot{I}_{KC}^{(1)} = 0 \quad (18.2.9)$$

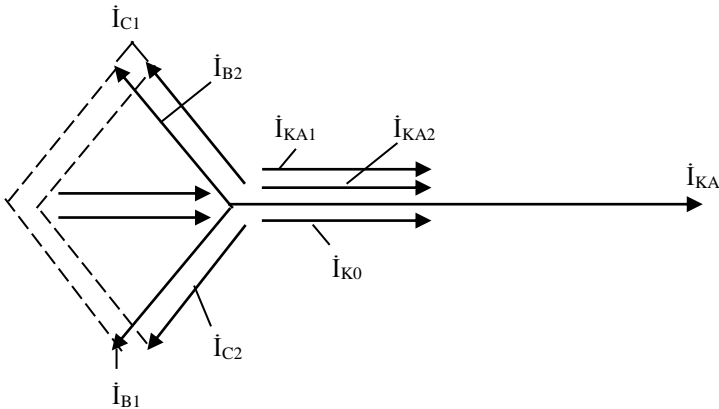
$$\dot{U}_{KA}^{(1)} = 0 \quad (18.2.10)$$

$$\dot{U}_{KB}^{(1)} = j[(a^2 - a)x_{2\Sigma} + (a^2 - 1)x_{0\Sigma}] \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1)} \quad (18.2.11)$$

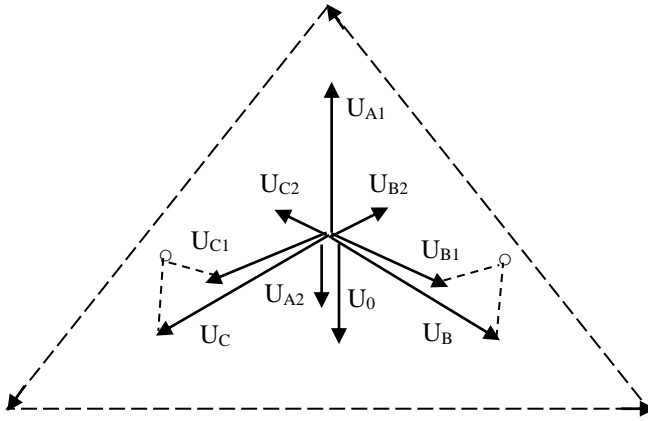
$$\dot{U}_{KC}^{(1)} = j[(a^2 - a)x_{2\Sigma} + (a^2 - 1)x_{0\Sigma}] \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1)} \quad (18.2.12)$$

Birfazaly g.u. togyň we naprýaženiýäniň wektor diagrammalary 2, a we 2, b çyzgylarda görkezilen. Çyzgydan görnüşi ýaly sagat fazalaryň naprýaženiýeleriniň arasyndaky  $\theta_u$  burç  $X_{2\Sigma}$  we  $X_{0\Sigma}$  reaktiwlikleriň gatnaşygynda bagly we aşakdaky çäklerde üýtgeýärler:

$$60^\circ \leq \theta_u \leq 180^\circ$$

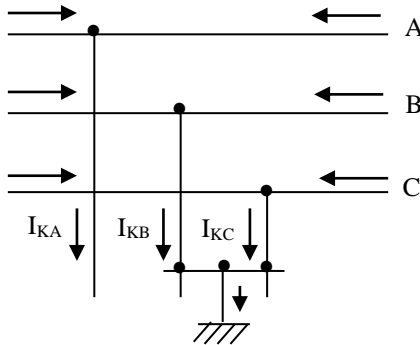


18.2.2-nji a çyzgy.



18.2.2-nji b çyzgy.

## 19. Ýere birigen iki fazaly g.u.



19.1-nji çyzgy.

Iki fazaly B we C birden ýere birigen bolsa, onda araçäk şertler aşakdaky ýaly ýazylýar.

$$\dot{I}_{KA}^{(1,1)} = \mathbf{O} \quad (19.1)$$

$$\dot{U}_{KB}^{(1,1)} = \mathbf{O} \quad (19.2)$$

$$\dot{U}_{KC}^{(1,1)} = \mathbf{O} \quad (19.3)$$

Togyň we naprýaženiýäniň dürli yzygiderliklerini, faza toklaryny we naprýaženiýelerini hasap etmek üçin aşakdaky aňlatmalary alyp bolýar.

$$\dot{I}_{KA1}^{(1,1)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j \left[ x_{1\Sigma} + \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \right]} \quad (19.1)$$

$$(19.2) \quad \dot{I}_{KA2}^{(1,1)} = - \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1,1)}$$

$$\dot{I}_{K0}^{(1,1)} = - \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1,1)} \quad (19.3)$$

$$\dot{U}_{KA2}^{(1,1)} = \dot{U}_{KA2}^{(1,1)} = \dot{U}_{K0}^{(1,1)} = j \cdot \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(1,1)} \quad (19.4)$$

$$\dot{I}_{KA}^{(1,1)} = 0 \quad (19.5)$$

$$\dot{I}_{KB}^{(1,1)} = \left( a^2 - \frac{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma} \cdot a}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \right) \cdot \dot{I}_{KA}^{(1,1)} \quad (19.6)$$

$$\dot{I}_{KC}^{(1,1)} = \left( a - \frac{x_{2\Sigma} + a^2 \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \right) \cdot \dot{I}_{KA}^{(1,1)} \quad (19.7)$$

$$\dot{U}_{KA2}^{(1,1)} = 3 \cdot \dot{U}_{KA1}^{(1,1)} = \dot{U}_{K0}^{(1,1)} = 3 \cdot j \cdot \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \cdot \dot{I}_{KA}^{(1,1)} \quad (19.8)$$

$$\dot{U}_{KB}^{(1,1)} = 0 \quad (19.9)$$

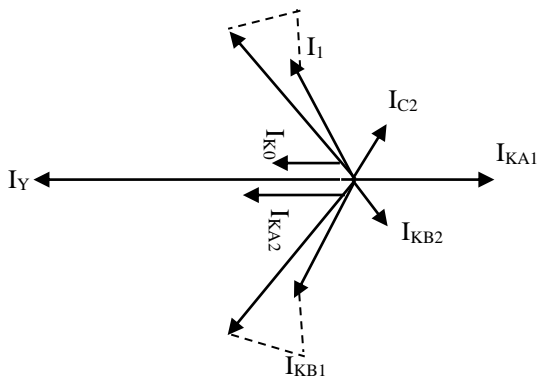
$$\dot{U}_{KC}^{(1,1)} = 0 \quad (19.10)$$

Ýerden akýan tok nol yzygiderlikli togyň üçeldilen hasabyna deňdir:

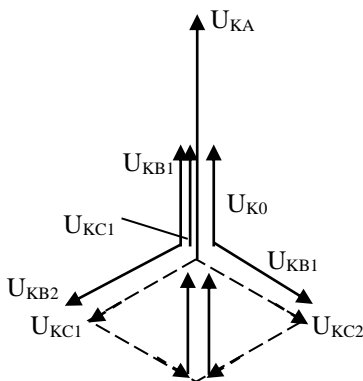
$$\dot{I}_Y^{(1,1)} = 3 \cdot \dot{I}_{K0}^{(1,1)} \quad (19.11)$$

Ýere birigen iki fazaly g.u. togyň we naprýaženiýäniň wektor diagrammalry 19.2-nji a we 19.2-nji b çyzgylarda görkezilen.





19.2.-nji a çyzgy



19.2.-nji b çyzgy.

### 19.1. Göni yzygiderligiň ekwiwalentlik düzgüni

Geçen temalardan görünşi ýaly togyň we naprýaženiýäniň dürli yzygiderlikleri, faza toklary we naprýaženiýeleri göni yzygiderlikli togyň üsti bilen aňladyp

biliner. Şonuň üçin simmetriki däl g.u. hasaplamak ilki bilen togyň göni yzgiderlikli bahasyny kegitlemäge syrygýar.

A ýörite fazanyň göni yzygiderlikli togynyň bahasy islendik görnüşli g.u. aşadaky ýaly kesgitlenýär:

$$\dot{I}_{KA1}^{(n)} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{j x_{1\Sigma} + \check{Z}_{\Delta}^{(n)}} \quad (9.1.1)$$

bu ýerde  $\check{Z}_{\Delta}^{(n)}$  - goşmaça garşylyk, onuň bahasy g.u. görnüşinden baglylykda kesgitli aňlatmadan ýa-da tablisadan tapylýar.

Faza togynyň muduly islendik görnüşli simmetriýasyzlykda aşadaky aňlatmada kesgitlenýär:

$$\dot{I}_K^{(n)} = m^{(n)} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(n)} \quad (9.1.2)$$

bu ýerde  $m^{(n)}$ - tablisadan ýa-da ýörite aňlatmadan tapylýan koeffisiýent.

N.Nşedrin (1) aňlatma esaslanyp aşadaky düzgüni hödürledi:

Islendik simmetriki däl g.u. göni yzygiderlikli tok hakyky g.u. nokadyndan  $\check{Z}_{\Delta}^{(n)}$  goşmaça garşylyga daşlaşdyrylan üç fazaly g.u. ýaly kesgitlenilip bilner. Goşmaça garşylyk göni yzygiderlikli shemanyň parametrllerinden bagly däl we g.u. dürli görnüşleri üçin deredilýän g.u. nokadyna görä kesgitlenen ters we nul yzygiderlikli shemalaryň jemleýji garşylyklarynyň üsti bilen kesgitlenýär, umumy ýagdaýda ol duganyň garşylygyndan hem bagly bolýar.

Bu düzgün göni yzygiderligiň ekwiwalentlik düzgüni diýen ady aldy. Ol diňe togyň esasy garmonikasy hasaba alnanda dogrydyr.

Bu düzgüne görä naprýaženiýäniň göni yzygiderligini aşadaky aňlatma bilen kesgitläp bolar:

$$\dot{U}_{KA1}^{(n)} = \check{Z}_{\Delta}^{(n)} \cdot \dot{I}_{KA1}^{(n)} \quad (9.1.3)$$

## 20. Elektromehaniki geçiş prosesleri

### Elektromehaniki geçiş prosesleri toparlara bölmek

Elektromehaniki geçiş prosesleri toparlara bölmekligi dürli prinsipler boýunça amala aşyryp bolar. Mysal üçin, geçiş prosesleri döredýän sebäpler boýunça olary aşakdaky toparlara bölüp bolar:

1. normal geçiş prosesleri;
2. awariýalaýyn geçiş prosesleri;

Emma geçiş prosesleri olary döredýän sebäpleriniň häsiýeti boýunça toparlara bölmeklik has amatly. Bozujy güýçleriň häsiýetleri kuwwatyň we tizligiň üýtgemegi bilen berk baglydyrlar. Bu prinsip boýunça ähli elektromehaniki geçiş prosesleri 4 topara bölýärler.

**1-nji topar.** Bu topara aşakdakylar girýärler: Durnuklylygyň anepiodiki görnüşli bozulmasy, öz-özünden çäýkanma, öz-özünden oýanma we başgalar. Bu toparda kuwwat we tizlik ujypsyz az üýtgeýärler.

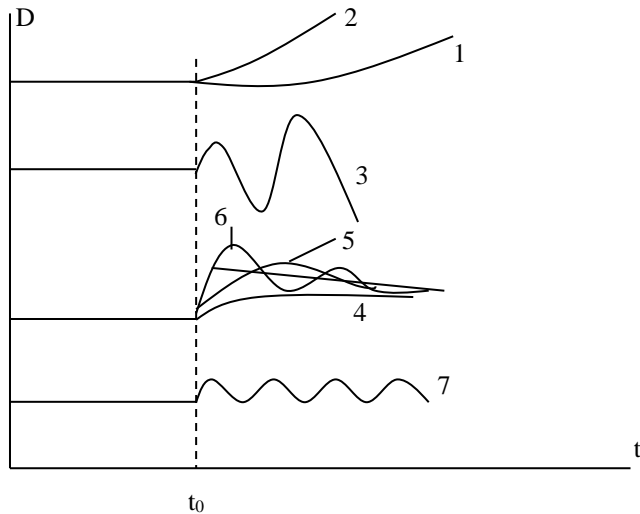
**2-nji topar.** Ulgamda ýylylygyň durnukly we durnuksyz üýtgemeyär. Bu toparda kuwwat ortaça we tizlik bolsa az üýtgeýär.

**3-nji topar.** 1. Gysga utgaşma sebäpli durnuklylygyň dinamiki görnüşli bozulmagy; 2. yrgyldamalar, urgylarda tizligiň üýtgemesi, ýük ýüklenende we aýrylanda tizligiň üýtgemesi, sinhronizmi barlamak arkaly awtomatiki gaýtadan birikme. Bu toparda kuwwatlar uly üýtgeýärler, tizlik bolsa kiçi üýtgeýär.

**4-nji topar.** Dwigatelleri işe goýbermek, dwigatelleri öz-özünden goýbermek, wintron düzgün, resinhronizasiýa, öz-özünden sinhronizasiýa, sinhronizmi barlamazdan awtomatiki gaýtadan birikdirme. Bu ýagdaýlaryň hemmesinde kuwwatlar we tizlikler uly üýtgeýärler.

Şu usulda toparlara bölmeklik sapagy öwrenmeklikde ýeňillikler döredýär.

Geçiş prosesleriniñ bolup geçme häsiýtlərini aşakdaky çyzgydan görüp bolýar.



20.1-nji çyzgy.

20.1-nji çyzgyda görkezilen grafikler aşakdakylar:

- 1- aperiodiki görnüşli düzgüniñ bozulmasy;
- 2- düzgüniñ dinamiki görnüşli bozulmasy;
- 3- asinhron öz-özünden oýanma we öz-özünden çäýkanma görnüşli düzgüniñ bozulmasy;
- 4- bir düzgünden beýleki düzgüne aperiodiki durnukly geçmeklik;
- 5- az yrgyldyly bir düzgünden beýleki düzgüni geçmeklik, durnuklulyk;
- 6- bir düzgünden beýleki düzgüne köp yrgyldyly geçmeklik, durnuklylyk;
- 7- sönmeýän yrgyldylar;

## **20.1. Statiki, dinamiki we jemleýji durnuklylyklary barada düşünje**

Elektrik ulgamyň durnuklylygy diýip düzgün bozulandan soň onuň öňki düzgüne ýa-da öňkä ýakyn düzgüne geçmeklige aýdylýar.

Bozulmanyň ululygyndan ýa-da kiçiliginden baglylykda elektrik ulgamyň durnuklylygyny ika bölýärler:

1. Statiki durnuklylyk;
2. Dinamiki durnuklylyk;

Ulgamyň statiki durnuklylygy diýip, düzgün az bozulanda we bozuýy güýç aýrylmadyk ýagdaýynda onuň öňki düzgüne ýa-da öňki örän ýakyn düzgüne gaýdyp gelmegine düşüniýär.

Dinamiki durnuklylyk diýip, düzgün uly bozulanda ulgamyň öňki ýagdaýyna ýa-da täze ýagdaýa gaýdyp gelmegine güşünilýär.

Dinamiki durnuklylyk öz gezeginde ika bölünýär:

1. Dinamiki sinhron durnuklylyk;
2. Dinamiki jemleýji durnuklylyk;

Dinamiki sinhron durnuklylyk diýip, düzgün uly bozulanda ulgamda sinhron düzgün saklanyp galmagyna düşünilýär.

Dinamiki jemleýji durnuklylyk ýa-da gysgaça, jemleýji durnuklylyk diýip, aşakdaka düşünilýär. Düzgün uly bozulanda käbir sinhron maşynlar sinhron düzgünden çykýarlar. Emma olar stden aýrylmaýarlar, olar asinhron düzgüne geçirilýärler. Belli bir wagt asinhron düzgünde işländen soň, olar awtomatiki çyzgyda sinhronizme çekilmeli, ýagny, resinhronizasiýa amala aşmaly.

Jemleýji durnuklylyk sinhron generatoryň asinhron düzgüne işläp bilmek we sinhronizmi barlamzdan awtomatiki

gaýtadan birikdirmek mümkinçiliklerini öwrenilenden soň amala aýyryldy.

## **20.2. Ýük düwünleriniň durnuklylygy barada düşünje**

Ýük düwünleri başgaça elektrik üpjünçilik ulgamlary diýip, ýokary woltly liniýalara energiýe kabul edijiler toplumynyň birikdirilen nokadyna aýdylýar. Ýük düwünlerinde hem ähli ulgamlarda bolýan geçiş prosesleri bolup geçýär. Bu prosesleri hem ähli ulgamlardaky ýaly derňelýär, ýagny, olarda hem statiki we dinamiki durnuklylyklar derňelýär.

Ýük düwünlerinde bolup geçýän geçiş prosesleri iki nukdaý nazaryndan seredilýär:

1. Ýüküň özünde bolup geçýän geçiş prosesleri we bu prosesleriň beýleki energiýe kabul edijileriň işine täsiri;
2. Ýükdäki geçiş prosesleriň ähli ulgamyň düzgününe täsiri.

## **21. Statiki durnuklylyk**

### **Statiki durnuklylyk.**

Statiki durnuklylyk düzgün az bozulanda derňelýär. Statiki durnuklylygy derňemek üçin esasy ulanylýan usul bu az yrgyldylar usulydyr. Bu usul bilen diňe durnuklylyk barmy ýada ýok diýen soraga jogap bermek bilen çäklenmän, onuň kömegi bilen ulgamyň gerekli parametrlerini hem kesgitläp bolýar.

Eger statiki durnuklylygy barlamagyň maksady awtomatiki dolandyryjy ulgamyň parametrlerini kesgitlemek bolmasa, onda statiki durnuklylygy aňsat usullar bilen barlap

bolýar. Bu usullary eger ulgamda öz-özünden çaykanma bolmadyk ýagdaýynda hem ulanyp bolýar. Mysal üçin, bu usula häsiýetlendiriji deňlemäniň azat agzasynyň alamaty boýunça derňemeklik ulanylýar. Bu usuldan başga, has aňsat usullar hem alynýar. Olara praktiki kriteriler diýilýär.

### **21.1. Durnuklylyk we durnuklylyk kriterileri**

Geçiş düzgünleri haýsam bolsa bir köşeşen düzgün bilen tamamlanmaly. Şonuň üçin ilki, köşeşen düzgüni ulgamyň berlen parametrlerinde amala aşyryp bolýandygyny anyklamaly. Eger köşeşen düzgün amala aşyrylyp bilinýän bolsa, onda ondan soň bu köşeşen düzgüniň durnuklylygyny ýada ýokdygyny seljermeli.

### **21.2. Köşeşen düzgüniň amala aşyrylmagy**

Düzgün bozulandan soň emele gelen köşeşen düzgün amala aşmak üçin ilki bilen kuwwatlaryň balansy gerek. Generatorlar tarapyndan işlenip çykarylan aktiw kuwwat  $P_C$  ýüküý kuwwaty bilen elementlerdäki ýitgi bilen deňagramlaşmaly:

$$P_C = P_Y + \Delta P \quad (21.2.1)$$

Üýtgeýän togyň zynjyrynda şeýle deňlik üçin hem ýerine ýetmeli:

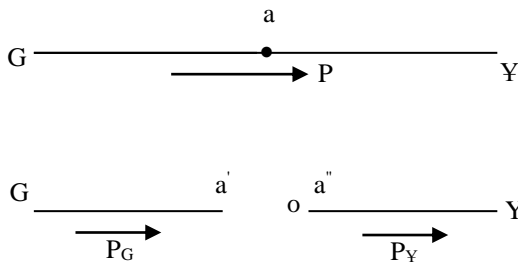
$$Q_G = Q_Y + \Delta Q = Q \quad (21.2.2)$$

Aktiw we reaktiw kuwwatlaryň arasynda aşakdaky baglansyk bar:

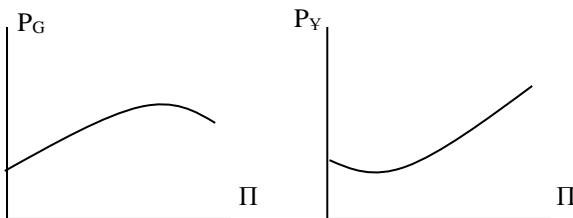
$$S_G = P_G + jQ_G \quad (21.2.3)$$

Şonuň üçin (1) we (2) baglanşyklary bilelikde seretmeli.

Köşeşen düzgüniň amala aşmak mümkinçiligini grafikleriň kesişme usuly bilen barlamaklyk has amatly. Munuň üçin belli bir nokady düwün diýip kabul edip oňa akyp gelýän kuwwadyň we ondan akyp gidýän kuwwadyň belli bir parametrden baglanşygyny gurýarys. (21.2.1-nji we 21.2.2-nji çyzgylar)



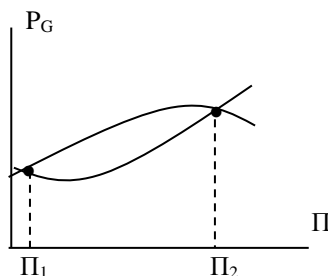
21.2.1-nji çyzgy.



21.2.2-nji çyzgy.

Soňra bu grafikler birleşdirýäris. Bu grafikleriň kesişýän nokatlarynda köşeşen düzgün amala aşýar. (21.2.3-nji çyzgy).





21.2.3-nji çyzgy.

### 21.3. Düzgüniň gurnuklylygy. Geçiş düzgüniň energetikasy

Aktiw we reaktiw kuwwatlaryň deňligi geçiş prosesi döwri bozulýar. Deňlikleriň sag tarapyndan ýene iki agza döreyär, olar energiýäniň erkin üýtgemegini aňlatýarlar.

$$P = P_Y + \Delta P + \frac{d(\Delta W_{el.mag.})}{dt} + \frac{d(\Delta W_{mah.})}{dt} \quad (21.3.1)$$

bu ýerde  $\Delta W_{el.mag.}$  –ulgamyň elementlerinde elektromagnit enegiýanyň üýtgemegi.

Elektromagnit energiýanyň üýtgemegi üç düzüjiden durýar:

$$\Delta w_{el.mag.} = \Delta W_{el.mag.}_{Yü} - \Delta W_{el.mag.}_G + \Delta W_{el.mag.}_{Yi} \quad (21.3.2)$$

(21.3.2) deňlikdäki harplar aşakdakylary aňlatýarlar:  $Y_{ü}$  –ýük;  $G$  –generator;  $Y_i$  –ýitgi.

(21.3.1) deňlikdäki  $\Delta W_{meh.}$ -ulgamyň elementleriniň aýlan böleklerindäki mehaniki energiýäniň üýtgemesi.

(21.3.1) deňligiň aşadaky, ýagny energiýe görnüşide ýazyp bolar:

$$W_G = W_{Yü} + \Delta W; \quad (21.3.3)$$

$$\Delta W = \Delta W_R + \Delta W_{el.mag.} + \Delta W_{el.meh.} \quad (21.3.4)$$

bu ýerde  $W_G$ - generator tarapyndan öndürilýän energiýe;

$W_{Yü}$ - ýüküň kabul edýän energiýasy;

$\Delta W_R$ - aktiw garşylyklar tarapyndan ýitirilýän energiýe.

## 22. Köşeşen düzgüniň durnuklylygy

(3) deňlik bilen kesgitlenýän düzgün entek bu düzgüniň uzak wagtlap saklanyp bilejekdigini aňlatmaýar. Bir näçe köşeşen düzgün az kem bozulma alandan soň öňki ýagdaýyna ýa-da öňa ýakyn ýagdaýa dolanyp gelýär. Emma köp düzgünler sähelçe üýtgame alsa öňki köşeşen ýagdaýyna gaýdyp gelmeýärler. Munuň esasy sebäbi geçiş prosesi döwri ulgamyň elementlerinde elektromagnit we mehaniki energiýeler goşmaça energiýe alýarlar. Goşmaça energiýe bilen ýitginiň gatnaşygyndan baglylykda köşeşen düzgün durnukly ýa-da durnuksyz bolup biler. Köşeşen düzgüniň durnukly bolmagy üçin generirlenýän energiýeniň ösüşi ýitgi energiýeniň ösüşinde pes bolmaly. Bu kriterini aşadaky ýaly ýazylýar:

$$\frac{d(\Delta W_{\Sigma G})}{d\Pi} < 0 \quad (22.1)$$

bu ýerde  $\Delta W_{\Sigma G} = \Delta(W_G - W)$ - artykmaç energiýe.

(22.1) kriteriýa energetiki kriteriý diýilýär. Bu kriteriý aşakdaky ýaly aňladylýar:

köşeşen düzgün durnukly bolamk üçin artykmaç energiýadan haýsam bolsa,  $\Pi$  parametr boýunça proizvodnysy otrisatel san bolmaly.

Elektroenergetiki ulgamda statiki durnuklylygy barlamak üçin energetiki kriterini ulanmak örän kyn. Sebäbi, bu ulgamda energiýe bir görnüşden beýleki görnüşe geçýär we ony hasaplamak örän kyn. Şonuň üçin bu kriteriniň ýönekeýleşdirilen görnüşleri ulaylýar. Mysal üçin, eger elementleriň tizlikleri hemişelik diýip kabul etsek we elektromagnit energiýäniň üýtgemesi sazlaýjylar tarapyndan ýapylýar diýsek onda (22.1) kriterini aşakdaky görnüşe çenli ýönekeýleşdirip bolýar:

$$\frac{d\Delta P_{\Sigma \text{ meh.}}}{d\Pi} < 0 \quad (22.2)$$

bu ýerde  $\Delta P_{\Sigma \text{ meh.}}$  - generatoryň mehaniki kuwwatynyň elektromagnit kuwwatdan artykmaçlygy.

Eger ulgamda aktiw energiýäniň üýtgemesi sazlaýjy ýygylýk stansiýasy tarapyndan amala aşyrylýar diýsek, onda ulgamda diňe reaktiw energiýäniň üýtgemesi bolup geçýär.

Bu ýagdaýda statiki durnuklylygy aşakdaky kriteriý boýunça derňäp bolýar:

$$\frac{d\Delta Q_{\Sigma}}{d\Pi} < 0 \quad (22.3)$$

bu ýerde  $\Delta Q_{\Sigma} = Q_{G\Sigma} - Q_{Y\Sigma}$

## 22.1. Awtoyrgyldyly ulgamlar

Awtoyrgyldyly ulgam diýip, daşyndan gelýän we sarp edilýän energiýeler diňe bir  $W=f(n)$  häsiýetnama bilen kesgitlenmän, döreýän yrgyldylaryň amplitudasyndan we ýygylgygyndan bagly bolan ulgamlara aýdylýar. Şeýle ulgamlaryň durnuklylygyny derňemek üçin energetiki kriteriý ýeterlik, köp halatlarda bolsa hokmany hem däl.

Energiýe ýityän, ýagny, dissipatiw ulgamda awtoyrgyldy bolmaýar, şonuň üçin proses wagt geçmegi bilen sönýär. Konserwatiw, ýagny awtoyrgydy bolýan ulgamda uzak wagtlap sönmeýän yrgyldylar döreýär. Şeýle yrgyldylara awtoyrgydylar ýa-da awtoyrgydylaryň çäk sikli diýilýär. Yrgyldylaryň çäk sikli wagty ulgamda orta ýagdaýyň töwereginde sönmeýän yrgyldylar bolup geçýär.

## 22.2. Praktiki kriteriler

Geçiş proseslerini öwrenenimizde iki hili meseläni çözüäris:

1. Awtoyrgyldy bolup biljek ulgamlaryň durnuklylygyny derňemek. Şeýle ulgamlaryň durnuklylygyny derňemek üçin energetiki kriterini, has-da praktiki kriterileri ulanyp bolmaýar. Munuň sebäbi bu ulgamlarda düzgün bozulandan soň yrgyldyly proses döreýär. Bu yrgyldylar wagt geçmegi bilen ösüp hem biler.

2. Awtoyrgyldy bolup bilmejek ulgam. Bu ulgamlarda sazlaýjylar awtoyrgyldy bolmak meselesini aradan aýyrýar. Şeýle ulgamlaryň statiki durnuklylygyny praktiki kriterileriň kömegi bilen derňäp bolýar. Praktiki kriteriler hasaplamasy aňsat bolan düzgün parametrini ulanýar. Bu ulgam durnukly bolsa, onda döreýän yrgyldysyz bolup geçýär.

## 23. Az yrgyldylar usuly

### Umumy ýagdaýlar

Az yrgydylyr usulyny ulanmak üçin ilki geçiş prosesleriniň differensial deňlemelerini düzmeli. Bu deňlemeler köplenç göni çyzykly däl. Şonuň üçin olary ilki gönileşdirýärler. Gönileşdirilen deňlemelerden ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi alynýar. Häsiýetlendiriji deňlemäni işläp bolsa, onda kökleriniň alamatlary boýunça durnuklylyk barada netije çykarýarlar. Häsiýetlendiriji deňlemäniň derjesi dörtiden uly bolsa, onda ony analitiki usul boýunça çözüp bolmaýar. Şonuň üçin durnuklylygy ýörite kriterileriň kömegi bilen derňeýärler.

#### 23.1. Geçiş prosesleriň differensial deňlemelerini düzmek

Ulgamda boluý geçýän prosesleri derňemek üçin ilki onuň differensial deňlemelerini düzýärler. Differensial deňlemeler ulgamda bolup geçýän fiziki prosesleriň esasynda düzülýär. Aşakdaky bellemeleri girizeliň.

$X [X_1 X_2, ..., X_n]$ -diýip düzgüniň parametrlerini belläliň. Düzgün parametri hökmünde napryaženiye, tok,  $\delta$  burç, kuwwat we başgalar kabul edilip bilner.

$\Delta f$ -diýip daşky bozuýy güýçleri belläliň. Mysal üçin ýüki birikdirmek ýa-da aýyrmak, haýsam bolsa bir elektrik herekete getiriji birleşdirmek ýa-da aýyrmak, gysga utgaşma, faza simleriniň üzülmegi we başgalar.

$A [A_1 A_2, ..., A_n]$ -diýip ulgamyň elementleriniň parametrlerini belläliň. Mysal üçin, induktiwlik  $L$ , sygym  $C$ , aktiw  $r$ , reaktiw  $X$  garşylyklar, transformasiýa koefisiýenti we başgalar.

$e [e_1 e_2, ..., e_K]$ -diýip sazlaýjy täsiri belläliň. Sazlaýjy tazirler hökmünde oýandyryjy awtomatiki sazlaýjynyň tizligi ýa-da ýygyllygy sazlaýjynyň täsirlerini getirmek bolar.

Ýokardaky bellemeleri girizemmizden soň öwrenilýän prosesleri aşakdaky differensial deňlemeler bilen gäsiýetlendirip bolar:

$$T_j \frac{dX_j}{df} = F_j, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (23.1.1)$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky ululyk  $F_j$  düzüniň parametrlerinden  $X_j$ , bozuýy täsir  $\Delta f$ -den, sazlaýjy täsirler  $l_i$ -den, ulgamyň parametrleri  $A_j$ -den egriçyzykly bagly funksiýa:

$$F_j = \Phi_j(X_1, X_2, \dots, X_n, \Delta f, e_1, e_2, \dots, e_n, A_1, A_2, \dots, A_N) \quad (23.1.2)$$

“n” sany deňlemeden ybarat (1) deňlemeler ulgamyny bir sany “n” derejeli deňleme bilen hem çalşyp bolýar:

$$\varphi(x_i, \frac{dx_i}{dt}, \dots, \frac{d^n x_i}{dt^n}) = \Psi \quad (23.1.3)$$

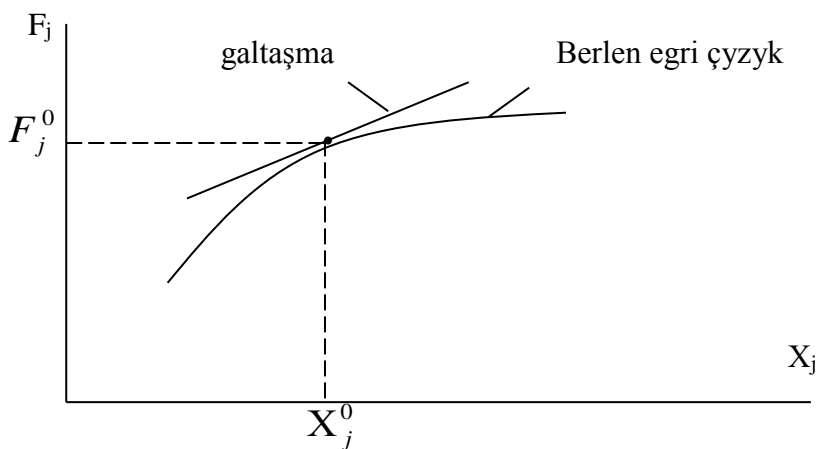
bu deňlemäniň sag bölegi ulgamyň parametrleri  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , bozuýy täsir  $\Delta f$ , we onuň (n-1) proizvodnysy  $\frac{d\Delta f}{dt}, \frac{d^2 \Delta f}{dt^2}, \dots, \frac{d^{n-1} \Delta f}{dt^{n-1}}$ , haýsam bolsa bir sazlaýjy täsir  $l_\zeta$  ( $\zeta=1, 2, \dots, k$ ) we onuň (n-1) proizvodnysy bilen egriçyzykly baglansykly funksiýa:

$$\Psi = \Phi(A_1, A_2, \dots, A_m, \Delta f, \frac{d\Delta f}{dt}, \dots, \frac{d^{n-1} \Delta f}{dt^{n-1}}, e_\zeta, \frac{de_\zeta}{dt}, \dots, \frac{d^{n-1} e_\zeta}{dt^{n-1}}) \quad (23.1.4)$$

## 23.2. Geçiş prosesleriň deňlemelerini gönüleşdirmek

Ýokarda getirilen deňlemeler düzgün parametrlerinden egriçyzykly baglansykda bolýarlar. Egriçyzykly deňlemeler geçiş proseslerini derňemekligi kynlaşdyrýarlar. Şonuň üçin bu

deňlemeleri gönüleşdirýärler. Gönüleşdirme usullary köp. Elektrik ulgamlar üçin köplenç Teýleriň hataryna dargamaklyk usuly ulaylýar. Bu usula görä belli bir parametr boýunça köşeşen nokadyň töwereginde ony Teýleriň hataryna dargatýarlar. Alynan hatarda diňe hemişelik agzany we parametriň üýtgemesiniň birinji derejesini goýýarlar, galan adzalary bolsa hasaba almaýarlar. Şeýle gönüleşdirme grafiki görnüşde 23.2.1-nji çyzgyda görkezilen.



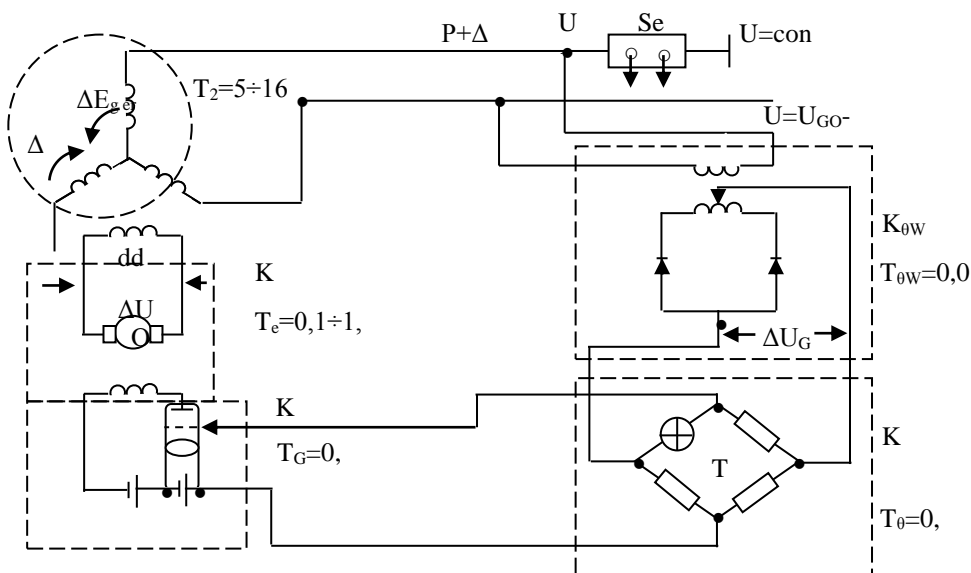
23.2.1-nji çyzgy.

Gönüleşdirilen çyzyk berlen köşeşme nokadynda egri çyzyga geçirilen galtaşmadyr.

## 24. Proporsional sazlaýjy ulgamyň statiki durnuklykyny azyrgyldylar usuly bilen derňemek

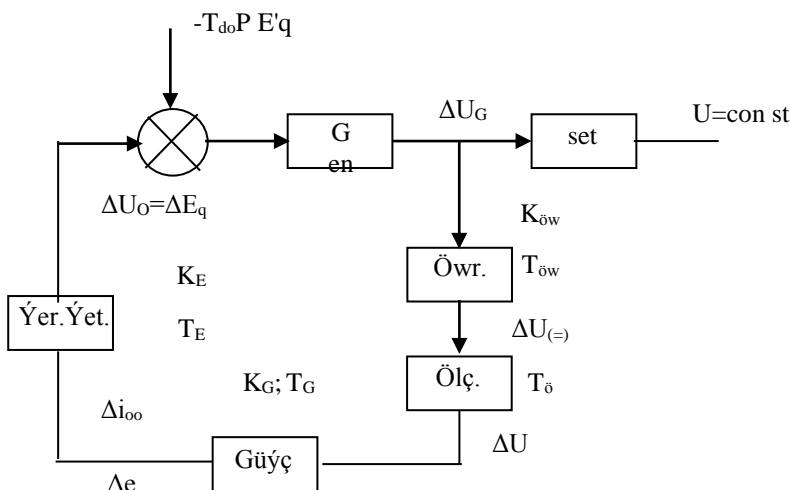
### Umumy ýagdaýlar

Proporsional sazlaýjy ulgam diýip, diňe generatoryň naprýaženiýesiniň üýtgemesi boýunça sazlaýjy täsiri işläp çykarýan ulgama düşünilýär. Şeýle ulgamyň prinsipial shemasy 1-nji çyzgyda getirilen. Onuň struktura shemasy bolsa, 2-nji çyzgyda görkezilen. Shemanyň gysgaça aşakdaky ýaly.



24.1-nji çyzgy.





24.2-nji çyzgy.

Prinsipial shemanyň gysgaja işleýşi aşakdaky ýaly. Generatoryň işläp çykaran fazalara naprýaženiýesi öwrüjiniň kömegi bilen hemişelik toga öwrülýär. soňra göneldilen tok ölçeýji gurnama berilýär. Ölçeýji gurnama dörtburçly köprüden ybaratdyr. Onuň üç egni rezistordan, bir egni bolsa adaty elektrik çyradan durýar. Çyra egriçyzykly elementiň roluny ýerine ýetirýär. Eger generatoryň naprýaženiýesi normal bahasynda deň bolsa, onda köpri deňagramlaşan ýagdaýynda bolýar we onuň çykýan uçlarynyň potensiallary bir-birine deňdir. Generatoryň naprýaženiýesi normal bahasyndan üýtgeşe, onda köpri deňagramlylygyny ýitirýär we onuň çykýan uçlarynyň arasynda naprýaženiýe emele gelýär. Eger generatoryň naprýaženiýesi normal bahasyndan uly bolsa, onda elektrik çyranyň toryna minus alamat bilen signal emele gelýär. Oýandyryjynyň oýandyryjy togy azajyk kiçelýär we generatoryň elektrik herekete getirijisi azajyk, naprýaženiýe normal bahasynda çenli peselýär. Eger generatoryň

naprýaženiýesi normal bahasyndan az bolsa, onda güýçlendirijiniň togy ulalýar, bu bolsa oýandyryjy togyň ulalmagyna getirýär. Netirjede generatoryň elektrik herekete getiriji normal bahasyňa beýgelýär.

Generatoryň elektrik herekete getirijisi iki düzüjiden durýar:

$$\Delta E_q = \Delta E_{ger} + \Delta E_{qE} \quad (24.1)$$

Erkin düzüji generatoryň içinde bolup geçýän proses bilen bagly we ýakor sarymynyň reaksiýasy bilen ksgitlenýär:

$$\Delta E_{ger} = -T_{do} p \Delta E_q \quad (24.2)$$

Ikinji düzüji  $\Delta E_{qE}$  oýandyryjy tok tarapyndan döredilýär:

$$\Delta E_{qE} = \Delta U_o = K_o \Delta i_{oo} \quad (24.3)$$

Bu deňlemä girýän oýandyryjynyň oýandyryjy togy:

$$\Delta i_{oo} = \frac{\Delta e}{R_e + L_e p} = \frac{\Delta e}{R_e (1 + T_e p)} \quad (24.4)$$

Güýçlendirijiniň deňlemesi:

$$\Delta e = \frac{K_g \cdot \Delta U}{1 + T_G p} \quad (24.5)$$

Ölçeyji gurnamanyň deňlemesi:

$$\Delta U = \frac{K_\theta}{1 + T_\theta p} \cdot \Delta U_{G(=)} \quad (24.6)$$

Öwrüjiniň deňlemesi:

$$\Delta U_{G(=)} = \frac{K_{\theta w}}{1 + T_{\theta} p} (-\Delta U_E(\infty)) \quad (24.7)$$

Ýokarda getirilen deňlemeleri bilelikde işlemek arkaly aşakdaky umumy deňlemäni alarys:

$$\Delta E_q = \xi(p) \Delta E'_q + j(p) \Delta U_G \quad (24.8)$$

bu ýerde

$$\xi(p) = -T_{do} \bullet p;$$

$$\gamma(p) = -\frac{K_{ou}}{(1 + T_G p)(1 + T_e p)(1 + T_{IY})}$$

Ulgamyň mehaniki ýagdaýyny aşakdaky deňleme bilen häsiýetlendirýärler:

$$\Delta P = -T_y p^2 \Delta \delta \quad (24.9)$$

(8) we (9) deňlemeler baş sany paramerti saklaýar. Ýetmeýän üç deňlemäni kuwwatyň deňlemesini gönüleşdirmek arkaly alýarys:

$$\Delta P = C_1 \Delta \delta + b_1 \cdot \Delta E_q; \quad (24.10)$$

$$\Delta P = C_2 \Delta \delta + b_2 \cdot \Delta E'_q; \quad (24.11)$$

$$\Delta P = C_3 \Delta \delta + b_3 \cdot \Delta U_G, \quad (24.12)$$

bu ýerde

$$C_1 = \frac{dP_{Eq}}{d\delta_1} = \frac{Eq \cdot U}{x_{d\Sigma}} \cos \delta; \quad b_1 = \frac{dP_{Eq}}{dE_q} = \frac{U}{x_{d\Sigma}} \sin \delta; \quad (24.13)$$

$$C_2 = \frac{dP_{E'q}}{d\delta} = \frac{E'q \cdot U}{x'_{d\Sigma}} \cos \delta; -u^2 \frac{(x_d - x'_d)}{x_{d\Sigma} \cdot x'_{d\Sigma}}; \quad (24.14)$$

$$b_2 = \frac{dP_{E'q}}{dE'_q} = \frac{U}{x'_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta; \quad (24.15)$$

$$C_3 = \frac{\partial P_{UG}}{d\delta} = C_1 - u^2 \frac{x_d}{x_{d\Sigma} \cdot x_s} (\sin \delta - tg \cdot \cos \delta) \sin \delta; \quad (24.16)$$

$$b_3 = \frac{\partial P_{UG}}{dU_G} = \frac{U}{x_s} \sin \delta \cdot \frac{1}{\cos \delta_G}; \quad (24.17)$$

bu ýerde

$$\delta_G = L(\dot{E}_q \wedge U_G); \cos \delta_G = \sqrt{1 - \left( \frac{U \cdot x_d \cdot \sin \delta}{U_G \cdot x_{d\Sigma}} \right)^2} \quad (24.18)$$

## 25. Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi

Ýokarda getirilen deňlemeleri burçuň üýtgemesine görä işläp, ulgamyň häsiýetlendiriji polinomyny alarys. Häsiýetlendiriji polinony nula deňläp, häsiýetlendiriji deňlemäni alarys. Eger öwrüjiniň, ölçeýjiniň we güýçlendirijiniň wagt hemişeliklerini azlygy sebäpli nul diýip kabul etsek, onda häsiýetlendiriji deňleme dördünji derejeli bolýar:

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + (a_2 + \Delta a_2) p^2 + a_3 p + (a_4 + \Delta a_4) = 0 \quad (25.1)$$

bu ýerde “a” diýip diňe ulgamyň elementleriniň parametrlerinden bagly ululyklary, “Δa” diýip bolsa sazlaýjynyň parametrlerinden bagly ululyklary belleýäris. Olar aşakdaky ýaly:

$$a_0 = T_e T_d T_y;$$

$$\Delta a_2 = K_{OU} T_I \frac{b_1}{b_3}; \quad (25.2)$$

$$a_1 = T_I (T_d + T_e);$$

$$a_2 = T_I + T_d \cdot T_e C_2;$$

$$a_3 = T_d \cdot C_2 + T_e C_1; \quad \Delta a_4 = K_{OU} C_3 \frac{b_1}{b_3};$$

$$a_4 = C_1;$$

bu ýerde

$$T'_d = T_{do} \frac{x'_{d\Sigma}}{x_{d\Sigma}} \quad (25.2)$$

### 25.1. Ulgamyň staiki durnuklylygyny Gurwisiň kriterisi boýunça derňemek

Indi ulgamyň statiki durnuklylygy Gurwisiň kriterisi esasynda derňäliň. Gurwisiň kriterisine görä ulgamyň durnuklylygy üçin aşakdaky şertler ýerine ýetirmeli.

1. Häsiýetlendiriji deňlemäniň ähli koeffisiýentleri položitel san bolmaly;
2. Gurwisiň kesgitleýjileriniň ähli tertipleri položitel san bolmaly.

Birinji şerti barlalyň.  $a_0$  we  $a_1$  koeffisiýentler mydama položitelidirler, sebäbi olar hakyky elementleriň parametrlerinden bagly.

$a_3$  koeffisiýentiň položitelligi aşaky şerte getirýär:

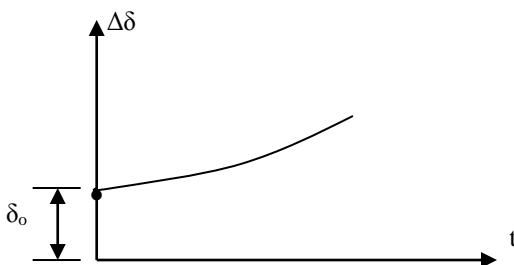
$$C_2 > (-C_1) \frac{T_e}{T'_d} \quad (25.1.1)$$

$C_2 > 0$   $T_e$  wagt hemişeliginden bagly we  $T_e$  uly boldygyça  $C_2$  hem uly bolmaly.

$a_2 + \Delta a_2 > 0$  şert sazlaýjynyň güýçlendiriş koeffisientiniň minimal bolmaly bahasyny kesgitleýär:

$$K_{OU \min} \geq \frac{(-C_1)}{C_3} \cdot \frac{b_3}{b_1} \quad (25.1.2)$$

Eger güýçlendirijiniň koeffisiýenti  $K_{OU \min}$  bahasyndan kiçi goýulsa, onda statiki durnuklylyk bozulýar we bozulma aperiodiki görnüşde bolýar. (1-nji çyzgy).



25.1.1-nji çyzgy.

Güýçlendiriş koeffisiýentiň uly bahasyny goýmaklyk generatoryň naprýaženiýesini gowy saklamak üçin hem  $\Sigma$  zerur. Emma güýçlendiriş koeffisiýentiniň bahasy ýokarsyndan çäklendirilen. Bu çäklendirme Gurwisiň iň ýokary tertipli kesgitleýjisiniň položitel bolmaklyk, ýagny,  $\Delta_{Gur.} > 0$  şertinden tapylýar: bu şert aşadaky aňlatmadan kesgitlenýär.

$$K_{OU \max} = \frac{\frac{C_2 - C_1}{C_3 - C_2} \cdot \frac{b_3}{b_1} \left[ 1 + \frac{T_e^2}{T_l} \cdot \frac{T_d C_2 + T_e C_1}{T_e + T_d'} \right]}{1 + \frac{T_e}{T_d'} \cdot \frac{C_3 - C_1}{C_3 - C_2}} \quad (25.1.3)$$

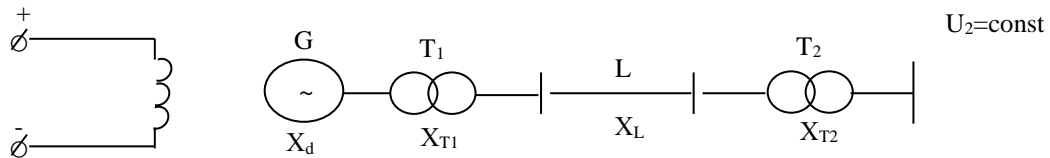
Eger güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti  $K_{OU \min}$  bahasyndan köp goýsa, onda durnuklylyk bozulýar we bozulma yrgyldy bolup geçýär.

Proporsional sazlaýjyly generator çalşygy shemada  $E'_q = \text{const}$  elektrik herekete getiriji we  $X_d$  reaktiwlik bilen çalşyrýarlar.

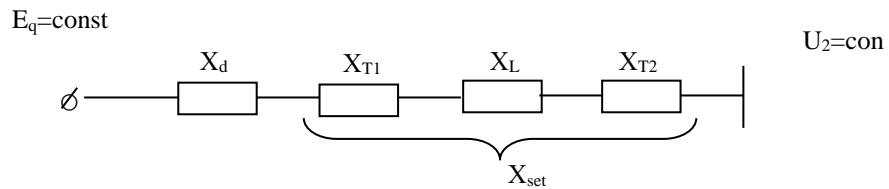
## 26. Oýandyryjysy güýçli sazlaýjyly ýönekeýje ulgamyň statiki durnuklylygy

Oýandyryjysy güýçli sazlaýjyly ulgam diýip, sazlaýjy täsiri döretmek üçin naprýaženiýäniň, togyň we ýygylýgyň üýtgemelerini we olaryň proizvodnyalaryny ölçäp bilýän ulgama düşinilýär. Şeýle ulgamyň durnuklylygyny az yrgyldylar usuly bilen derňemek has amatly. Ýöne bu zatlaryň üstünde durman, diňe dürli oýandyryjylar bilen edilen ulgamlaryň kuwwat çäklerini kesgitlemek we olary deňeşdirmek bilen çäkleneliň.

1. Oýandyryjysy sazlanmaýan ulgam. Şeýle ulgam generatoryň sinhron  $X_d$  reaktiwliginiň yzyndan goýlan sinhron elektrik herekete getirijini hemişelik saklap bilýär.



a)



b)

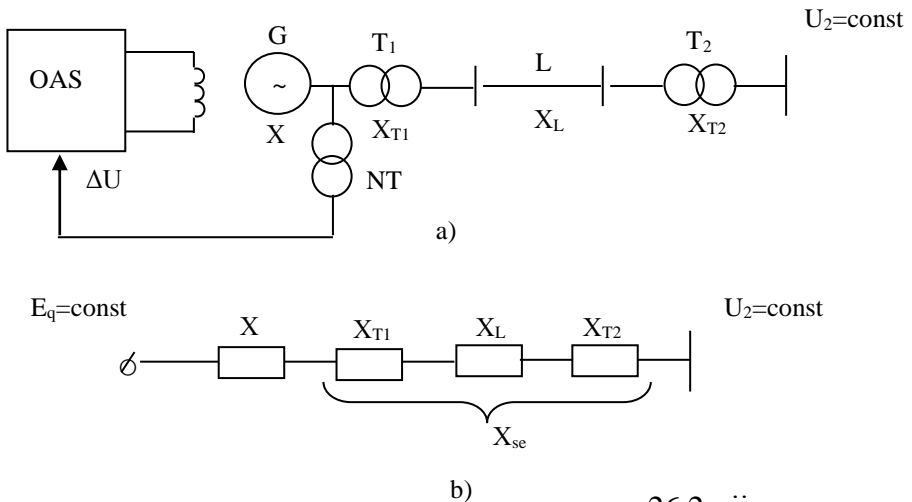
26.1-нји чызгы



26.1-nji çyzgyda şeýle ulgamyň prinsipial (a) we çalşyryjy (b) shemalary görkezilen. Çalşyryjy shemadan berip biljek kuwwatynyň çäginı aşakdaky ýaly kesgitleýär:

$$P_{mE_q} = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{T_1} + x_L + x_{T_2}} \quad (26.1)$$

2. Oýandyryjysy proporsional sazlanýan ulgam. Şeýle ulgamyň prinsipial (a) we çalşyryjy (b) shemalary 26.2-nji çyzgyda görkezilen.



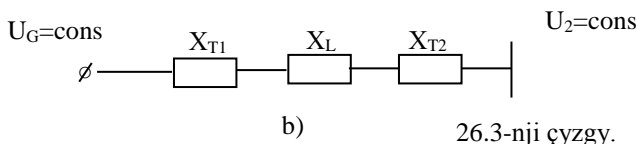
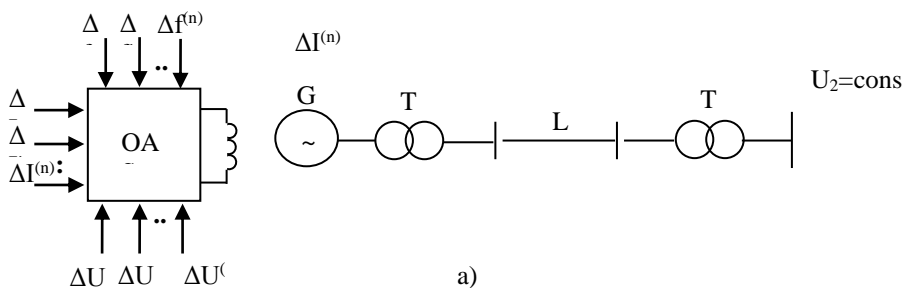
26.2-nji çyzgy

Proporsional sazlaýjyly ulgam generatoryň geçişli elektrik herekete getirijisini hemişelik saklaýar. Çalşyryjy shemadan ulgamyň kuwwat çäginı aşakdaky ýaly kesgitleýäris:

$$P_{mE'_q} = \frac{E'_q \cdot U_2}{x'_d + x_{T_1} + x_L + x_{T_2}} \quad (26.2)$$

3. Oýandyryjy güýçli sazlanýan ulgam. Ulgamyň prinsipial (a) we çalşyryjy (b) shemalara 26.3-nji çyzgyda görkezilen. Güýçli sazlaýjy geneatoryň ýa-da ýokarlandyryjy trnsformatorlaryň naprýaženiýesini hemişelik saklap bilýär. Generatorň naprýaženiýesini hemişelik saklaýan warianty 26.3, a çyzgyda getirilen. Kuwwat çägi aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$E_{mU_G} = \frac{U_G \cdot U_2}{x_T + x_L + x_{T_2}} \quad (26.3)$$



Eger dürli oýandyryjyly ulgamlaryň kuwwat çäklerini deňeşdirmek, onda aşakdaky gatnaşyk döreýär.

$$P_{mE_q} \langle P_{mE'_q} \langle P_{mU_G} \quad (26.4)$$

Beýle diýmek, güýçli oýandyryjyly ulgam iň uly kuwwat çäginı berip bilýär. Onuň kuwwat çäginı hat-da liniýanyň kuwwat çäginıe ýakynlaýar:

$$P_{mE_q} \langle P_{mE'_q} \langle P_{mU_G} \leq P_{mL} \quad (26.5)$$

Liniýanyň başyndaky we aýagyndaky naprýaženiýeleri  $U_1$  we  $U_2$  diýip bellesek, onda bu liniýanyň kuwwat çägi aşakdaky ýaly kesgitleýär:

$$P_{mL} = \frac{U_1 \cdot U_2}{x_L} \quad (26.6)$$

bu ýerde  $X_L$ -liniýanyň reaktiwligi.

Güýçli sazlaýjyny hakykatda amala aşyrmaklyk örän kyn, sebäbi durmuşda naprýaženiýäniň, togyň, ýyglylygyň üýtgemelerini öleýän gurallary döretmek kyn. Bu kynçylyk olaryň proizvodnyalaryny ölçemeklik meselesinde has hem kynlaşýar. Şonuň üçin her bir taslama ediji gurama güýçli sazlaýjyny döretmeklige özüçe çemeleşýär. Mysal üçin Wolganyň boýnundaky gidroelektrostansiýada döredilen sazlaýjy naprýaženiýäniň we togyň üýtgemelerini, naprýaženiýäniň birinji proizvodnysyny, togyň üýtgemesiniň bolsa birinji we ikinji proizvodnyalaryny ölçeyär. Başga bir Wolganyň gidroelektrostansiýasynda gurnalan güýçli sazlaýjy naprýaženiýäniň üýtgemesini we onuň birinji proizvodnysyny, ýyglylygyň üýtgemesine we onuň birinji proizvodnysyna täsir edýär.

## 27. Dinamiki durnuklylyk

### Umumy ýagdaýalar

Dinamiki durnuklylygyny derňemekligi ýeňilleşdirmek üçin aşakdaky ýagdaýlary kabul edeliň:

1. Ulgamyň düzgüniniň üýtgemegi hususy we özara garşylyklaryň, generatorlaryň elektrik herekete getirijileriň, käbir ýagdaýda turbinanyň kuwwatynyň üýtgemeleri bilen bagly;
2. Elektrik kuwwatlary elektrik herekete getirijileriň we garşylyklaryň üsti bilen kesgitleýäris. Elektrik kuwwat pursatda üýtgäp bilýär diýip kabul edýäris. Generatornyň magnit geçirijisindeki goşmaça kuwwat ýitgisini köplenç hasaba alamyzok ýa-da takmynan stator sarymynyň kuwwatyny köpeltmek arkaly hasaba alýarys.
3. Simmetriki däl düzgünler kompleks çalşyryjy shemany ulanmak arkaly simmetriki düzgünleri getirilýär. Rotoryň hereketiniň üýtgemegi diňe göni yzygiderlikli toklaryň döretýän momentleriniň üýtgemegi bilen bagly. Ters yzygiderlikli toklaryň bolsa diňe döretýän ýitgilerini kompleks shema ters we nol yzygiderlikli garşylyklary girizmek arkaly hasaba alýarys.
4. Generatornyň we transformatoryň magnit ulgamynyň doýmagy zerarly olaryň garşylyklarynyň üýtgemekligini ýa hasaba alamyzok, ýa-da olar çalşyryan garşylyklary kiçeltmek arkaly takmynan hasaba alýarys. Bu manyda ulgam göniçyzykly.
5. Geçiş proseslerini ýönekeý hasaplanymyzda geçişli elektrik herekete getiriji  $E'_q$  üýtgemeýär diýip kabul edýäris. Takyk hasaplamalar diňe Park-Gorewiň deňlemeleriniň üsti bilen geçirilýär.

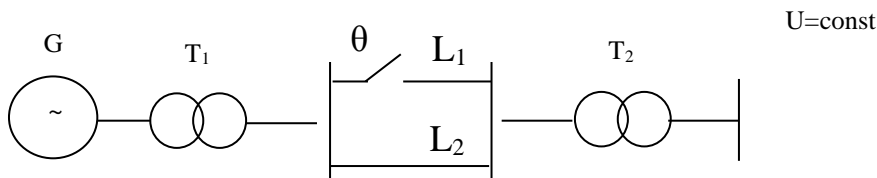
## 27.1. Meýdanlar usulynyň manysy

Generatoryň rotorynyň otnositel hereketini, hereket deňlemesini işlemän hem derňäp bolýar. Munuň üçin rotoryň mehaniki energiýesini bilmeli. Mehaniki energiýäniň üýtgemesini meýdanlar usuly boýunça kesgitlemeli.

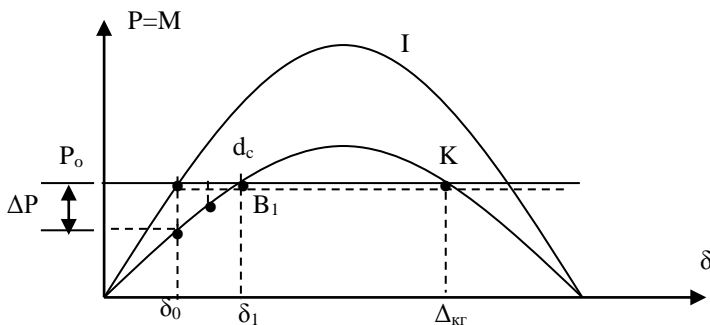
Hakykatdan hem ulgamyň düzgüni üýtgände generatoryň elektromagnit mehaniki we elektriki kuwwaty üýtgeýär, bu bolsa onuň  $M=f(\delta)$ , ýa-da tizlik az üýtgände  $P=f_I(\delta)$  häsiýetnamasy üýtgeýär.

Aşakdaky çyzgya seedeliň. Eger generator iki liniýa boýunça kuwwatyny berse, onda ol I häsiýetnamada a nokatda işleýär.  $\theta$  öçüriji bir liniýany öçürse, onda kuwwat häsiýetnamasy II bolýar. Elektrik kuwwatynyň pursatlaýyn üýtgäp bilýändigini üçin generator a nokatdan b nokada geçýär. Bu nokatda mehaniki kuwwat elektrik kuwwatdan uly. şonuň üçin rotor tizlenip başlaýar. Tizlenende rotor tizlenme energiýesini toplaýar.

$\Delta I^{(n)}$



27.1.1-nji çyzgy.



27.1.2-nji çyzgy

Mysal üçin,  $\delta_0$  burçdan burça çenli rotor tizlenende ol abb,da meýdana deň bolan kinetiki energiýäni toplaýar. Bu energiýäni aşakdaky formula boýunça kesgityäp bolýar:

$$A = \int_{\delta_0}^{\delta_1} \Delta P(\delta) d\delta = \frac{T_I \cdot \Delta \omega^2}{2} \quad (27.1.1)$$

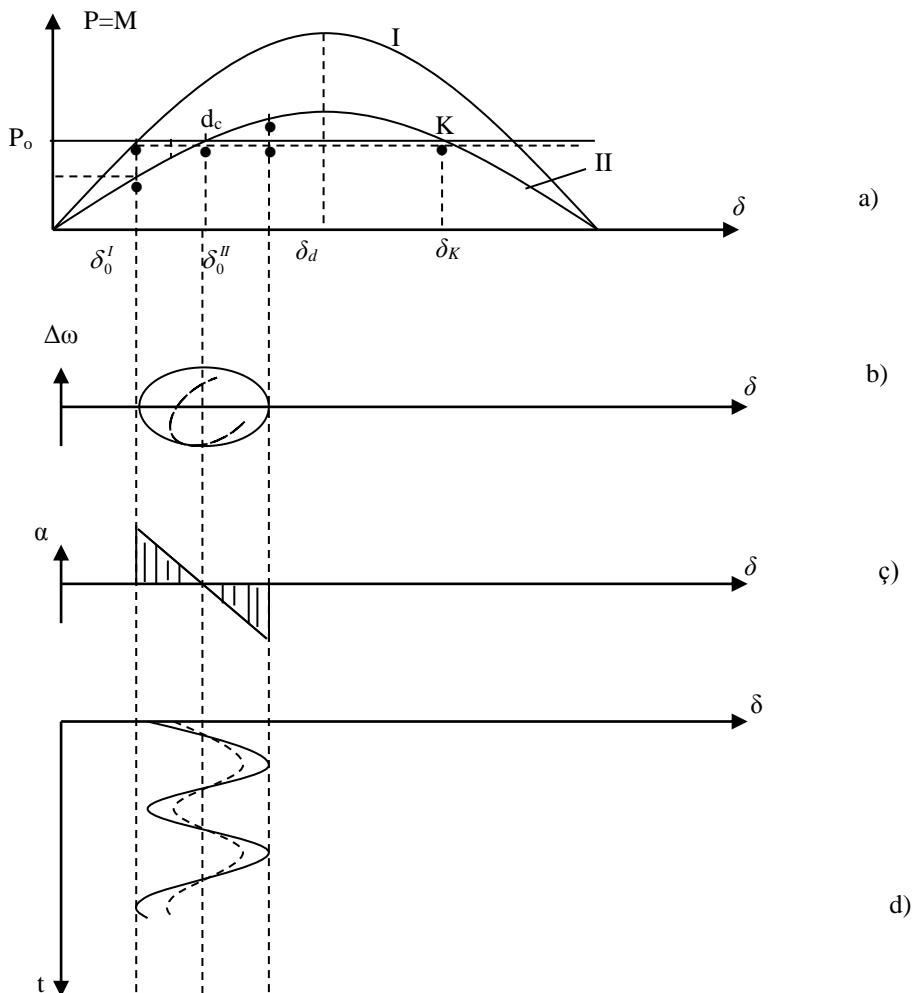
bu ýerden:

$$\Delta \omega = \frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{2}{T_I} \int_{\delta_0}^{\delta_1} \Delta P(\delta) d\delta} \quad (27.1.2)$$

(27.1.2) deňlemenden görnüşi ýaly rotoryň alan energiýesini bilsek, ýagny integraly hasaplap bilsek, onda tizligiň we  $\delta$  burçuň üýtgemegini bilip bolýar. Bu bolsa meýdanlar usulynyň esasy manysydyr. Bu usul ýönekeý hem çylşyrymly ulgamda deň derejede degişlidir.

**28. Meýdanlar usuly bilen generatoryň ýüküniň duýdansyz  
üýtgemeginde dinamiki durnuklylygy derňemek**

Aşakdaky çyzgya seredeliň.



28.1-nji çyzgy.

Generator I häsiýetnamada “a” nokatda köşeşen düzgünde işleýär. Düzgün bozulanda ol II häsiýetnama “b” nokada geçýär. Bu nokatda turbinanyň momenti generatoryň momentinde uly. Şonuň üçin rotor tizlenip başlaýar,  $\delta$  burç ulalýar. Rotor tizlenende tizlenme energiýesini toplar. Ol energiýe abca figuranyň meýdanyna deňdir. “ç” nokatda turbinanyň we generatoryň momentleri deňleşýär. Ýöne bu nokatda rotor galmaýar, oňa toplanan tizlenme energiýesi mümkinçilik bermeyär. Burçuň ulalmasy dowam edýär. “d” nokatda ähli toplanan tizlenme energiýesi harçlanýar. Bu nokatda hem rotor galmaýar, sebäbi generatoryň momenti turbinanyň momentinden uly. Indi tormazlama we burçuň kiçelmesi başlaýar. Tormozlananda rotor tormazlanma energiýesini toplaýar başlaýar. “ç” nokatda ýene generatoryň we turbinanyň momentleri deňleşýärler. Bu nokatda hem rotor galmaýar, oňa tormozlanma energiýesi päsgel berýär. Burçuň kiçelmesi dowam edýär. “b” nokatda ähli tormazlanma energiýesi harçlanyp gutarýar. Bu nokatda hem rotor galmaýar, sebäbi turbinanyň momenti generatoryň momentinden uly. proses gaýtadan başlaýar. Ýitgi ýok ulgamda bu proses sönmän dowam edýär. Emma, ýitgi bar bolan ulgamda proses togtar we in soňunda “ç” nokatda II häsiýetnamada köşeşen düzgün emele gelyär. 28.1-nji b,d çyzyglarda prosesin faza portretleri görkezilen. 28.1-nji ç çyzygyda bolsa  $\delta$  burçuň wagty boýunça üýtgemesi görkezilen. Tutuş çyzyklar ýitgi ýok ulgama, punktiw çyzyklar bolsa, real, ýitgi bar ulgama degişli.

Meýdan düzgüni aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$A_{tizl.}=A_{torm.} \quad (28.1)$$

ýa-da

$$\int \Delta P d\delta = 0 \quad (28.2)$$

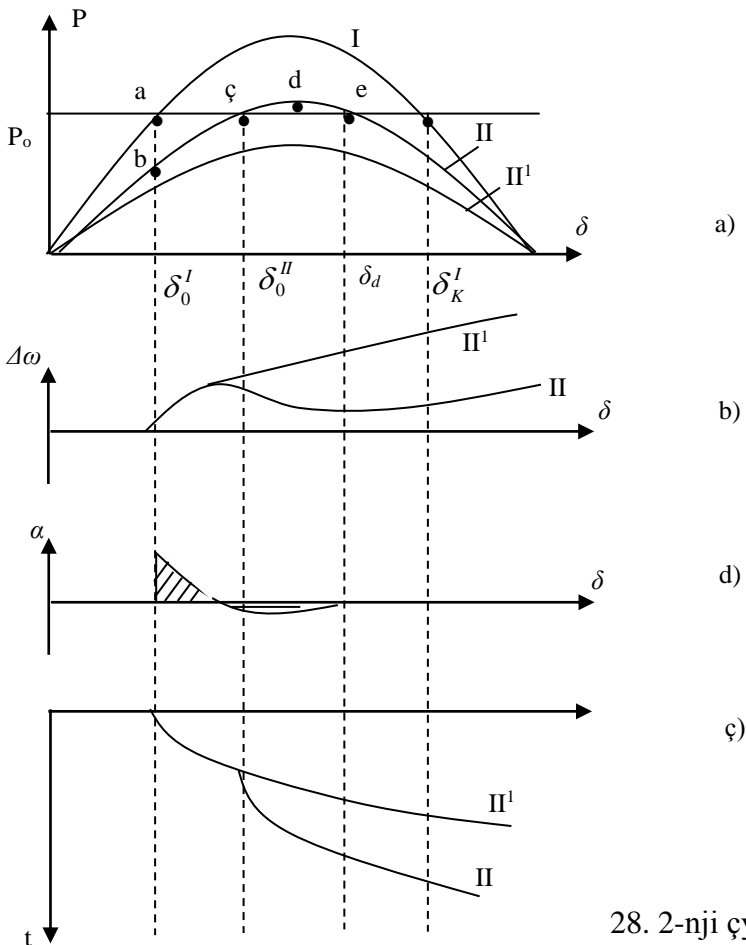
beýle diýdigi potensial we kinetiki energiýeleriň jemi hemişelik galýar. Bu düzgün ulgamda ýitgi ýok ýagdaýy üçin



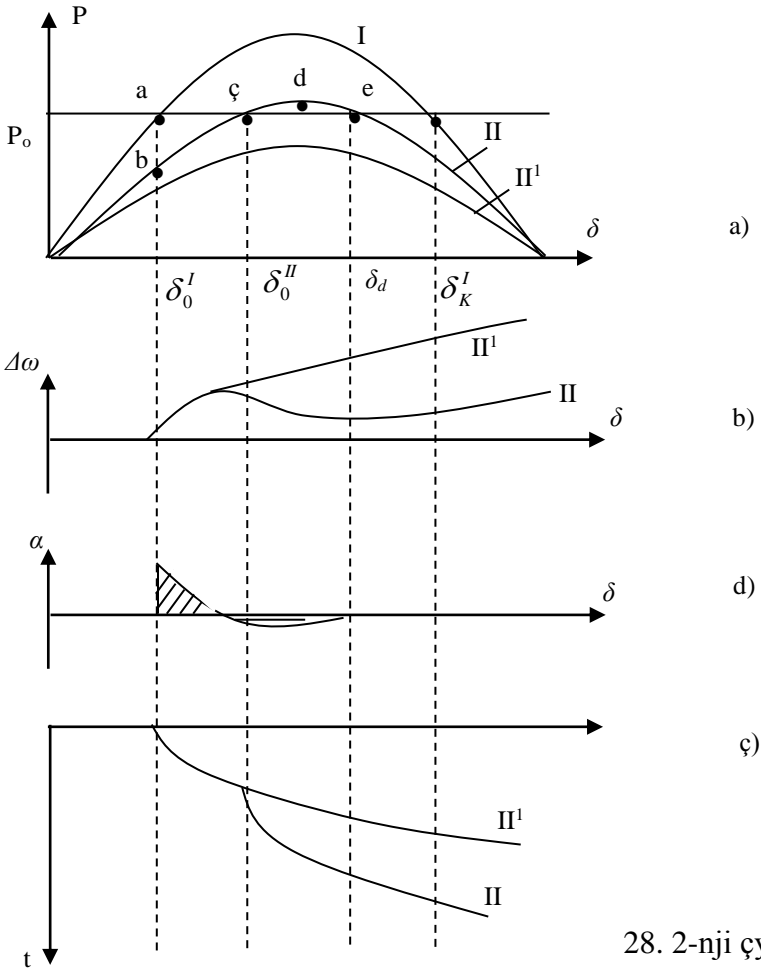
esaslanandyr. Emma ony hil derňewi üçin ýitgi bar ulgamada ulanyp bolar.

Meýdan usulyny başgaça hem aýdyp bolar: bir düzgünden başga düzgüne geçmeklik durnukly bolmak üçin, toplanan kinetiki energiýe burç öz kritiki bahasyna ýetmänkä harlanyp gutarmaly. Şeýle anyk durnukly ýagdaý 1-nji çyzgyda görkezilen.

Durnuksyz ýagdaý 28.2-nji çyzgyda görkezilen.



28. 2-nji çyzgy.



28. 2-nji çyzgy.

Bu ýerde täze düzgüniň häsiýetnamasy iki görnüşde bolup biler: II-görnüşli we II<sup>1</sup>-görnüşli. Eger täze düzgüniň häsiýetnamasy II-görnüşli bolsa, onda tormazlama meýdany “cede” az hem bolsa bar, emma ol durnuklylygy saklamak üçin ýeterlikli däl.

Eger täze düzgüniň häsiýetnamasy  $\Pi^1$ -görnüşli bolsa, onda tormazlama meýdany ýok, şonuň üçin ulgam durnuklylykdan säginmän çykýar. 2,b,d çyzgylarda  $\Delta\omega$  we  $\alpha$  burçundan baglylykda üýtgemesi, 28.2, ç çyzgyda bolsa  $\delta$  burçuň wagt boýunça üýtgemesi görkezilen.

Eger  $\delta$  burç kritiki bahasyna ýetende tizlenme we tormazlama meýdanlary deňleşse, bu kritiki ýagdaý bolýar. Bu ýerde ulgam özüni nähili alyp barjak, bu goşmaça uly bolmadyk faktorlar bagly. Eger goşmaça faktor amatly, mysal üçin şol pursatda azyrak ýük aýrylsa, onda düzgün durnukly bolýar. Eger goşmaça faktor amatsyz bolsa onda generator täze düzgüne geçip bilemýär.

Bir düzgünden başga bir düzgüne geçmekligiň durnuklylygyny

$$\Delta F = F_{\text{mümkin bolan torm.}} - F_{\text{tirl.}} \quad (28.1)$$

meýdanyň alamaty ýa-da dinamiki durnuklylygyň ätiýaçlyk koeffisiýentiniň

$$K = \frac{F_m \cdot b \cdot t}{F_{tiz.}} = \frac{F_{tiz} + \Delta F}{F_{tiz}} = 1 + \frac{\Delta F}{F_{tiz}} \quad (28.2)$$

san ululygy boýunça kesgitläp bolar.

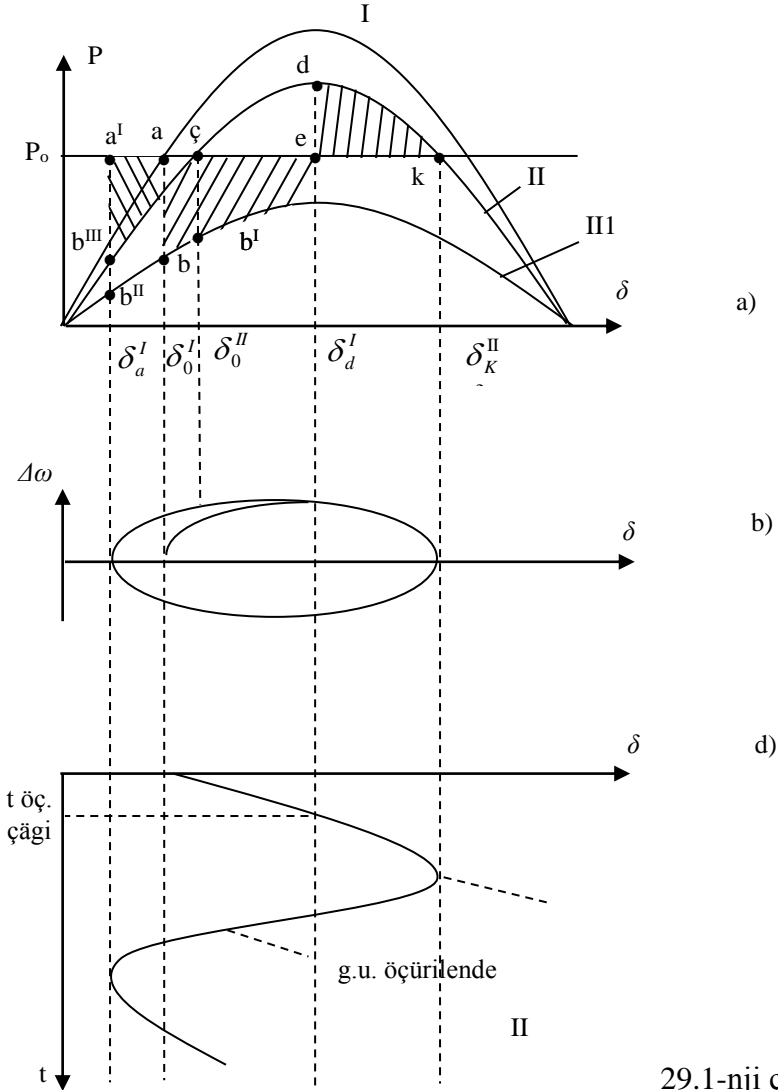
Eger  $\Delta F > 0, K > 1$ , onda düzgün durnukly;  
 $\Delta F < 0, K > 1$ , onda düzgün durnuksyz;  
 $\Delta F = 0, K = 1$ , onda kritiki ýagdaý.

## 29. Meýdanlar usuly boýunça g.u. öçürmegiň burç çägin kesgitlemek

Gysga utgaşmany öçürmegiň burç çägi diýip, ulgamda durnuklylygy saklamagy üpkün edýän iň uly burça aýdylýar. Bu burç kesgitlemek üçin üç häsiýetnamany getirmeli bolýar: I –

normal düzgününiň häsiýetnamasy, II – awariýadan soňky döreýän düzgününiň häsiýetnamasy, III – awariýa düzgününiň häsiýetnamasy.

Simmetriki däl gysga utgaşma üçin şeýle häsiýetnamalar 29.1 – çyzgyda görkezilen.



29.1-nji çyzgy.

Bu ýerde  $\delta_0^I$  – başlangyç burç  $\delta_d$  – g.u. öçürme burçy, ýagny burç çägi ;  $\delta_k^{II}$  – II häsiýetnama boýunça kritiki burç ;  $t_{\delta\epsilon}^{çägi}$  – wagt boýunça g.u. öçürme çägi. G.u. öçürme çäginı kesgitlemek üçin *abbea* tizlenme meýdanyny *edke* tormozlama meýdanyna deňleşýäris. Integral görnüşde ýazsak, onda :

$$\int_{\delta_0^I}^{\delta_{\delta\epsilon}^{ç}} (P_0 - P_m^{III} \cdot \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{\delta\epsilon}^{ç}}^{\delta_k^{II}} (P_m^{II} - \sin \delta - P_0) d\delta \quad (29.1)$$

Integraly ýerine ýetirip taparys :

$$\delta_{\delta\epsilon}^{ç} = \arccos \frac{P_0(\delta_k^{II} - \delta_0^I) + P_m^{II} \cdot \cos \delta_k^{II} - P_m^{III} \cdot \cos \delta_0^I}{P_m^{II} - P_m^{III}} \quad (29.2)$$

Bu formulada burç radianda, kuwwat bolsa otnositel birlikde aňladylan diýip kabul edýäris.

Eger g.u. üçfazly bolsa, onda awariýa häsiýetnamasy III absissa oky bilen gabat gelýär, ýagny  $P_m^{III} = 0$ . Onda üçfazly g.u. üçin burç çäge aşakdaky ýaly kesgitleýär :

$$\delta_{\delta\epsilon}^{ç} = \arccos \frac{P_0(\delta_k^{II} - \delta_0^I) + P_m^{II} \cdot \cos \delta_k^{II}}{\rho_m^{II}} \quad (29.3)$$

$\delta_{a'}$  burçy kesgitlemek üçin tizlenme meýdany  $a'$   $b^{III}$   $c$   $a'$  tormozlama meýdany (mümkün bolan)  $c$   $d$   $k$   $c$  bilen deňleşdirýäris :

$$\int_{\delta_a^I}^{\delta_0^{II}} (P_0 - P_m^I \cdot \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_0^{II}}^{\delta_k^{II}} (P_m^{III} \cdot \sin \delta - P_0) d\delta \quad (29.4)$$

Integraly işläp  $\delta_{a'}$  burçuň bahasyny tapýarys. Eger g.u. öçürilse, onda yzgyldy  $\delta_{a'}$  we  $\delta_k^{II}$  burçlaryň arasynda bolup geçýär.

### 30. Ýzygiderlikli aralyklar usuly

#### Umumy ýagdaýlar

Meýdanlar usuly boýunça dinamiki durnuklylygyň diňe hil tarapyny kesgitlep bolýar. Emma mukdar hasaplamalaryny bu usul bilen hasaplap bolmaýar. Haýsam bolsa bir elektrik herekete getirijini hemişelik diýlip geçirilýän derňewler hem hususy häsiýetli bolýar.

Rotoryň hereketini düşünmek üçin onuň deňlemesini işlemeli. Bu deňlemäni egriçyzykly agzanyň barlygy üçin diňe san görnüşde işläp bolýar.

Differensial deňlemeleri san görnüşinde işlemekligiň usullary köp. Praktiki meseleleri çözmek üçin, hasaba elektrik ulgamlar üçin, ýeňilleşdirilen usul bu zyzygiderlikli aralyklar usulydyr. Bu usulyň kemiçilikleri bar, emma oňa seretmezden ol praktikanyň talaplaryny doly berjaý edýär.

#### 30.1. Zyzygiderlikli aralyklar usulynyň manysy

Bu usuly ulananymyzda hereket deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazmaklyk amatly

$$\alpha = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{360 \cdot f_0 \cdot \Delta M}{T_j}, \quad (30.1.1)$$

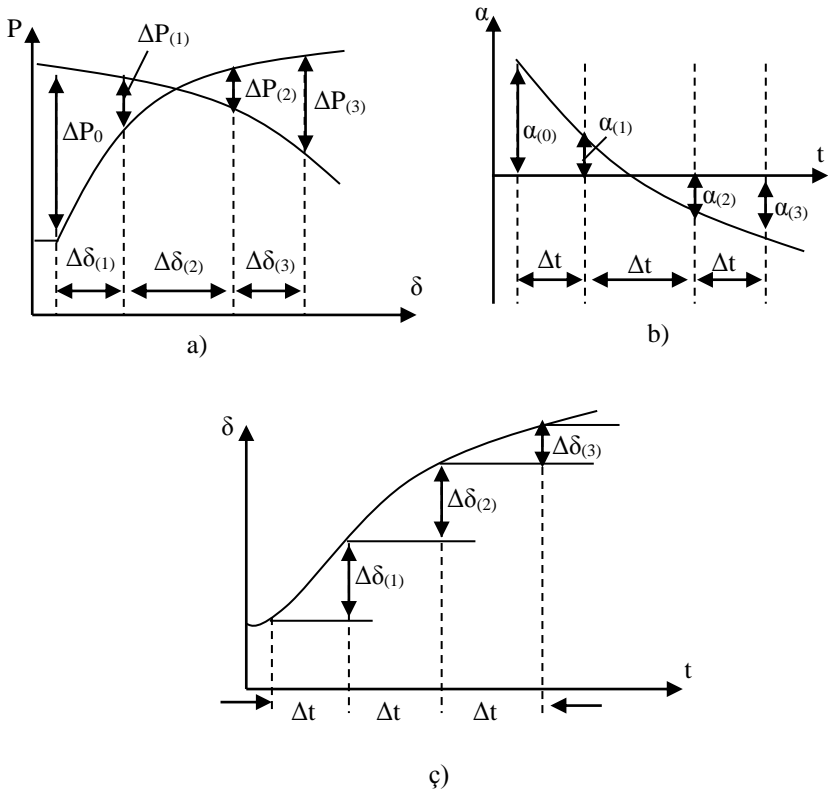
bu ýerde  $\Delta M = M_{meh} - M_{elm}$ ,

$M_{meh}$  – mehaniki moment, ýa-da generatoryň momenti.

Eger tizlik az üýtgeýär diýsek, onda  $\Delta M = \Delta P$ , we hereket deňlemesini kuwwatlaryň üsti bilen ýazyp bolýar :

$$\alpha = \frac{360 \cdot f_0 \cdot \Delta P}{T_j}, \quad (30.1.2)$$

Usulyň manysyna düşünmek üçin mesele eýýäm çözülen we aşadaky grafikler gurlan diýeliň.



30.1.1-njy çyzgy

Meseläni çözmek üçin wagty ýa-da burçy deň aralyklara böleliň. Köplenç wagt bölünýär.  $T$  aralygyň ululygy  $\Delta t = 0,02 \div 0,1s$  ýaly alnýr. Aralygy uly alsak onda çözüň takyklygy peselýär, emma hasaplamalar az bolýar. Tersine  $\Delta t$

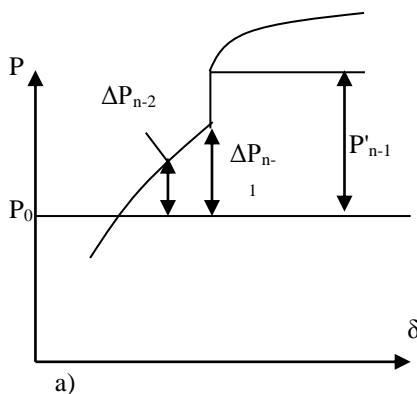
wagty kiçi alsak takyklyk ösýär, emma hasaplamalar köp talap edilýär. Sonuň praktikada alynmaly  $\Delta t$  ululygy  $\Delta t = 0,05s$  maslahat berilýär.

Burçuň her aralykdaky üýtgemelerini aşakdaky rekurent aňlatmalardan kesgitläp bolýar:

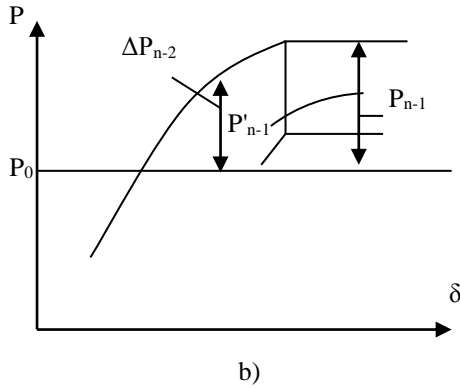
$$\begin{aligned}\Delta\delta_{(1)} &= k \cdot 0,5 \cdot \Delta P_{(0)} \\ \Delta\delta_{(2)} &= \Delta\delta_{(1)} + k \cdot \Delta P_{(1)} \\ &\vdots \\ \Delta\delta_{(n)} &= \Delta\delta_{(n-1)} + k \cdot \Delta P_{(n-1)}\end{aligned}\quad (30.1.3)$$

bu ýerde  $k = \frac{360 \cdot f_0 \cdot \Delta t^2}{T_j}$  - hemişelik koeffisiýent.

Käbir aralyklarda kuwwat üýtgemesi birden bolup geçmegi mümkin, mysal üçin, g.u., ýa-da faza üzülmesi sebäpli (30.1.3-çyzgy)







30.1.3-nji çyzgy.

Şu aralyklarda burç üýtgemesi aşakdaky ýaly kesgitlenýär.

$$\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{(n-1)} + 0,5 \cdot k(\Delta P_{(n-1)} + \Delta P'_{(n-1)}) \quad (30.1.4)$$

bu ýerde  $\Delta P_{(n-1)}$  – kuwwat üýtgemesiniň bozulma çenli bahasy :

$\Delta P'_{(n-1)}$  – kuwwat üýtgemesiniň bozulmadan soňky bahasy.

Eger käbir aralyklarda wagtyň masştaby üýtgeşe, onda bu aralykda :

$$\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{(n-1)} \cdot k_{\Delta} + k \frac{\Delta P_{(n-2)}(1 - k_{\Delta}) + \Delta P_{(n-1)}(1 + 3 \cdot k_{\Delta})}{4 \cdot k_{\Delta}} \quad (30.1.5)$$

bu ýerde  $k_{\Delta}$  – täze we köne wagt aralyklarynyň gatnaşygy:

$$k_{\Delta} = \frac{\Delta t(täze)}{\Delta t(köne)}$$

### 31. Yzygiderlikli aralyklar usuly bilen elektromagnit prosesleri hasaba almak

Agzalan usuly boýunça geçiş proseslerini hasaplananda elektromagnit proseslerini dürli usul boýunça hasaba alyp bolýar. Köplenç ony generatoryň belli bir elektrik herekete getirijini hemişelik diýip kabul edip hasaplap bolýar. Eger geçiş proseslerini takyk hasaplamaly bolsa, onda Park-Gorewiň deňlemelerini ulanyp hasaplamaly. Ýöne bu usul köp hasaplamalary talap edýär.

Häzirki seretjek usulymyzda her aralykda sinhron elektrik herekete getirijini aşakdaky formyla boýunça hasaplaýarys :

$$E_q = \frac{E'_q - u \cdot Y_{12}(x_d - x'_d) \cos(\delta - \alpha_{12})}{1 - Y_{11}(x_d - x'_d) \cos \alpha_{11}} \quad (31.1)$$

Şeýle-de her aralykda geçişli elektrik herekete getirijiniň üýrgemesini aşakdaky formula boýunça kesgitleýäris :

$$\Delta E'_q = (T_{qe} - E_q) \cdot \frac{\Delta t}{T_{d0}} \quad (31.2)$$

Burçuň üýtgemesi bolsa ýokarda agzalan formulalar boýunça hasaplanýar.

### 31.1. Yzygiderlikli aralyklar usuly boýunça geçiş proseslerini hasaplamagyň algoritmi

Algoritmi anyk däl polýusly generator üçin oýandyryjyny awtomatiki sazlaýjyny ýönekeý hasaba alynan ýagdaýy üçin getireliň.

Geçiş prosesi aşakdaky yzygiderlikde ýerine ýetirýäris:

1. Başlangyç düzgünde aşakdaky parametrleri kesgitleýäris :  $P_0$ —berilýän kuwwat,  $\delta_0$  — başlangyç burç , başlangyç geçişli e.h.g. , başlangyç sinhron e.h.g.  $E_{q0}$ .
2. Çalşyryjy shemalardan özara we hususy garşyleklary awariýa we awariýadan soňky düzgünler üçin kesgitleýäris. Generator üçin sinhron reaktiwlik alynýar.
3. Sazlaýjynyň we oýandyryjynyň häsiýetnamalary esasynda generatoryň  $E_{qe}$ —niň wagt boýunça üýtgeýän baglanşygy  $E_{qe}=f(t)$  gurulýar. Bu baglanşyk iki hili bolýar:
  - a) eger generatoryň naprýaženiýesi normal bahasyndan kiçi bolsa bu baglanşyk eksponenta boýunça beýgelyär.
  - b) eger generatoryň naprýaženiýesi normal bahasynda deň bolsa, onda bu baglanşyk peselýär.
4. Birinji aralygyň başynda sinhron elektrik herekete getirijisiniň bahasy kesgitlenýär :

$$E_{q(0)} = \frac{E'_{q0} - u \cdot Y_{12}(x_d - x'_d) \cos(\delta_0 - \alpha_{12})}{1 - Y_{11}(x_d - x'_d) \cos \alpha_{11}} \quad (31.1.1)$$

5. Birinji aralygyň dowamynda geçişli elektrik herekete getirijisiniň alan üýtgemesi hasaplanýar :

$$\Delta E'_{q(1)} = \frac{E_{qe(1)} - E_{g(0)}}{T_{d0}} \cdot \Delta t , \quad (31.1.2)$$

- bu ýerde  $E_{qe(1)}$  – birinji aralykda  $E_{qe}$ -niň ortaça bahasy.
6. Birinji interwalyň soňunda, ýa-da elektrik herekete getirijisiniň bahasy kesgitlenýär.

$$E'_{q(1)} = E'_{q(0)} + \Delta E'_{q(1)} \quad (31.1.3)$$

7. Birinji aralygyň başynda generatoryň aktiň kuwwaty kesgitlenýär :

$$P_{(0)} = E_{q(0)}^2 \cdot Y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + E_{q(0)} \cdot u \cdot Y_{12} \cdot \sin(\delta_0 - \alpha_{12}) \quad (31.1.4)$$

8. Mehaniki we elektrik kuwwatlarynyň tapawudy kesgitlenýär :

$$\Delta P_{(0)} = P_0 - P_{(0)} \quad (31.1.5)$$

9. Birinji aralykda burçyň alýan üýtgemesi kesgitlenýär :

$$\Delta \delta_{(1)} = 0,5 \cdot k \cdot \Delta P_{(0)} \quad (31.1.6)$$

10. Birinji aralygyň soňunda burçuň bahasy kesgitlenýär :

$$\delta_{(1)} = \delta_{(0)} + \Delta \delta_{(1)} \quad (31.1.7)$$

Soňra hasaplama ähli aralyklar üçin gaýtalanýar. Hasaplama diňe 9-njy punkt üçin üýtgeşik bolýar. Ikinji we beýleki aralyklarda burçuň üýtgemesi aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$\Delta \delta_{(i)} = \Delta \delta_{(i-1)} + k \cdot \Delta P_{(i-1)} ; i = 2, 3, \dots, n \quad (31.1.8)$$

G.u. öçürilýän aralykda burçyň üýtgemesi aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$\Delta \delta_{(k)} = \Delta \delta_{(k-1)} + 0,5 \cdot k (\Delta P_{k-1} + \Delta P'_{(k-1)}) \quad (31.1.9)$$

## 32. Jemleýji durnuklylyk

### Umumy ýagdaýlar

Jemleýji durnuklylyk sinhron durnuklylykdan tapawutlylykda kuwwatyň hem tizligiň uly üýtgemeklerine derňelýär. Tizligiň uly üýtgemekligi käbir elektrik maşynlarynyň sinhronizmden çykmaklygyna getirýär. Sinhronizmden çykan generator setden aýrylmaýarlar. Olar ilik durnukly asinhron düzgüne geçirilýärler. Bu düzgünde belli bir wagt işländen soň ol täzeden sinhron düzgüne geçirilýär, ýagny, resinhronizasiýa edilýär.

#### 32.1. Sinhron generatoryň asinhron momenti

Sinhron generator sinhronizmden çykanda onuň iki momenti bolýar: Sinhron moment we asinhron moment:

$$M=M_{sn}+M_{as} \quad (32.1.1)$$

Momentiň sinhron düzüjisi maşynyň parametrlerinden, oýandyryjy tokdan, goýlan naprýaženiýeden,  $\delta$  burçuň ululygyndan bagly bolýar. Momentiň asinhron düzüjisi hem maşynyň parametrlerinden, ýöne indi asinhron maşyn hökmünde goýlan naprýaženiýeden,  $\delta$  burçdan, typmadan s, ýada, tizlikden bagly bolýar.

Momentiň asinhron düzüjisi maşyn dik kese oklara simmetriki diýsek, ýagny

$$T''_q=T'_d; \quad X_q=X_d; \quad X''_q=X'_d,$$

onda ol aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

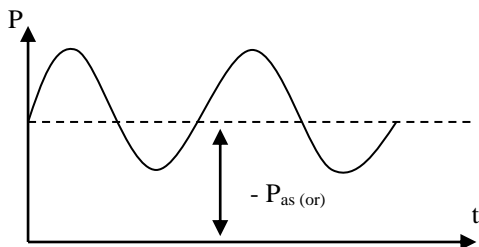
$$M_2 = -\frac{u^2(x_d - x'_d)}{x_d \cdot x'_d} \cdot \frac{T'_d \cdot S}{1 + (T'_d \cdot S)^2} \quad (32.1.2)$$

Momentiň typmaýan baglylygy egriçyzykly bolýar. (1-nji çyzgy). Typmaýan bahasy örän kiçi bolsa, ýagny  $s < l$ , onda bu baglanşyk göni çyzyga ýakyn bolýar, sebäbi (1) deňlemede  $(T'_d s)^2 \ll 1$ , we ony hasaba alman bolýar: Onda:

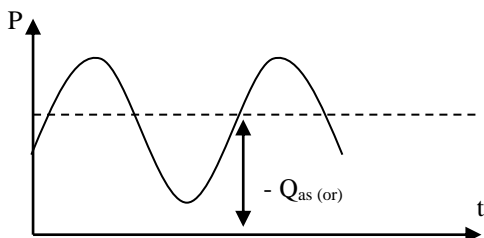
$$M_{as} = P_d \cdot S;$$

$$P_d = \frac{u^2(x_d - x'_d)}{x_d \cdot x'_d} \cdot T'_d \quad (32.1.3)$$

Eger rotor simmetriki däl bolsa, reaktiw we akriw momentler özüniň ortaça bahasynyň töwereginde pulsirleýär. (32.1.2-nji çyzgy).



a)



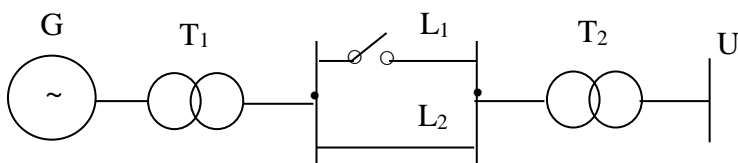
b)

32.1.2-nji çyzgy.

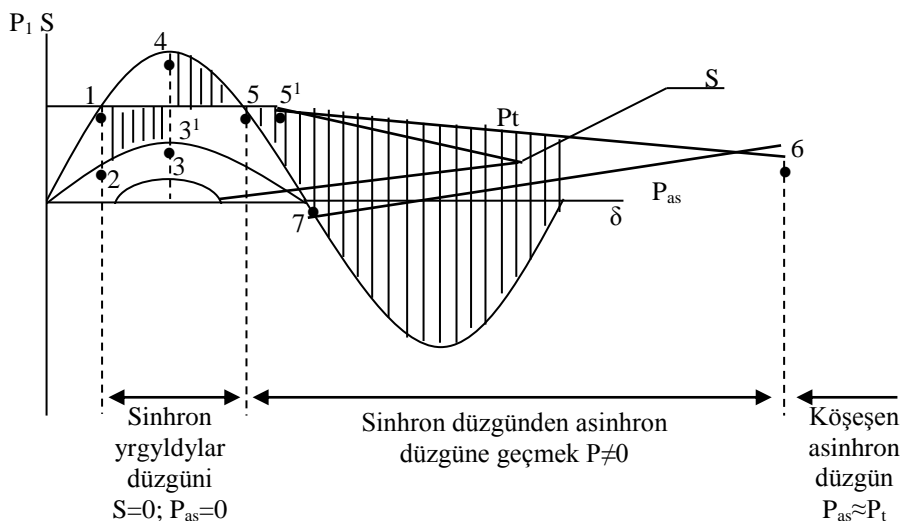
Asinhron momentiñ pulsirlemegi generator resinhronizasiya geçýän pursaty örän wajyp rol oýnaýar. Ol generatora oýandyryjy togy bermek pursatyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

### 33. Köşeşen asinhron düzgün

Aşakdaky çyzgya seredeliň.



a)



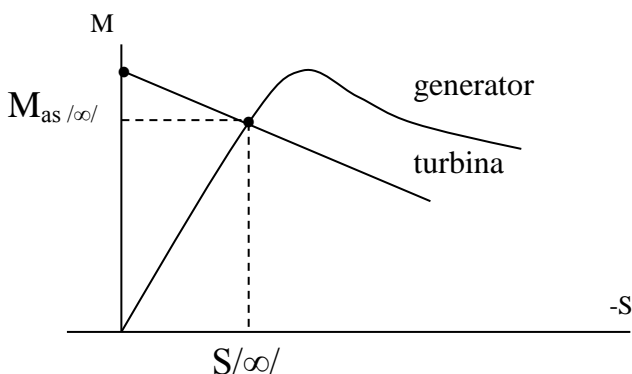
a)

33.1-nji çyzgy.

Goý diýeli, belli bir bozulma netijesinde liniýalaryň biri öçürilen ýagdaýynda. Generator aşaky häsiýetnamada işleýär, onuň tizligi we burçy ösýär. 3-nji nokatda öçürilen liniýa birikdirilýär. Generator ýokarky häsiýetnama geçýär, normal düzgün wagtlaýyn hem bolsa döreýär. Emma 5-nji nokada baranda alynan tizlenme energiýesi harçlanyp gutaryp bilenok. 5-nji nokatdan soň tormazlanma intensiw tizlenme bilen çalyşýar. 5<sup>1</sup>-nji nokatdan başlap turbina öz momentini peseldýär, ýagny onuň häsiýetnamasy peselip başlaýar. 7-nji nokatdan başlap, asinhron moment köpelip başlaýar, sebäbi typma köpeliýär. 6-njy nokatda turbinanyň momenti bilen asinhron moment bir-birini deňagramlaşdyrýar. Şu pursatdan başlap, generator köşeşen asinhron düzgüne geçýär.

### 33.1. Köşeşen asinhron düzgüniň parametrleri

Köşeşen asinhron düzgün iki sany parametr bilen häsiýetlendirilýär: (1) köşeşen asinhron moment  $M_{as / \infty /}$  we 2) köşeşen typma. Bu parametrleri sinhron generatoryň we turbinanyň statiki häsiýetnamalary boýunça kesgitlemek aňsat. (4-nji surt). Olaryň kesişme nokatly bu parametrleri berýär.



33.1.1-nji çyzgy.



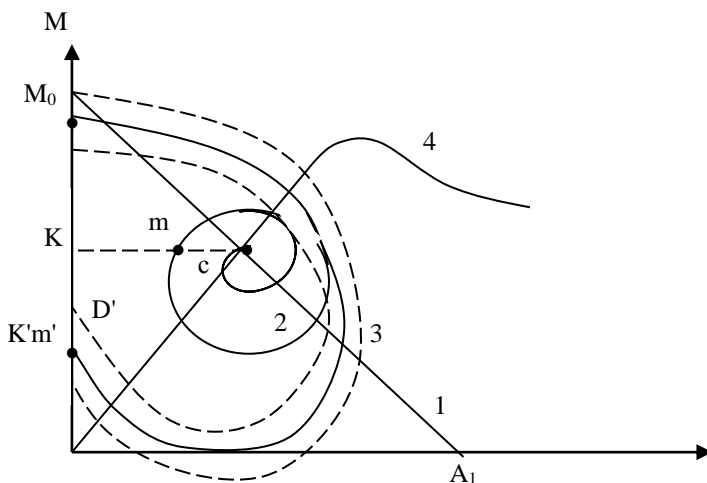
Köşeşen asinhron düzgüniň parametrlerini has takyk yzygiderlikli aralyklar usulyndan kesgitlep bolýar. Bu usul boýunça generatoryň we turbinanyň parametrlerini olaryň awtomatiki sazlaýjylarynyň häsiýetnamalaryny hasaba alyp bolýar. Köşeşen asinhron düzgün döwri typma üçin aşakdaky aňlatmany alyp bolýar:

$$S = \sqrt{S_{\infty}^2 - \frac{2}{T_t \int_{\delta_0}^{\delta} \Sigma M(\delta) d\delta}} \quad (33.1.4)$$

bu ýerde  $\Sigma M(\delta) = M_t - M_{sn} - M_{as}$

### **33.2. Köşeşen asinhron düzgüniň dinamiki häsiýetnamalar boýunça döremegi**

Turbinanyň we generatoryň dinamiki we statiki häsiýetnamalary bir-birinden tapawutlanýar. Generatoryň we onuň sazlaýjylarynyň az wagt hemişelikleri bolýanlygy sebäpli olaryň statiki we dinamiki häsiýetnamalary bir-biri bilen gabat gelýär diýip kabul edip bolar. Emma turbinanyň statiki we dinamiki häsiýetnamalary bir-birinden düýpgöter tapawutly bolýarlar. Şu ýagdaýy göz önünde tutup, indi köşeşen asinhron düzgüniň dinamiki häsiýetnamalar boýunça döremegine seredeliň. 5-nji çyzgyda şeýle ýagdaý görkezilen.



33.2.1-nji çyzgy

bu ýerde  $t$ -turbinanyň statiki häsiýetnamasy; 2,3-turbinanyň dinamiki häsiýetnamalary; 4-generatoryň statiki we dinamiki häsiýetnamalary.

Turbina özüniň sazlaýjysynyň parametrlinden baglylykda 2 ýa-da 3 görnüşli dinamiki häsiýetnamaly bolmagy mümkin. Eger turbina 2 görnüşli häsiýetnamaly bolsa, onda  $c$  nokatda köşeşen asinhron düzgün döreyär. Bu ýagdaýda resihronizasiýa hakda gürrüň hem bolup bilmez, sebäbi  $km$  minimal typma noldan örän uly.

Eger turbina 3-görnüşli dinamiki häsiýetnamaly bolsa, onda  $m'$  nokada barylýandan ortaça typma noldan geçýär. Typma nola deň diýildiği asinhron moment ýitdi, gysga wagtda hem bolsa sinchronizm döreyär diýiligidir. Generator şu düzgünde galýarmy ýa-da ýok diýen soraga şu pursatda goşmaça faktorlaryň döremeginden bagly, bu barada indiki mowzukda durup geçeris.

### 34. Üstünlikli resinhronizasiýanyň şertleri

Eger asinhron düzgünde işleýän generator oýandyrylan bolsa, ýagny oýandyryjy tok bar bolsa, onda onuň momenti pulsirleýär. Bu pulsirleme maksimal we minimal typtalaryň arasynda bolup geçýär. Eger turbinanyň momentini azaltsak, onda ortaça typtma hem noldan geçýär.

Typmanyň nuldan geçmegi ýokarda belleýşimiz ýaly asinhron momentiň ýitendigini, başgaça aýdanymyzda bolsa wagtlaýynça hem bolsa sinhron düzgüniň döreyändigini aňladýar.  $S=0$  köplenç hökmany, ýöne ýeterlik bolmadyk şerti aňladýar. Bu şert amala aşanda:

$$S_{/\infty/} = \sqrt{\frac{2}{T_I} \int_{\delta_{\infty}}^{\delta} \Sigma M(\delta) d\delta} \quad (34.5)$$

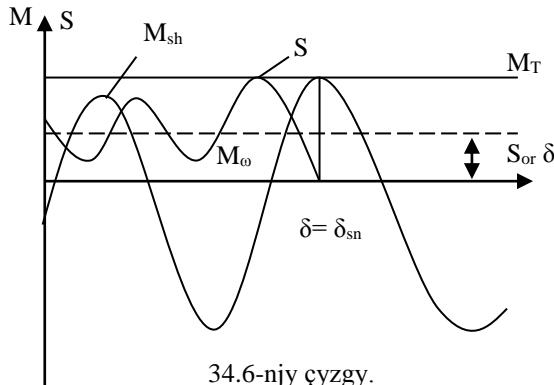
5-nji deňlemedäki şert  $\delta$  burçuň dürli bahalarynda, sinhron momentiň we turbinanyň momentleriniň dürli gatnaşyklarynda döräp biler.

Şeýlelikde üstünlikli resinhronizasiýanyň hökmany we ýeterlik şertleri aşakdaky ýaly bolýarlar:

$$S=0; M_{as}=0;$$

$$M_{sn} > M_T, \quad t=t_{sn} \quad \delta = \delta_{sn}$$

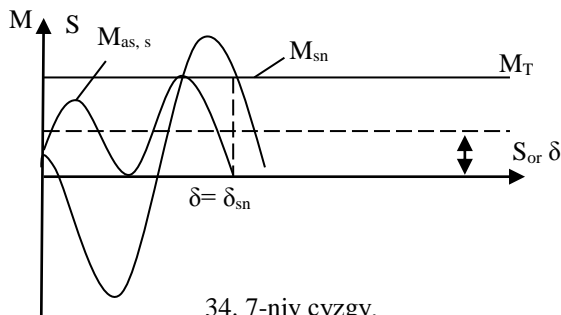
Üstünlikli resinhronizasiýa 34.6-njy çyzgyda görkezilen.



34.6-njy çyzgy.

Bu ýerde asinhron moment we typma nuldан geçen wagty, ýagny  $\delta = \delta_{sn}$  bolanda sinhron moment  $M_{sh}$ , turbinanyň momentinden  $M_T$  uly,  $M_{sn} > M_T$ .

Üstünlikli däl resinhronizasiýa 34.7-nji çyzgyda görkezilen.



Bu ýagdaýda  $S=0$ ;  $P_{as}=0$  bolanda sinhron moment  $M_{sn}$  turbinanyň momenti  $M_T$  –den kiçi. Bu ýagdaý  $\delta = \delta_{sn}$  burçda bolup geçýär.

Eger  $\delta = \delta_{sn}$ ,  $S=0$ ;  $M_{as}=0$ ; bolanda turbinanyň we sinhron momentler deň bolsa, kritiki ýagdaý emele gelýär. Resinhronizasiýa üstünlikli ýa-da üstünliksiz boljaklygy goşmaça faktorlardan bagly. Eger goşmaça faktor amatly bolsa, mysal üçin şu momentde ýüküň bir bölegi öçürilse, onda sinhronizasiýa üstünlikli bolar.

## Edebiýat

1. Saparmyrat Türkmenbaşy. Ruhnama. Aşgabat, 2001.
2. Saparmyrat Türkmenbaşy. Ruhnama. Ikinji kitap. Aşgabat, 2004.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
4. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Umumymilli "Galkynyş" Hereketiniň we Türkmenistanyň Demokratik partiýasynyň nobatdan daşary V gurultaýlarynyň bilelikdäki mejlisinde sözlän sözi. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Eserler ýygyndysy. 1-nji tom. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidentiniň "Obalaryň, şäherçeleriň, etrapdaky şäherleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin" Milli maksatnamasy, Aşgabat, 2007.
7. "Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry" Milli maksatnamasy, "Türkmenistan" gazetiniň 2003-nji ýyl, Alp Arslan aýynyň 27-si.
8. Веников В.А. «Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для электроэнергетических специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 536 с.
9. Винославский В.Н., Пивняк Г.Г., Рыбалко А.Я., Прокопенко В.В. «Переходные процессы в системах электроснабжения». Учебник для вузов специальности 10.04 Электроснабжение (по отраслям). – Киев: Высш. школа, 1989.
10. Веников В.А. «Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для

- электроэнергетических специальностей вузов. – М.:  
Высшая школа, 1985. – 536 с.
11. Энергетические системы в примерах и  
иллюстрациях. Под ред. В.А.Веникова, М.:  
Энергоатомиздат, 1983 – 500 с.

## Mazmuny

SÖZBAŞY	7
GIRIŞ	9
1. Esasy kesgitlemeler, düşünjeler. Geçiş proseslerini döredýän sebäpler. Gysga utgaşma we onuň görnüşleri	12
2. Şahalanmadyk zynjyrdaky üçfazly gysga utgaşma	15
3. Düzgüniň duýdamsyz bozulmagynyň başlangyç pursaty	21
3.1. Sinhron maşynyň geçişli elektrik hekekete getirijiligi we reaktiwligi	21
3.2. Sinhron maşynyň aşageçişli elektrik herekete getirijisi we reaktiwligi	25
4. Sinhron maşynyň sinhron geçişli we aşageçişli reaktiwliklerini deňşdirmek	28
4.1. Elektrik hereketlendirijileriň we ýükleriň aşageçişli parametrleri	30
5. Sinhron maşynyň elektromagnit geçiş hadysalarynyň deňlemeleri	31
5.1. SM sarymlarynyň induktiwlikleriniň üýtgeýiş kanunlary	33
5.2. Üçfazly ulgamyň umumylaşdyrylan wektory	35
6. Sinhron maşynyň deňlemelerini öwürmek. Park Gorewiň deňlemeleriniň ulgamlary	36
6.1. Deňlemeleriň öwrülişi	38
7. Park-Gorewiň deňlemeleriniň operator görnüşi	40
7.1. Sinhron maşynyň operator reaktiwlikleri	41
7.2. Generatoryň oýandyryjy sarymyny hemişelik naprýaženiýa birikdirilendäki geçiş hadysalary	43
8. Sinhron maşynyň magnit meýdanyny öçürmekde geçiş hadysalary	45
9. Ulgamyň simmetriýasy bozulandaky geçiş hadysalary	49
9.1. Ýokary garmonikalaryň döremegi	50

9.2. Simmetriki düzüjiler usulyny ulanmak	51
10. Elementleriň toguň dürli yzygiderliklerine görkezýän garşylyklary	53
10.1. Sinhron maşynlar	54
10.2. Asinhron maşynlar	55
10.3. Umumylaşdyrylan ýükler	55
11. Güýç transformatorlary	56
<u>11.1. Ikisarymly transformatorlar</u>	56
12. Üç sarymly tranformatorlar	61
13. Awtotransformatorlar	66
14. Howa liniýalary	69
15. Kabel liniýalar	73
16. Aýratyn yzygiderlikleriň shemalary	75
16.1. Göni we ters yzygiderlikleriň shemalary	75
16.2. Nul yzygiderlikli shema	76
17. Dürli yzygiderlikli shemalaryň jemleýji elektrik herekete getirijileri wegarşylyklary	78
18. Diňe bir nokatda bolýan kese simmetriýasyzlyk	83
18.1. Iki fazaly gysga utgaşma	84
18.2. Birtfazaly gysga utgaşma	87
19. Ýere birigen iki fazaly g.u	90
19.1. Göni yzygiderligiň ekwiwalentlik düzgüni	93
20. Elektromehaniki geçiş prosesleri	95
20.1. Statiki, dinamiki we jemleýji durnuklylyklary barada düşünje	97
20.2. Ýük düwünleriniň durnuklylygy barada düşünje	98
21. Statiki durnuklylyk	98
21.1. Durnuklylyk we durnuklylyk kriterileri	99
21.2. Köşeşen düzgüniň amala aşyrylmagy	99
21.3. Düzgüniň gurnuklylygy. Geçiş düzgüniň energetikasy	101
22. Köşeşen düzgüniň durnuklylygy	102
22.1. Awtoýrgyldyly ulgamlar	104
22.2. Praktiki kriteriler	104



23. Az yrgyldylar usuly	105
23.1. Geçiş prosesleriň differensial deňlemelerini düzmek	105
23.2. Geçiş prosesleriň deňlemelerini gönüleşdirmek	106
24. Proporsional sazlaýjy ulgamyň statiki durnuklykygyny azyrgyldylar usuly bilen derňemek	108
25. Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi	112
25.1. Ulgamyň staiki durnuklylygyny Gurwisiň kriterisi boýunça derňemek	113
26. Oýandyryjysy güýçli sazlaýjyly ýönekeýje ulgamyň statiki durnuklylygy	115
27. Dinamiki durnuklylyk	120
27.1. Meýdanlar usulynyň manysy	121
28. Meýdanlar usuly bilen generatoryň ýüküniň duýdansyz üýtgemeginde dinamiki durnuklylygy derňemek.	123
29. Meýdanlar usuly boýunça g.u. öçürmegiň burç çäginikesgitlemek	127
30. Yzygiderlikli aralyklar usuly	130
30.1. Yzygiderlikli aralyklar usulynyň manysy	130
31. Yzygiderlikli aralyklar usuly bilen elektro-magnit prosesleri hasaba almak	134
31.1. Yzygiderlikli aralyklar usuly boýunça geçiş proseslerini hasaplamagyň algoritmi	135
32. Jemleýji durnuklylyk	136
32.1. Sinhron generatoryň asinhron momenti	137
33. Köşeşen asinhron düzgün	139
33.1. Köşeşen asinhron düzgüniň parametrleri	140
33.2. Köşeşen asinhron düzgüniň dinamiki häsiýetnamalar boýunça döremegi	141
34. Üstünlikli resinhronizasiýanyň şertleri	143
Edebiýat	145