

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRLYGI
TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

J.Nuryýew

**Elektrik hereketegirijiniň awtomatiki
dolandyrylyşy**

Hünär : “Senagat desgalarynyň we tehnologi
toplumlaryň elektrohereketlendirilişi
hem-de awtomatlaşdyrylyşy.”

Aşgabat 2010

SÖZBAŞY

Garaşsyz baky Bitarap Türkmenistan döwletimizde geljegimiz bolan ýaşlaryň dünýäniň in ösen talaplaryna 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 energiýasy 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.

“Senagat desgalarynyň we tehnologiiki toplumlaryň elektrohereketlendirilişi hem-de awtomatlaşdyrylyşy” hünäri boýunça bilim alýan talyp ýaşlaryň Türkmenistanyň syýasy – ykdysady ösüşlerini göz önünde tutup, Watanymyzyň 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 dersiň esasy bolup durýar.

Energetiki ulgamlaryň sazlaşykly işlemekleri, halk hojalygynda ýerlikli peýdalanmak, energiýany hasaba almak, energetiki resurslary ulanmaklygyň ähmiýetliligini, tygşytlylygyny talyplara öwretmek dersiň esasy tutýar. Häzirki döwürde ekologiki taýdan arassa, ykdysady taýdan arzan, konstruksiýasy boýunça ýönekeý energetiki enjamlary gurmaklygyň, peýdalanmaklygyň tehnikalary öwredilýär.

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

GIRIŞ

Elektrik hereketetirijiniň awtomatiki dolandyryjy ulgamlarynyň klaslara bölünşi we esasy funksiýalary. Awtomatiki dolandyryş ulgamlarynyň klaslara bölünşi. Awtomatiki dolandyryş ulgamlarynyň ýerine ýetirýän funksiýalary. Awtomatiki dolandyryş ulgamlarynyň ýerine ýetirýän goşmaça funksiýalary.

Tehniki, tilsimatly derňewler (nokadyň dinamikasy we gaty jismler, Lagranjyň deňlemeleri, sistemanyň kiçi yrgyldylary). Informatikanyň we kompýuter tehnikasynyň esaslary (soňky we differensial deňlemeleri işlemegiň ussulary, funksiýanyň hakyky we hakyky bolmadyk ekstremumlaryny tapmak). Senagat elektronikasy (elektrik zynjyrlarynda geçiş prosesleri) dersleriň okuw materiýallaryna esaslanýlar. Dersi öwrenmekde, amaly we tejribe işlerinde we ýyllyk işlerini işlemekde EHM-laryndan peýdalanmagy göz önünde tutýar. ADT şu aşakdaky dersleriň käbir bölümlerini öwrenmekde gollanylýar. Senagat elektronikasy (operasion ulgamlary). Awtomatizasiýanyň tehniki serişdeleri (sazlaýjylar) obýektleri we dolandyryş ulgamlaryny modelirlemek (sazlaýyş we dolandyryş ulgamlaryny modelirlemek).

Elektrik hereketetirijiniň awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryny taslamak (lokal ASS we ADS-leri taslamak). Pudagyň tehnologik prosesleriniň awtomatizasiýasy (lokal ASS we ADS işlemek).

Elektrik hereketetirijiniň awtomatiki dolandyrmak teoriýasy (nazarýeti) sapagyň esasy wezipesi okuwçylary awtomatiki dolandyryjy ulgamlary gurmagyň umumuy prinsipleri bilen tanyşdyrmak diňe tehniki meseleler bilen çäklenmän, ol durmuşyň ähli pudaklaryna degişlidir: biologiýa, ykdysadyýet, jemgyýetçilik durmuşy we şuna meňzeşler.

1. Elektriki hereketegetirijileri awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryň esasy funksiýalary we klaslara bölümişi

1.1. Awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryň klaslara bölünişi

Tehnikada elektriki herekete getirijileri awtomatiki dolandyrmagyň uly mukdary bar. Olary klaslara bölmek zerurlyfy ýüze çykýar, sebäbi olary öwrenmeklik aňsatlaşýar.

Awtomatiki gurnamalary niýetlenişi boýunça tapawutlandyýarlar. Mysal üçin sazlanýan ululygy hemişelik saklaýan ulgamlar, programmaly dolandyrylýan ulgamlar we yzarlaýjy ulgamlar. Bu bölünmeler adatça ýazdyrylmadyk ulgamlarda degişli. Ol öz içine ýönekeý ulgamlary we soňky çykan ýptimizirleýji, öz-özünden gurnalýan we sazlanýan, toparlaýyn awtomatizasiýany almaýar.

Käbir awtorlar awtomatiki dolandyryjy ulgamlary (ADU) apparatlaryň görüşi boýunça klaslara bölýärler. Mysal üçin, rele-kontaktorly, EMG-li, magnit güýçlendirijileri, elektron-ion we ýarymgeçirijili öwürjili ADU-lar. Beýle klaslara bölmeklik amatly däl, sebäbi, ADU-lar şol bir apparatlary ulanyp, dürli prinsiplere eýerän ulgamlary amaly aşyryp bolýar. Olar öz gezeginde bir klasdan başga klasa geçilende gaýtalanýarlar.

ADU-lary ýene-de gönüçyzykly we gönüçyzykly däl, diskret ýa-da üznüksiz, statiki we astatiki, ýazdyrylan we ýazdyrylmadyk böleklere bölünip bilerler. Bu bölünme hem sapagy gowy öwrenmeklik üçin ýeterlik däl.

Elektriki hereket getirijileriň ADU-syny ýerine ýetirýän funksiýalary bopunça klaslara bölmeklik has amatly. Bu bolsa öz gezeginde tehnologiýa prosesler tarapyndan kesgitlenýär.

1.2. Awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryň ýerine ýetirýän esasy funksiýalary

Birinji funksiýa – awtomatiki çaltlandyrmak, formozlama we aýlaw ugruny üýtgetme, elektrodwigateliň tizligini uly üýtgemeler bilen hemişelik saklamaklyk.

Bu ýerde adaty awtomatiki işe goýbermeklik we formozlamak girýär. Bu ýagdaý üýtgeýän we hemişelik toguň dwigatellerine degişli. İşe goýberenimizde, aýlaw ugruny üýtgedenimizde, formozlanymyzma döreýän güýçleriň, naprýaženiýeleriň, tizlikleriň emele gelýän bahalary barlanylanok, olar bizi gyzyklandyрмаýar. Geçiş prosesleriniň optimal bahalaryny üpjün edýän ýörite çäreler göz önünde tutulanok.

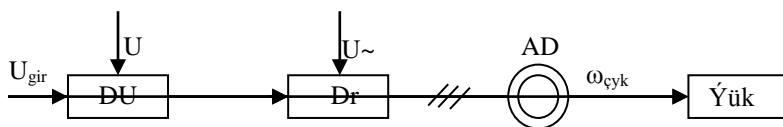
Eger önümçilik mehanizmi özüniň köşeşen hereketiň yizligini üýtgetmeli bolsa, onda hereket getirijiden, umuman, berlen tizlikleriň islendigine geçmeklik, ýa-da islendik tizlikden täze tizlige geçmeklik talap edilýän. Her bir tizlik degişli mehaniki häsiýetnama bilen kesgitlenýär. Häsiýetnamanyň kesgitli gatylygy ýüküň üýtgemegi zerarly tizligiň üýtgemegini az takyklyk bilen ýerine ýetirýär.

Eger dwigateliň tizligiň üýtgame diapozony D uly bolsa awtomatiki sazlaýjyny amala aşyrmaklyk çylşyrymly bolýar. Eger $D=6$ bolsa we köşeşen tizlikleriň 2-4 derejesini gazanmaly bolsa, onda polýuslaryň sany üýtgedilip birikdirilýän asinhron dwigateli ulanmaklyk ýeterlikdir.

Ony bolsa dolandyryjy ulgamy gurnamaklyk aňsat bolýar. Eger $D \geq 6$ bolsa, onda köşeşen hereketiň tizlikleriniň sany köp bolýar. Bu sebäpli çylşyrymly elektriki herekete getirijini we onuň dolandyryjy shemasyny ulanmaly bolýar. Mysal üçin G-D ulgam.

Birinji funksiýany ýerine ýetirýän awtomatiki gurnamalar ýönekeý bolýarlar we kesilip gaýtalanýan dolandyrmaga görnüşli bolýarlar.

Birinji funksiýa boýunça dolandyrylýan ulgamlar köplenç ýazdyrylan strukturaly bolýarlar. Gysga utgaşdyrylan rotorly asinhron dwigatel üçin ýazdyrylan görnüşli işe goýneriji shema 1.2.1-nji çyzgy görkezilen.



1.2.1-nji çyzgy.

Bu shemada drossel işe goýberilýän mahalda statoryň togunyň goýberme bahasyny çäklendirmek üçin niýetlenendir. Bu shemada bar elementler zzygiderli birikdirilendirler. Çykýan ululyk açyk bilen girýän ululyk u_{gir} arasyndaky ters baglanşyk ýok.

Birinji funksiýa boýunça dolandyrylýan awtomatiki ulgamlar köplenç rele-kontaktor gurnamalar arkaly amala aşyrylýarlar. Ýöne kämahal olary kontaktsyz görnüşde hem amala aşyrýarlar.

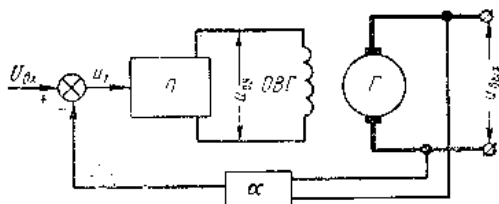
Birinji funksiýa boýunça ugrukdyrylýan awtomatiki ulgamlar örän giň ýaýrandyrlar. Mysal üçin, metallurgiki, metal işläp bejeriji we önümçiligiň beýleki pudaklarynda ulanylýan awtomatiki dolandyryjy ulgamlar. Hususan, tokar frezer, ýylmaýjy stanoklarda, wentilýatorlardan, nasoslarda, kompressorlarda, çekiçläp bejerýän maşynlarda, gyzdyryjy peçleriň iterijilerinde, kranlarda, liflerde, ownuk prokat stanoklarynda we başgalarda olar giň ýaýrandyrlar.

Ikinji funksiýa – tizligiň ýa-da başga bir parametriň bahasyny ýumuş bermek we berlen bahasyny hemişelik saklamak. Bu ýagdaý statiki we dinamiki deň derejede degişli.

Bu funksiya adatça yazdyrylmadyk ulgam tarapyndan ýerine ýetirilýär, ýapyk ulgam bolsa berilen ululygy ýokary takyklyk bilen amal aşyrmaga mümkinçilik berýär.

Seredilýän DAU-lar statiki we dinamikada tizligi ýa-da başga ululygy henişelik saklamak bilen çäklenmän, şol bir wagtda geçiş prosesleriniň talap edilýän häsiýetini amala aşyrýar. Bu islendik bozujy güýçlerde-de şeýle bolýar.

Ýapyk görnüşli ikinji funksiýany ýerine ýetirýän DAU 1.2.2-nji çyzgy görkezilen,



1.2.2-nji çyzgy.

Bu shemada girýan signal u_{gir} çykýan signalyň $u_{çyk}$ bir bölegi $\alpha u_{çyk}$ bilen deňeşdirilýär. Ters baglanşyk otrisatel bolýar; ýagny :

$$u_{gir} = \alpha u_{çyk} = u$$

Eger generatoryň naprýaženiýesi berlen bahasyndan köpelse, onda u_1 signalyň alamaty otrisatel bolýar. Bu bolsa generatoryň oýandyryjy sazynybdaky togy azaltýar, netijede generatoryň naprýaženiýesi bilen bahasyna gaýdyp gelýär.

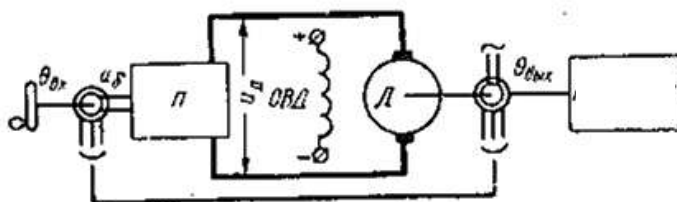
Ýazdyrylmadyk DAU-nyň düzümine dürli elementler, şol sanda kontaktorlar, releler, EMG, magnit güýçlendirijiler, elektron-ion ýarymgeçirijiler, öwürijiler, hemişelik we üýtgeýän toguň dwigatelleri girýärler.

Beýle gurnaly mehanizmler hökmünde metal işläp bejerýän stanoklary, prokat stanlary, kagyz öndürýän maşynlary, rotasion maşynlary getirip bolar.

Üçünji funksiýa – ulgama girizilýän signallary yzarlamak.

Üýtgeýän signaly ýokary takyklyk bilen yzarlamagy talap edýän mehanizmler bar. Bu mehanizmlerde çykpan ok girýän okuň uzynndan onuň hereketini gaýtalaýar, başgaça aýdanyzyzda onuň hereketini yzarlaýar. Bu funksiýa yzarlaýjy ulgamlaryň kömegi bilen amala aşyrylýar.

Yzarlaýjy ulgamlar ýazdyrylmadyk strukturaly bolýarlar. Beýle mehanizm 1.2.3-nji çyzgyda görkezilen.



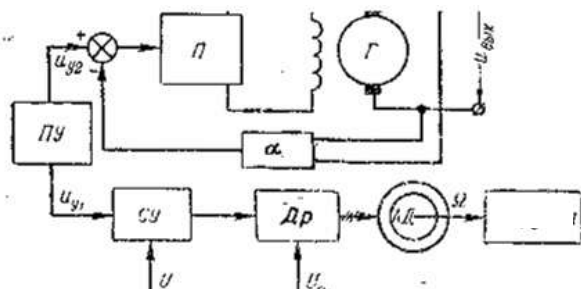
1.2.3-nji çyzgy.

Bu ýerde ters baglanşyk otrisatel görnüşli we dwigateliň aýlanma burçy $\theta_{\text{çyk}}$ boýunça amala aşyrylýar. Bu burç ýumuş burşy θ_{gir} bilen deňeşdirilýär. Olaryň tapawudy u_{δ} öwrüjiniň θ girelgesine berilýär. Öwrüji bolsa hemişelik toguň dwigateli D iýmitlendirýär. Dwigatel iki burç deňleşýänçe aýlanýar. Yzarlaýjy ylgamlar metal bejeriji stanoklarda, metallurgiki mehanizmlerde ulanylýarlar. Şeýlede ol rasiolokasion stansiýalarda ulanylýar.

Dördünji funksiýa – maşynlary we mehanizmleri programma boýunça awtomatiki dolandyrmak.

Önümçilik köp ýagdaýlarda maşynlary we maşynlary toplumyny önünden berlen programma boýunça dolandyrmagy talap edýär. Mysal üçin, taýynlanmaly detallar stanoklar

zynjyryna berilmeli we ol ýerde işlenmeli, soňra olar ýygnaalmaly. Şol wagtda elektrodwigateller awtomatiki suratda işe goýberilmeli, berlen tizlik bilen belli wagt aralygynda işlemeli, tormozlanmaly, rewersizlenmeli we durmaly. Bu ýerde ulgam ýazdyrylan ýa-da ýazdyrylmadyk görnüşde bolup biler, olar umumy programmaly gurnamadan dolandyryjy signal almaly. Ýönekeýje programaly dolandyrylýan ulgamyň shemasy 1.2.4-nji çyzgyda görkezilen.



1.2.4-nji çyzgy.

Bu shemada dolandyryş organy bir, ol öňki görkezilen shemalary bilelikde dolandyryar. Bu dolandyryjy signallar u_{D1} we u_{D2} g.u. asinhron dwigateli we hemişelik togyň generatoryny dolandyryrlar. Asinhron dwigatel AD ýazdyrylan ulgam boýunça dolandyrylýar. Generator G bolsa ýazdyrylmadyk ulgam bilen dolandyrylýar. Asinhron dwigateliň zynjyry rele kontaktor görnüşli shema boýunça dolandyrylýar. Generatorň naprýaženiýesi bolsa ýazdyrylmadyk shema boýunça dolandyrylýar.

Şeýlelikde, programmaly dolandyрма реле-контатор, şeýlede kontaktsyz электрон, ýarymgeçirijili düwünler, dürli hili öwrüjileriň we elektrodwigatelleriň, ýagny adaty asinhron dwigatelden başlap, ädimleýji dwigatellere çenli, kömegi bilen amala aşyrylyp biliner. Mysal üçin ol awtomatiki dolandyrylýan

stanoklar liniýasy, ugryna gyrýan, tokar, frezer, ýonuýj stanoklarda ulanylýar. Şeýle-de programmaly dolandyрма prokat stanlarda, marten peçlerde, mehaniki sehleriň ýygnaýjy uçastoklarynda ulanylyp bilerler.

Bäşinji funksiýa – Maksada laýyk iş düzgünlerini saýlap alýan senagat mehanizmlerini we maşynlar toplumyny awtomatiki dolandyrmak.

Bu funksiýa adaptiw ADU-lar tarapyndan ýerine ýetirilýär. Olarda hasaplaýjy tehnikanyň we gurnamalaryň elementlerini giňden ulanylýar. Adaptiw ulgamlar aýratyn maşynlara we agregatlara komanda signalyny berýän operatorlary çalyşmak arkaly taslama edilýär we önümçilige girizilýär. Olar has çylşyrymly algoritmleri hem ýerine ýetirip bilýärler.

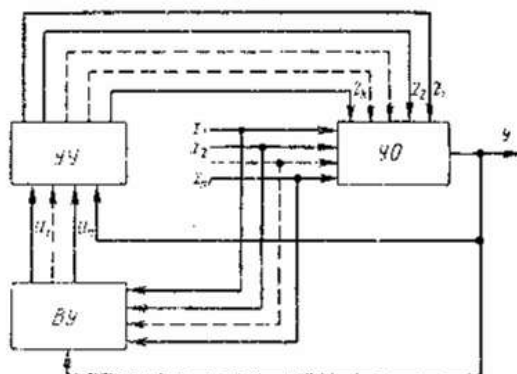
Adaptiw ADU-larda haýsam bolsa iň gowy dolandyrmany amala aşyran dolandyran bölekleriň funksionizleýji usulyň awtomatiki çalyşmak hem göz önünde tutulyp biliner. Bu ýagdaýda obýektiň häsiýetnamalary we daşky bozuýj täsirler önünde bilinmeýän görnüşde hem üýtgap biler.

Öňki seredilen dört funksiýanyň bu ulgamyň bölekleri hökmünde başinji funksiýanyň düzümine girip biler. Ýöne önümçiligiň talaplaryny doly berjaý etmek üçin ýörite spesifiki gurnamalar hem goşmaça getirilýärler. Mysal üçin tehnologi ululyklary ölçeýän datçikler, önümçilik operasiýalaryny ýa-da detellary hasaba alýan hasap-impuls gurnamalaryň hasaba almalaryň netijesi boýunça komanda impulslary işläp çykarýan hasap tehnikasynyň gurnamalary, optimizatorlar we ş.m. girizilip bilerler.

Öz-özünden uýgunlaşýan ADU-nyň blok-shemasy 1.2.5-çyzgyda getirilen. Bu ýerde DO-çylşyrymly dolandyrylýan obýekt. Oňa x_1, x_2, \dots, x_m bozuýj güýçler täsir edýär. HG-hasaplaýjy gurnama. Ol bozuýj güýç täsiri esasynda döreýän üýtgemeleri ýok etmek üçin dolandyryjy signal işläp çykarýar. Dolandyryjy signal algoritmleriň toplumu u_1, u_2, \dots, u_n görnüşde gözlenip ýapylýar. Hasaplaýjy gurnama bu signaly

dolandyryjy gurnama DG berýär, ol bolsa öz gezeginde dolandyrylýan obýekte DO berilýär.

Öz-özünden uýgunlaşýan ulgamlary önümçilikde ulanmaklyk soňky ýyllarda taslama edilip başlandy. Mysal üçin, olar frezer we ýylmaýjy stanoklarda, tokar awtomaşynlarynda, prokat stanoklarda, domna we marten peçlerinde, awtopilotlarda we başga mehanizmlerde we gurnamalarda ulanylýarlar.



1.2.5-nji çyzgy.

Altynjy funksiýa – umumy tehnologiki prosesler bilen birleşdirilen mehanizmler we maşynlar toplumynda awtomatiki dolandyрма.

Altynjy funksiýany ýerine ýetirýän gurnamalar kompleks awtomatizasiýanyň gurnamalarydyr. Kompleks awtomatizirlenen gurnama diýip, önümçiligi, ýagny başdaky materialdan raýyn önüm öndürmek prosesi awtomatiki täsir edýän maşynlar ulgamy tarapyndan adamyň fiziki zähmetini we onuň akyl zähmetini ulanmazdan ýerine ýetirýän ulgama aýdylýar. Bu kompleks zähmet öndürijiligini ýokarlandyrýar, önümçilik siklleri gysgaltýar, şeýle-de ýerine ýetýän galan önümçilikde we önümçilik meýdanlary gysgaltýar,

öndürilýän önümiň hilini ýokarlandyryýar, önümiň bahasyny aşaklandyryýar, tehnologiýany we maşynlaryň konstruksiýalaryny üýtgedýär.

Komplektleýin awtomatizirlenen ulgam adamlary agyr fiziki zähmetden, akyl zähmetinden boşatmaga kömek berýär. Ol örän basym önümçiligiň dürli böleklerinde informasiýa ýygnamaga mümkinçilik döretýär, ony basym işleýär we önümçiligi dolandyryýar.

Ol diňe elektromehaniki düwünleri däl, eýsem, elektromehaniki däl elementleri hem öz içine alyp biler.

Altynjy funksiýany ýerine ýetirýän ulgam öz düzümine öňki baş funksiýany ýerine ýetirýän gurnamalary alyp biler. Mysal üçin, olarda yzarlaýjy ulgamlar, programmaly dolandyrylýan ulgamlar ulanylyp biliner. Ol telegözegçilik, teledolandyrmaly hem boluý biler.

2. Awtomatiki dolandyrylýan elektromehaniki ulgamlaryň esasy elementleri

Bu bölümde awtomatiki dolandyrmagyň elektromehaniki ulgamlarynyň düzümine girýän esasy elementlere seredilýär. Bu elementlere aşakdakylar girýärler :

1. Hemişelik we üýtgeýän toklaryň elektrik maşynlary ;
2. Rele we kontaktorlar ;
3. Kontaktsyz logiki elementleri;
4. Dürli garşylyklar ;
5. Maýyşgak mehaniki zwenolar ;
6. Korrektirleýji zynjyrlar ;
7. Dürli görnüşli datçikler.

DAU elementleriniň içinde görnükli ýeri elektromaşyn, elektromagnit, elektron we ýarymgeçirijili güýçlendirijiler we öwürijiler eýeleýärler.

Ýapyk DAU-larda ölçeýji-öwürüji elementler çylşyrymly ululyklary goşup , aýyrýarlar, mehaniki ululyklary elektriki ululuklarda öwürýärler.

Köp ýagdaýlarda maýyşgak elementler ulgamyň statiki we dinamiki häsiýetnamalaryna uly täsir görkezýärler.

Berlen bölümde esasy mesele bolup DAU-nyň düzümine girýän elementleriň fiziki we matematiki ýazuwlary, olaryň statiki we dinamiki düzgünleri täsirleri hyzmat edýär. Bu ýerde elementleriň differensial deňlemeleri, beriş funksiýalary, amplituda-faza häsiýetnamalary, şeýle-de kysymly egriçyzykly elementler ünsi özüne çekýär.

2.1. Üýtgeýän toguň elektrodwigatelleri

Üçfazly asinhron dwigateller derňelende, olaryň esasy üç usul bilen dolandyrylýandygyny bellemeli:

- 1) Statoryň naprýaženiýesini üýtgetmeklik ;
- 2) Rotoryň garşylygyny üýtgetmeklik;
- 3) Bir wagtda iýmitlendiriji setiň ýygylgyny we naprýaženiýesini üýtgetmeklik.

1. Birinji usul bilen dolandyrylanda tizlik bilen dolandyryjy naprýaženiäniň arasyndaky baglanyşygy aşadaky formula arkaly aňladyp bolar :

$$M \approx \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (1)$$

bu ýerde : M_k – kritiki moment :

$$M_k = \frac{1,5}{\omega_0} \cdot \frac{u_f^2}{r_1 \pm (r_1^2 + x_k^2)} = k_{m1} u_f^2, N_M, \quad (2)$$

$$K_{m1} = \frac{1,5}{\omega_0 (r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + x_k^2})}, \quad \frac{s}{Om};$$

u_f – statoryň faza naprýaženiýesi, w ;

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} - \text{typma};$$

ω_0 – sinhron burç tizligi $\frac{rad}{s}$;

s_x – typmanyň kritiki bahasy;

$$s_k = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}; \quad (3)$$

$x_k = x_1 + x_2' -$ gysga utgaşmanyň reaktiw garşylygy;

r_1, r_2' – statoryň we rotoryň statora getirilen garşylyklary,

Om.

Asinhron dwigateliň tizligini dürli usullar bilen üýtgedip bolýar. Olar aşakdakylar :

1. Rotoryň zynjyryna rezistor birikdirmek arkaly .
2. Stator sarymyna berilýän naprýaženiýäniň ululygyny üýtgetmek arkaly.
3. Stator sarymyna berilýän naprýaženiýäniň ýygylgyny üýtgetmek arkaly.

Tizligiň agzalan parametrlerden baglanşygyny tapalýň we bu parametr boýunça beriş funksiýalaryna seredeliň.

1. Rotor zynjyryna birikdirilýän rezistoryň garşylygyny üýtgetmek arkaly dwigateliň tizligini sazlamak.

- (1) formulada momenti we typmany beýleki parametrleriň üsti bilen aňladyp, tizlik bilen rotoryň zynjyryndaky rezistoryň garşylygyň baglanşygyny tapýarys. Soňra bu parametrleriň gatnaşygy görnüşinde dwigateliň beriş funksiýasyny taparys :

$$w(p) = \frac{w(p)}{r_2^d(p)} = \frac{k_2(r_2^d)}{T_2(r_2^d)p + 1}, \quad (2)$$

bu ýerde:

$$T_2(r_2^d) = \frac{r_2^d \cdot J}{K_{M^2}}, \quad s$$

$$k_2(r_2^d) = \frac{\omega_s}{r_2^d} - \frac{M_s}{K_{KM^2}}, \quad rad/s$$

$$K_{M2} = \frac{2 \cdot K_M u_f^2 \sqrt{r_1^2 + x_k^2}}{\omega_s \cdot r_{rot}}, \quad n.m.s/rad$$

(2) aňlatmadan görnüşi ýaly bu kanal boýunça dwigateli birinji derejeli inersion zwenno hökmünde seredip bolar. Zwenonyň güýçlendiriş koeffisiýenti $K_2(r_2^d)$ wagt hemişeligi bolsa $T_2(r_2^d)$ deňdir.

2. Tizligi setiň naprýaženiýesini üýtgetmek arkaly sazlamak. Bu kanal boýunça hem dwigateli aperiodiki 2 zwenno hökmünde seredip bolar. Onuň beriş funksiýasy aşakdaky ýaly bolýar :

$$w(p) = \frac{\omega(p)}{u_f(p)} = \frac{K_1(u_f)}{T_1(u_f)p + 1}, \quad (3)$$

$$\text{bu ýerde} \quad T_1(u_f) = \frac{s_k \omega_s J}{2 \cdot K_{M1} \cdot u_f^2}, \quad s$$

$$K_1(u_f) = \frac{\omega_3}{u_f} - \frac{s_k \omega_s \cdot M_s}{2 \cdot K_{M1} \cdot u_f^2}, \quad \text{rad} / s \cdot m$$

Bu aňlatma u_f belli bir kanun boýunça üýtgän ýagdaýynda hem ulanarlyklydyr. Ýöne bu ýagdaýda meseläni takmynan usul bilen işlemek bolar, ýöne u_f -ň her bir bahasyna $T_1(u_f)$ we $K_1(u_f)$ ululyklaryň täze bahalary gabat gelýär.

3. Asinhron dwigateliň tizligini setiň naprýaženiýesiniň ýygylgyny üýtgetmek arkaly sazlamak. Ilki belläliň, setiň naprýaženiýesiniň ýygylgyny ýarymgeçirijileriň, elektron we elektromaşyn öwrüjileriň kömegi bilen üýtgetýärler. Bu öwrüjileriň has amatlysy elektromaşyn öwrüjiler bolýarlar.

Bu öwrüjiler ulanylanda ýygylgy endigan üýtgedip bolýar. Bu usul ulanylanda täze ýygylgyda sinhron tizlik täze baha alýar :

$$\omega_s = \frac{2\pi}{p} \cdot f_1 \quad (4)$$

Eger naprýaženiýe e.h.g. deň diýip kabul etsek, onda

$$u_f \approx E = k\phi \cdot \omega_s = k\phi \frac{2\pi f_1}{p}; \quad (5)$$

Kritiki typma

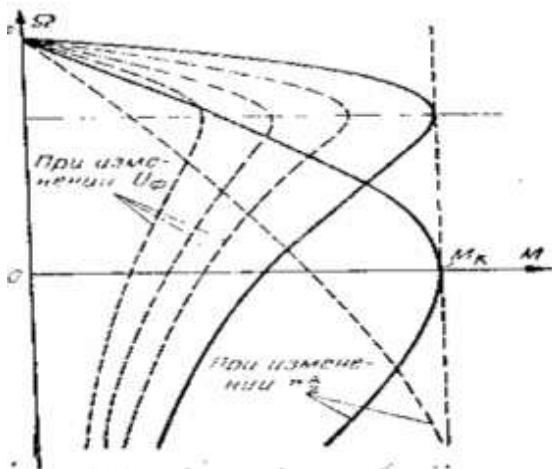
$$s_k = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}, \quad (6)$$

(6) aňlatmadan görnüşi ýaly ýygylýk kiçelse kritiki typma ulalýar.

Eger ýygylýk bilen naprýaženiýani proporsional üýtgetsek, magnit akymy Φ takmynan hemişelik bolýar.

$$\text{Eger } b = \frac{u_f}{\omega_s} = \frac{u_f \cdot \phi}{2\pi f_1} = \text{const} \quad \text{bolsa} \quad \text{mekanik}$$

häsiýetnamalar aşakdaky ýaly bolýar.



2.1.1-nji çyzgy.

Eger $(\omega_0 - \omega)^2 \ll s_k^2 \cdot \omega_s^2$ we $M_s=0$ diýsek, onda hereket deňlemesi aşakdaky ýaly bolýar :

$$T_3(f_1) \frac{d\omega}{df} + \omega = k_3(f_1) \cdot f_1, \quad (7)$$

bu ýerde

$$T_3(f_1) = \frac{J \cdot r_1}{3} \left(\frac{r_1}{\pm \sqrt{r_1^2 - 4 \cdot 10^{-4} x_k^2 f_1^2}} + 1 \right), s$$

$$K_3(f_1) = \frac{2\pi}{p}, \text{ rad}$$

Bu ýagdaýda beriş funksiýa aşakdaky ýaly bolýar :

$$W(p) = \frac{k_3(f_1)}{T_3(f_1)p + 1} \quad (8)$$

Şeýlelikde, üç usulda hem dwigateliň beriş funksiýasyny aperiodiki zwenonyň aşakdaky görnüşdäki beriş funksiýasy bilen häsiýetlendirip bolýar :

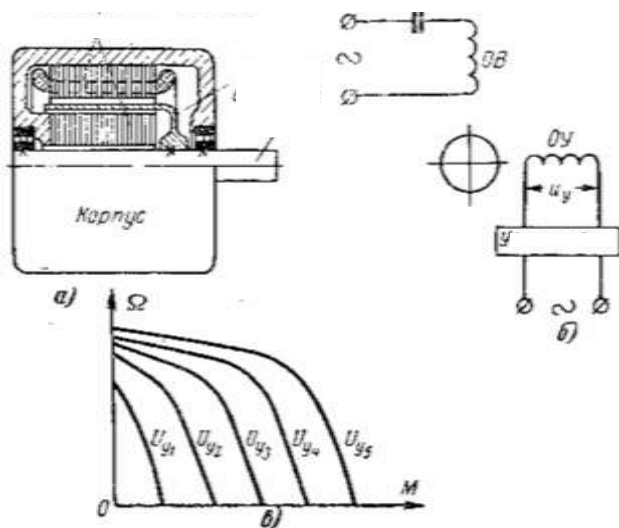
$$W(p) = \frac{K}{p(T_p + 1)} \quad (9)$$

Bu ýerde: k we T ululyklar naprýaženiýeden, garşylykdan we ýyglylykdan bagly funksiýalar bolýarlar.

Aşakda asinhron dwigateliň ýene bir görnüşi seredilýär. Bu dwigatel içi boş rotorly asinhron dwigatel diýen ady aldy. Onuň rotorly ýuka diwarly, içi boş magnit däl metallada ýasalan silindrden durýar. Adaty asinhron dwigatelden tapawudy, onuň her kuwwat birligine düýan agramy uly bolýar. Şonuň üçin onuň nominal momentiniň inersiýa momentine gatnaşygy uly bolýar. Şol sebäpli ol basym hereket gelýär we basym formozlanýar. Bu bolsa awtomatiki ulgamynda ulanmak üçin oňa uly mümkinçilik berýär.

Boş rotorly dwigatel iki sany sarymdan durýär: oýandyryjy sarym OS we dolandyryjy sarym DS. Bu sarymlar 90 el. gradus bir birine görä toglannandyrlar. Olar bir sany üýtgeýän toguň çeşmesinden iýmitlenýärler. Sarymlarynyň toklaryndaky arasyndaky süýşme 90 el.gradusa ýakyndyrlar. Munuň üçin oýandyryjy sarymyň zynjyryna Ç kondensator ýa-da faza süýşiriji güýjlendiriji birikdirilýär. Şu sebäpli aýlanýan magnit meýdan ellips ýa-da tegelek boýunça aýlanýar. Bu meýdan rotorda tok döretýär. Bu tok aýlanýan magnit meýdan bilen täsir edip aýlanma momentiki emele getirýär. Stenda görkezilen güýçlendiriji az toklaryň kömegi bilen dolandyrylýar.

Bu dwigatelin mehaniki häsiýetnamalary 2.1.2-nji , b
çyzgyda görkezilen şekilde bolýarlar.



2.1.2-nji çyzgy.

Dwigateliň işe goýberme momenti dolandyryjy signala proporsionaldyr :

$$M_g = c \cdot u_d B \quad (4)$$

bu ýerde: c – proporsionallyk koeffisiýenti, ol köplenç hemişelik.

A_z tizliklerde dwigateliň aýlanma momenti aşakdaky ýaly :

$$M = c u_d - b \cdot \omega \quad (5)$$

bu ýerde: b – dwigateliň mehaniki häsiýetnamasynyň gatylyk koeffisiýenti, pes tizliklerde ol hemişelik, ýagny $b = \text{const}$

Hereket deňlemesini hasaba alsak we $M_c \approx 0$ diýip kabul etsek, onda:

$$T \frac{d\omega}{df} + \omega = k \cdot u_{\lambda} \quad (6)$$

Bu deňleme aperiodik zwenonyň deňlemesirdir we parametrleri aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$T = \frac{J}{b} \quad \text{we} \quad K = \frac{c}{b}$$

Getirilenlerden görnüşi ýaly rotorynyň işi boş dwigateli aperiodiki zwenon diýip kabul edip bolýar we onuň beriş funksiýasy aşakdaky ýaly bolýar :

$$W(p) = \frac{K}{T_p + 1} \quad (7)$$

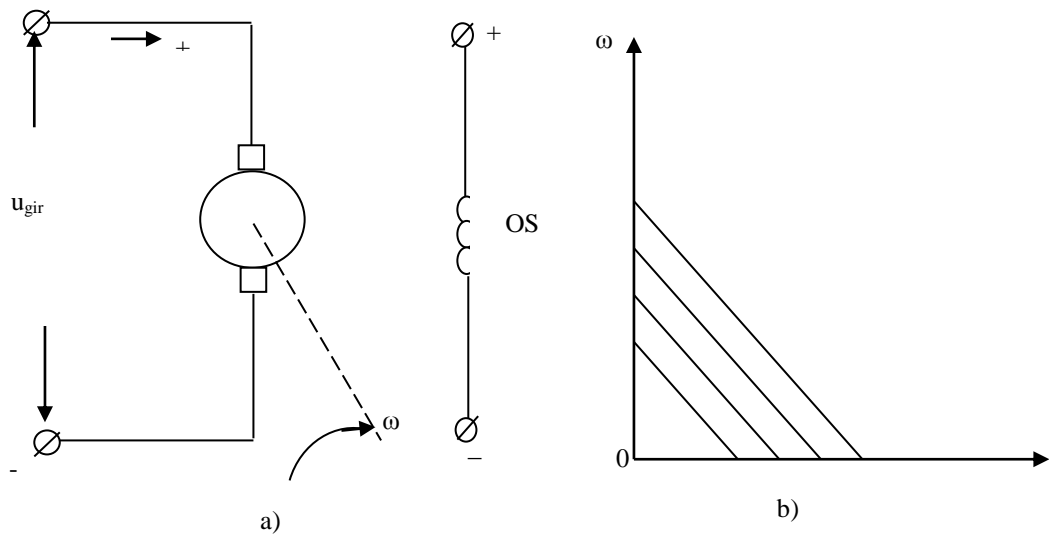
Eger dwigateliň burç tizligine derek onuň aýlanma burçuny alsak, onda boş rotorly dwigateli iki zwenonyň yzygider birikdirmesi hökmünde seredip bolar : aperiodiki we integrirleýji. Onuň beriş funksiýasy bolsa aşakdaky ýaly bolýar:

$$W(p) = \frac{K}{p(T_p + 1)} \quad (8)$$

Netije : Umuman, asinhron dwigateler görnüşyzykly däl elementdir. Hususy ýagdaýlarda olary görnüşyzykly element diýip kabul edip bolar we onuň beriş funksiýasyny aperiodiki we integrirleýji zwenolaryň yzygider birikdirilen görnüşinde kabul edip bolar.

3. Hemişelik toguň elektrodwigatelleri

Baglanşyksyz oýandyryjyly hemişelik toguň elektrodwigateliň birikdirme shemasy, elektromehaniki we mehaniki häsiýetnamalary 8- suratda görkezlen. Dwigateliň işleýşine hemişelik magnit meýdanda ýokaryň naprýaženiýesi üýtgeýär diýip kabul eden wagtymyzda seredeliň .



3.1-нји ңызгы.

Geçiş proseslerini ýakor zynjyrynyň we hereket deňlemesiniň deňlemelerine seretmek arkaly häsiýetlendiriliň

$$u_{gir} = L \frac{d_i}{d_t} + r.i + E \quad (1)$$

$$M - M_s = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

Bu ýerde: L, r – ýakoryň induktiwligi we aktiw garşylygyň ;

M, J – ýakoryň aýlaýjy momenti, we inersiýa momenti;

E.h.g. we aýlaýjy momenti aşakdaky ýaly aňladyp bolar :

$$E = c\phi.\omega \quad (3)$$

$$M = c\phi.I, \quad (4)$$

bu ýerde: ω – dwigateliň burç tizligi ;

I – ýakor zynjyrynyň togy.

Ýokarda getirilen deňlemeleri bilelikde işläp, aşakdaky deňlemäni alarys :

$$T_e \cdot T_M \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_M \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_d u_{gir} - \frac{L}{(c\phi)^2} \cdot \frac{dM_s}{dt} - \frac{r}{(c\phi)^2} M_s \quad (5)$$

bu ýerde: $T_e \frac{L}{r}$ - ýakor zynjyrynyň elektromagnit hemişeligi ;

$T_M = J \frac{r}{(c\phi)^2} = T \frac{\omega_0}{M_{g.u.}}$ - dwigateliň ýakorynyň mehaniki hemişeligi;

J – ýakoryň inersiýa momenti ;
 c – proporsionallyk koeffisiýenti ;
 Φ – oýandyryjy sarymyň magnit meýdany ;
 ω_0 – ideal boş işleme tizligi ;
 $M_{g.n.}$ – gysga utgaşma momenti.

(5) deňlemäniň sag tarapynda dolandyryjy u_{gir} we bozuýjy M_s – signallar bar. Şonuň üçin bu kanallar boýunça iki sany beriş funksiýany alyp bolar. $M_s=0$ diýip kabul edip, girýän (ýa-da dolandyryjy) signal boýunça beriş funksiýany aşakdaky ýaly ýazyp bolar :

$$w(p) = \frac{\omega(p)}{u_{gir}(p)} = \frac{K_d}{T_e T_M p^2 + T_M \cdot p + 1} \quad (6)$$

(6) deňlemeden görnüşi, ýaly kabul edilen ýönekeýleşdirmelerde, dwigateli yrgyldyly zweni hökmünde kabul edip bolar.

Eger $4T_e < T_M$ bolanda, dwigateli iki sany aperiodiki zwenolaryň yzygider birikdirilişi hökmünde seredip bolar :

$$W(p) = \frac{Kd}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (7)$$

$$\text{bu ýerde } T_e T_M + T; \quad T_M = T_2$$

Eger ýakor zynjyrynyň elektromagnit inersiýasyny hasaba almasak, onda baglanşyksyz oýandyryjyly hemişelik toguň dwigateli aperiodiki zweni bilen ekwiwalentdir we onuň beriş funksiýasy aşakdaky ýaly :

$$W(p) = \frac{Kd}{T_M p + 1} \quad (8)$$

Elektromehaniki yzarlaýjy ulgamlarda çykýan ululyk okuň aýlaw burçy bolýar, şonuň üçin dwigateliň beriş funksiýasy :

$$W(p) = \frac{Kd}{p(T_e T_M p^2 + T_M p + 1)} \quad (9)$$

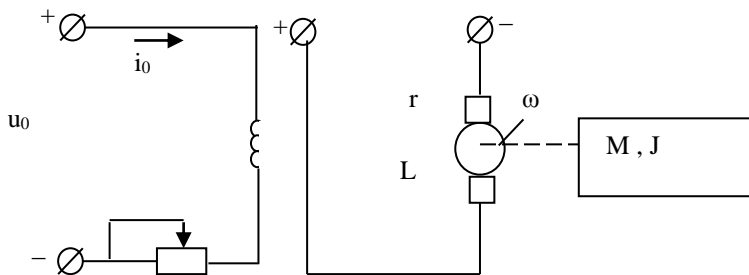
Kä halatlarda, ýüküň momenti tarapyndan girizilýän bozulmanyň geçiş proseslerini öwrenmeli bolýar. Bu ýagdaýda dolandyryjy ululygy nol diýip kabul edip, dwigateliň beriş funksiýasyny burç tizliginiň statiki momente gatnaşygy hökmünde seredip bileriş :

$$W_B(p) = \frac{\omega(p)}{M_s(p)} = \frac{-k_d^2(T_e p + 1)}{T_e T_M p^2 + T_M p + 1} \quad (10)$$

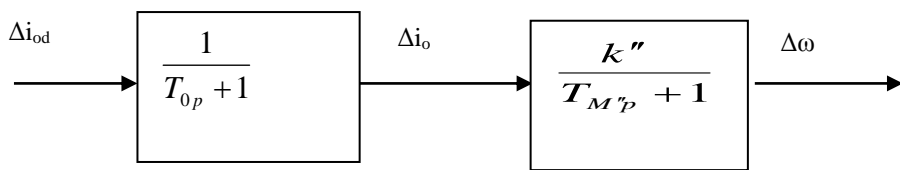
Bu funksiýanyň maýdalawjysy (6) funksiýanyň maýdalawjysy bilen deň, şonuň üçin durnuklylyk şertleri şoňa meňzeş bolýar. Emme (10) deňlemde differensirleýji zwenonyň beriş funksiýasy emele gelýär we ol yzgyldyly zweny bilen yzygider birikdirilen.

(6) we (10) deňlemeler ýakoryň reaksiýasyny hasaba almaýarlar, şonuň üçin olar kiçi kuwwatly elektrodwigateller üçin dogry dälidirler, sebäbi olaryň ýakory sete gös-göni birikdirilýärler. Kiçi dwigateller goşmaça polýussyz edilip ýasalýarlar we döreýän ýakoryň reaksiýasy mehaniki häsiýetnamalaryň egreýmesine getirýärler.

Indi baglanşyksyz oýandyryjyly dwigateliň ýakor zynjyrynyň naprýaženiýesiniň hemişelik bolup, dwigateli magtin meýdanynyň üýtgemegi arkaly dolandyrylyşyna seredeliň.



a)



b)

3.2-nji çyzgy

$t=0$ momentde oýandyryjy sarymyň naprýaženiýesi $-\Delta u_0$ üýtgeýär diýeliň. Tizlik ulalyp başlaýar. Kirhgofyň deňlemeleri ýakor we oýandyryjy sarymlar üçin we hereket deňlemesi aşakdaky ýaly ýazylýarlar :

$$u_{od} - \Delta u_0 = (I_{ok} - \Delta i_0)r_0 + L_0 \frac{d(I_{od} - \Delta i_0)}{dt}; \quad (11)$$

$$u_s = k'(\omega_k + \Delta\omega)(I_{ok} - \Delta i_0) + (I_{ak} + \Delta i_a)r + L \frac{d(I_{ad} + \Delta i_G)}{dt} \quad (12)$$

$$J \frac{d(\omega_k + \Delta\omega)}{dt} = K'(I_{ak} + \Delta i_a) + (I_{ok} - \Delta i_0) - M_s \quad (13)$$

bu ýerde : u_s – ýakora goýlan üýtgemeyän naprýaženiýe;
 u_{od}, I_{od} – oýandyryjy sarymyň köşeşen
naprýaženiýesi we togy ;
 $\Delta i_0, \Delta i_a$ – ýakoryň we oýandyryjy toklarynyň
üýtgemesi ;
 $\Delta\omega$ – aýlanma tizliginiň üýtgemesi ;
 r_0, r, L_0, L – oýandyryjy sarymyň we ýakoryň
garşylyklary we induktiwlikleri.
 K' – proporsionallyk koeffisiýenti ;

Skobkalary açyp we köşeşen toklary gysgaldyp,
aşakdaky üýtgemelerdäki deňlemeleri alarys :

$$T_0 \frac{d(\Delta i_0)}{dt} + \Delta i_0 = \frac{\Delta u_0}{r_0}; \quad (14)$$

$$T_e \frac{d(\Delta i_a)}{dt} + \Delta i_a = \frac{k'}{r}(\omega_k \Delta i_a - I_{ok} \Delta\omega + \Delta i_0 \Delta\omega); \quad (15)$$

$$T'_M \frac{d(\Delta\omega)}{dt} = \frac{r}{k I_{ok} \cdot I_{ak}} (I_{ok} \cdot \Delta i_a - I_{ak} \cdot \Delta i_0 + \Delta i_a \Delta i_0) \quad (16)$$

bu ýerde: T_0, T_e – oýandyryjy sarymyň we ýakoryň
elektromagnit wagt hemişelikleri ;

$$T'_M = \frac{J \cdot r}{k'^2 \cdot I_{ok} \cdot I_{ak}} - \text{elektromehaniki wagt}$$

hemişeligi.

(15) we (16) deňlemeler gönüçzyklydäl , sebäbi olar üýtgeýän ululyklaryň köpeltmek hasylyny saklaýarlar. Ondan başgada magnit ulgam d oýmadyk diýip kabul etdik, şonuň üçin bu deňlemeleriň üstüne ýene-de bir gönüçzyksyzlyk goşulýar.

Ýönekeýleşdirmek üçin $T_e=0$ diýip kabul edileň we üýtgeýän ululyklaryň köpeltmek hasylyny hasaba alman, aşakdaky deňlemeleri alarys :

$$\left. \begin{aligned} T_0 \frac{d(\Delta i_0)}{dt} + \Delta i_0 &= i_{ok} \\ T''_M \frac{d(\Delta \omega)}{dt} + \Delta \omega &= k'' \Delta i_0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Kabul edilen bellemeler :

$$T''_M = T'_M \frac{I_{ak}}{I_{ok}}; k'' = \frac{\omega_k}{I_{ok}} - \frac{r \cdot I_{ak}}{k' \cdot I_{ok}}; \Delta i_{ok} = \frac{\Delta u_o}{r}$$

Onda, magnit akym tarapyndan dolandyrylmada dwigatel iki sany aperiodiki zwenolaryň yzygider birikdirilmesi hökmünde kabul edilip biliner :

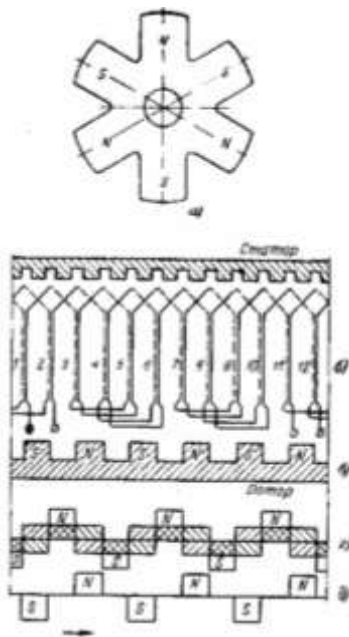
$$W(p) = \frac{\Delta \omega(p)}{\Delta i_{ok}(p)} = \frac{K''}{(T_0 p + 1)(T''_M p + 1)}; \quad (18)$$

4. Ädimleýji elektrodwigateller

Ädimleýji elektrodwigateller onuň sarymyna elektriki impuls berilende berlen burç süýşmesini işläp geçmeli. Ädimleýji elektrodwigateller adimleýji gözläp tapyjy hökmünde öňden belli. Emma olaryň aýlaýjy momentleri kiçi, çalt herekete gelmesi hem pes. Olar dolandyryjy signaly mehaniki kommutatorlardan ýa-da rele-kontaktor shemalardan alýar. Häzirki zaman ädimleýji dwigateller bu ýetmezçiliklerden azatdyrlar.

Olar güýç we indikator ulgamlarda ulanylyp biliner, olar kontaktsyz ýarym geçirijilerden signal alýarlar.

Olar dürli görnüşli bolup bilerler, emma biz magnitoelektrik görnüşli rotorynda hemişelik magnit saklaýan hillisine serederiş. Rotoryň görnüşi aşakdaky suratda görkezilen.



4.1-nji çyzgy.

Hemişelik magnit saklaýan rotor 4.1-nji çyzgyda görkezilen, onuň kömegi bilen ädimleýji dwigateliň işleýiş prinsine düşünmek aňsat.

Magnitoelektrik ädimleýji dwigateller sinhron dwigatellere meňzeş emma olardan tapawudy rotorynda goýberiji sarym ýok. Ädimleýji dwigatelleriň sarymlary gönüburçly ýa-da has çylşyrymly formalý naprýaženiýe impuls bilen iýmitlendirilýärler. Dwigateliň magnit meýdany bökme görnüşde süýşýärler we öz yzyndan rotory çekýärler. Rotor hem her impulsdan soň bir bökýärler we indiki impulsa çenli durýarlar. Kä halatlarda rotoryň inersiýasy barlygy sebäpli yrgyldyly aýlanýarlar. Soňky ýagdaýda-da berlen impulslaryň sanyna görä rotoryň giňişlikde belli ýagdaýlary bolýarlar.

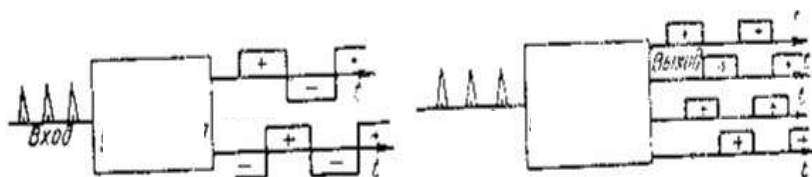
Magnitoelektrik ädimleýji dwigateller ýakory dinamiki hilli bolýarlar. Bu bolsa olaryň sarymlaryň kiçi elektromagnit hemişeligi bilen düşündirilýär. Olaryň toklary basym köşeşen ýagdaýyna gaýdyp gelýärler. Dwigateliň rotorynyň diametri kiçi bolansoň elektromagnit hemişelikleri hem kiçi bolýarlar.

Bu ädimleýji dwigateller örän gaty mehaniki häsiýetnamalary bolýarlar, olaryň p.t.k. Ýokary we içki demptirlenmek uly. Bu dwigateller ýönekeý dolandyryjy shemany talap edýärler, ulanmaklyk üçin ygtybarly kontaktsyz we arzan. Olar ýasamak üçin hem amatly, sebäbi, konstruksiýasy boýunça ýönekeý.

4.1-nji çyzgydan görnüşi ýaly iki fazaly dwigatel statorynda iki sarym saklaýar. Olar bir-birine görä bir diş bölümünde süýşirilendir, olar iki gatdan durýarlar. Bu sarymlar ikifazaly, her polýusa we faza $q=1$ emele getirýän iki fazaly sarymy emele getirýärler.

Magnitlendiriji güýji 4.2-nji çyzgy, g çyzgyda görkezilen. Rotoryň polýuslarynyň sany statordaky dişleriň ýarsyna deňdir. Iş wagty rotoryň polýuslary statoryň oýandyrylan dişleriniň yzyndan ýetjek bolup ymtylýarlar. Haçan ikinji impuls gelende dolandyryjy shema öz

polýarlygyny üýtgedýär, bu bolsa sarymlaryň birinde bolup geçýär we dwigatel bir ädim öňe süýşýär.

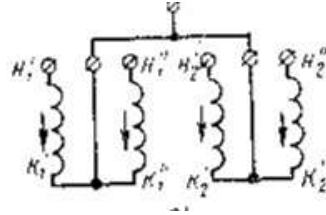
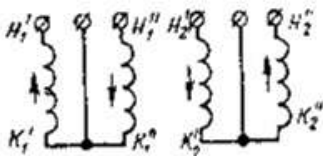


4.2-nji çyzgy.

4.2-nji, a, b çyzgyda ŞДА seriýaly dwigateliň dolandyryjy shemasynyň işleýşini görkezýär. Dolandyryjy schema girýän impulsalaryň yzygiderligini gönüburçly naprýaženiýe impulsalaryň ikifazaly ulgamyna öwürüýär. Bu ýerde çykalgada „t” we „-” alamatlar çykalgadaky naprýaženiýe impulsalarynyň we sarymlardaky toklaryň polýarlygyny görkezýär. Entek birinji impulsa çenli iki sarym hem tokly bolýar we dwigatel başdaky ýagdaýda durýar. Bu ýagdaýda dwigatel tok boýunça gowy ulanylýar, ýöne çykýan kaskadlar çylşyrymlaşýar, olar köpri görnüşli bolmaly.

Şonuň üçin 4.3-nji, a we b çyzgyda dolandyryjy sarymlaryň ikinji warianty görkezilen.

Bu ýagdaýda ädimleýji dwigatel dörtfazaly gönüburçly naprýaženiýe ulgamlaryndan iýmitlenýär. Bu ýerde dolandyryjy schema ýönekeýleşýär, sebäbi ol yzly-yzyna sarymlaryň ýarym fazalaryny iýmitlendiriji çeşmäniň plýuslaryna birikdirmeli.



4.3-nji çyzgy.

Görkezilen görnüşli ädimleýji dwigateliň geçiş prosesleriniň deňlemelerini takmynan aşakdaky ýaly ýazyp bolar :

$$u_1(t) = i_1 r + \frac{d\psi_1}{dt} ; \quad (1)$$

$$u_2(t) = r_2 r + \frac{d\psi_2}{dt} ; \quad (2)$$

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + M(\theta, i_1, i_2) + M_s = 0 \quad (3)$$

bu ýerde: u_1, u_2 – iýmitlendiriji naprýaženiýeler ;

r – bir fazanyň aktiw garşylygy ;

Ψ_1, Ψ_2 – fazalaryň doly potok ilteşmesi ;

$M(\theta, i_1, i_2)$ – dwigateliň sinhronizirleýji momentiniň pursat bahasy ;

M_s – ýüküň momenti ;

J – rotoryň inersiýa momenti.

Eger hususy we özara induktiwlikleri hasaba almasak, onda ýokary deňlemeleri aşakdaky deňleme bilen çalşyp bolar :

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + M_s = M[\gamma(t) - A], \quad (4)$$

bu ýerde: $\theta = p \cdot \theta_M$;
 θ, θ_M – okuň aýlanma burçy mehaniki we
 elektriki redianlarda ;
 p – jübüt polýuslaryň sany ;
 b – demp tizleşýji koeffisiýent ;
 $\gamma(t)$ – wagt boýunça basgançakly funksiýa, ol
 magniot meýdany tarapyndan berlen rotoryň
 burç aýlawy.

Eger hakyky egrini ekwiwalent sinusoida bilen çalyşsak, onda

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + M_s \approx M_m \sin[\gamma(t) - \theta] \quad (5)$$

bu ýerde: M_m – sinhronizirleýji momentiniň maksimal bahasy.

(23) deňleme gönüçyzykly däl. Ol matematiki maýatnigiň häsiýetine meňzeşdir. Onuň asylma nokady gorizonta tekizlikde hereket edýän bolmaly. Bu deňleme takmynan usullar bilen işlenip biliner.

5. Elektromaşyn güýçlendirijiler (EMG)

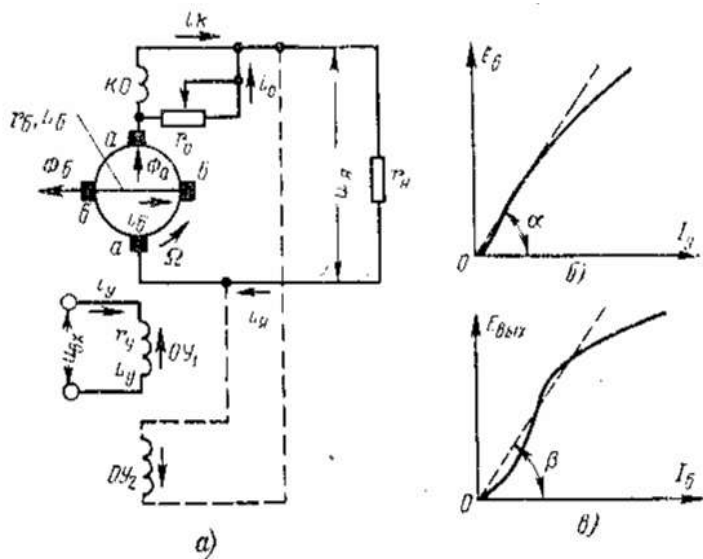
Elektromaşyn güýçlendiriji diýip girelgesinde az signal alyp, ony gaýtadan uly kuwwat bilen çykalgasynda gaýtalaýan elektrik maşyna aýdylýar. Uly kuwwat almak herekete getirýän dwigateliň hasabyna başga çeşmelerden alynýar.

EMG-niň iki görnüşine seretmel bilen çäkleneliň. Olar EMG kese meýdanly we öz-özünden oýanýan EMG.

Kese meýdanly EMG bu hemişelik toruň generatory, onuň ýakorynda hemme maşynlara mahsus bolan sarym bar.

Onuň magnit ulgamy anyk polýusly we anyk däl polýusly görnüşde bolup bilýär. Kollektorda iki jübüt şetka ýerleşýär : aa we bb. Kese şetkalar özara gysga utgaşdyrylýarlar.

EMG iki kaskaly güýçlendirijidir. Onuň birinji kaskady dolandyryjy sarymdan üü gysga utgaşdyrylan sarymlary öz içine alýar. Ikinji kaskad bolsa bb şetkalardan onuň çykalgasyna çenli bolýar. Dolandyryjy sarymda dörän az mukdardaky Φ_a potok gysga utgaşdyrylan sartmda i_b uly tok döredýär, sebäbi bu zynjyryň garşylygy ujypsyz az. I_b tok örän uly Φ_b kese okuň magnit akymyny döredýär. Bu akym çykýan zynjyrdaky e.h.g. $e_{\text{çyk}}$ döredýär. Çykýan zynjyrdaky döreýän tok i_a dik ok boýunça ýakoryň ters reaksiýasyny döredýär, ol bolsa öz gezeginde Φ_a akymy azaltýar Φ_a akymyň azalmasyny kompensirlemek üçin güýçlendirijide KS kompensirleýji sarym goýular. Onuň täsiri r_0 reostatyň süýşijisiniň ýagdaýyndan baglylykda uly ýa-da kiçi bolup biler.



5.1-nji çyzgy.

Dolandyryjy saryma u_{gir} hemişelik signal berilende EMG-niň boş işleýşine seredeliň.

Içki ters baglanşyklary hasaba alman birinji we ikinji kaskadlar üçin aşakdaky deňlemeleri ýazyp bolar :

$$\left. \begin{aligned} (T_1 p + 1)E_b &= k_1 \cdot u_{gir} \\ (T_2 p + 1)E_{cyk} &= k_2 \cdot E_b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Bu ýerde $T_1 = \frac{Ld}{r_d}, T_2 = \frac{Lb}{r_b}, k_1 = \frac{tg \alpha}{r_d}; k_2 = \frac{tg \beta}{r_b}$

kaskadlaryň wagt hemişelikleri we güýçlendiriş koeffisiýentleri

(1) deňlemelerden EMG-niň beriş funksiýasyny alarys :

$$W(p) = \frac{E_{cyk}}{u_{gir}} = \frac{k_1 k_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (2)$$

(2)deňlemäni kaskadlar yzygider birikdirilen zwenolar hökmünde seredip alýarys.

Hakykatda EMG-de bolup geýýän geçiş prosesleri (2) formula boýunça alynýan proseslerden düýpli tapawudy, sebäbi onuň içinde täsir edýän ters baglanşyklar we egrilikler bar.

EMG-niň dik oky boýunça magnit akymy aşakdaky faktorlar sebäpli magnitsizlenýär :

1. Köwlenme toklary; Φ_b akym döredýär.
2. Kese okuň seksiyalarynyň kommutirlenýän toklary.
3. bb şetkalaryň neýtraldan süýşmegi.

Bu hadysalar i_b tokdan gaty otrisatel ters baglanşyk arkaly hasaba alynyp biliner. Ol ikinji zwenonyň girelgesine berilmeli. Özara induksiýa barlygy sebäpli kese we dik oklaryň arasyndaky baglanşyk i_b toguňa önüminden çeyä ters baglanşyk almak arkaly hasaba alynyp biliner. Bu signal birinji zwenonyň girelgesine girizilmeli. Kese ora ters täsir örän ujypsyz bolýar.

Ýokarda getirilen iki ters baglanşygyň täsiri bir jemleýji gaty beglanşyk bilen çalşylyp biliner. Bu signal birinji zwenonyň girelgesine berilýär we K_{ib} beriş koeffisiýenti bolýar. Boş işleme düzgünde EMG-nyň beriş funksiýasy aşakdaky ýaly bolýar :

$$W(p) = \frac{K_1 K_2}{1 + K_{ib}} \cdot \frac{1}{\frac{T_1 T_2}{1 + K_{ib}} p^2 + \frac{T_1 T_2}{1 + K_{ib}} p + 1} \quad (3)$$

EMG r_y ýüke işlän mahaly i_a ýakor togunyň bir bölegi ýakoryň reaksiýasyna kompensirleýji täsir edýär. Bu hadysany otrisatel ters baglanşyk girizmek arkaly, ýagny EMG-niň girelgesine ε - i_a signak girizmek bilen hasaba alyp bolar. Bu ýagdaýda EMG ýeterlik däl kompensasiýa bilenleşýär diýip hasap edýäris. Kompensasion sarymyň dargaýan magnit akymy onda samoinduksiýa e.h.g-sini döredýän. Bu hadysa i_a toguň önüminden çeyä ters baglanşyk girizmek arkaly hasaba alynyp biliner. $\mu p I_a$ ters baglanşygyň täsir dolandyryjy saryma girizilýär.

Ýokarda agzalan ters baglanşyklary hasaba alyp, EMG-niň beriş funksiýasy aşakdaky ýazylyp biliner :

$$W(p) = \frac{K_1 K_2 K_n}{C_u \left(\frac{a_u}{c_u} p^2 + \frac{b_u}{c_u} p + 1 \right)} \quad (4)$$

bu ýerde :

$$K_n = \frac{r_u}{r_u + r_a} ; \quad C_u = 1 + K_{ib} + \frac{\varepsilon \cdot K_1 \cdot K_i}{r_u + r_a} ;$$

$$a_u = T_1 T_2 ; \quad b_u = T_1 + T_2 + \frac{\mu \cdot K_1 K_2}{r_u + r_a}$$

EMG-niň beriş funksiýasy we çaltlygy ýüküň garşylygyndan we EMG-niň ýakorynyň r_a garşylygynda şeýlede ol ýakoryň kompensirlenýän derejesi ε -dan bagly.

Kese meýdanly EMB kuwwat boýunça güýçlendiriş koeffisiýenti $K=10000$ çenli bolýar.

Öz-özünden oýanýan EMG hemişelik toguň generatoryna meňzeşdir. Onuň beriş funksiýasy aperiodiki zwenonyň beriş funksiýasyna meňzeşdir

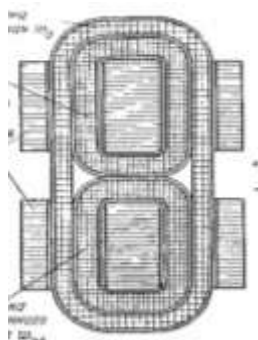
$$W(p) = \frac{u_{cyk}}{u_{gir}} = \frac{k}{T_p + 1} \quad (5)$$

Bulardan başgada ini-üç basgançakly EMG bolýar. Olar hem öz-özünden oýanýan görnüşli bolýarlar.

öz-özünden oýanýan EMG-niň gowy topary-olarda kyn ýerine ýetirýän stator sarym ýok we şetkadaky kommutasiýa kynçylygy ýok. Kem tarapy-sazlamak kynçylygy we işleýşiniň durnukly dälligidir.

6. Magnitli güýçlendirijiler

Iň ýönekeý drosseli magnit güýçlendiriji III – görnüşli serdeçnikden durýar. Bu serdeçnigiň daşyna üýtgeýän toguň sarymy saralýar. Iki sarymy hem dolandyryjy sarym gabap alýar. Aşakda şeýle magnit güýçlendirijiniň konstruktiv çyzgysy, prinsipial shemasy we $B(H)$ häsiýetnamasy görkezilen.



6.1-nji çyzgy.

Üýtgeýän toguň sarymlary w_A we w_B ýük bilen yzygider birikdirilen. Bu sarymlar Φ_A we Φ_B magnit akymalaryny döredýär. Özgezeginde bu potoklar ℓ_A we ℓ_B e.h.g - leri dolandyryjy sarymda döredýär. Bu e.h.g-ler deň we garşylykly birikdirilen, şonuň üçin jemleýji tok nola deň bolýar.

Dolandyryjy naprýaženiýani u_d we togy i_d üýtgedip, serdeçnikde magnit meýdanyň güýjenmesini we induktiwligi üýtgedýän.

Magnit güýçlendirijiniň differensial deňlemesini aşakdaky ýaly ýazyp bolar :

$$T_d \frac{du_{\zeta yk}}{dt} + u_{\zeta yk} + k_u \cdot I_d, \quad (1)$$

$$K_u + \frac{u_{\zeta yk} \cdot d}{u_{gir} \cdot d} = \frac{r_{\zeta yk} \cdot \omega_d}{r_d \cdot \omega} \quad (2)$$

naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýenti. Dolandyryjy sarynyň wagt hemişeligi

$$T_d = \frac{k_u \cdot w_d}{4f \cdot w} = \frac{k_p}{4f \cdot \eta}, \quad (3)$$

bu ýerde: $u_{\text{çyk}}$ we u_d – $r_{\text{çyk}}$ we r_d garşylyklara düşýän naprýaženýeleriň orta bahalary.

Şeýlelikde (aktiw) ýüklenen ýönekeýje drossel görnüşli magnit güýçlendiriji dinamiki düzgünde öz täsiri boýunça aperiodiki zwno ekwiwalentdir. Bu netije elektrotehniki polatdan ýasalan drossel magnit güýçlendirijilere hem degişlidirler.

Tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýenti aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$K_I = \frac{I_{d\text{orta}} \text{ ýük}}{I_{dd}} \approx \frac{w_d}{w} \quad (4)$$

Bu koeffisiýent uly çäklerde üýtgeýär we diňe tok häsiýetnamanyň gönüçzykly böleginde hemişelik galyp bilýär. Şeýle magnit güýçlendiriji aşakdaky birinji derejeli deňleme bilen häsiýetlendirilip bilener :

$$T_d(T_d) \frac{du_{\text{çyk}}}{dt} = u_{\text{çyk}} = k_u(I_d) \cdot u_d \quad (5)$$

Bu deňlemäniň koeffisiýentleri dolandyryjy sarymyň toglardan bagly. Şonuň üçin ol gönüçzykly deňleme däl. Güýçlendirijiniň özi hem gönüçzykly däl elementdir.

MG ulanylýan tok boýunça ters baglanşyklara seredeliň. Olar içki we daşky ters baglanşyklara bölünýärler. Ilik daşky ters baglanşyga seredeliň.

Bu baglanşyfy amala aşyrmak üçin güýçlendirijiniň çykalgasyny onuň girelgesi bilen baglanyşdyrmaly. Bu ýagdaýda güýçlendirijiniň çykalgasyndaky tok gönüçzykly onuň dolandyryjy sarymlarynyň birine berilýär. Ol bolsa öz gezeginde

güýçlendirijiniň magnitleşmesini köpeltýär. Ol çykalgadaky tora proporsional köpeliýär. Energiýäniň birbölegi indi üýtgeýän toguň çeşmesinden alynýar. Dolandyryjy toguň kuwwaty kiçeliýär we güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti ulalýar. Sonuň üçin üçin adaty polojitel ters baglanşyk MG-niň güýçlendiriş koeffisiýentini ýokarlandyrmak üçin ulanylýar.

Daşky tok baglanşykly güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$K_I = \frac{I_{or\sim}}{I_d} = \frac{\omega_d}{\omega_{\sim} - \omega_{t.b}} \quad (6)$$

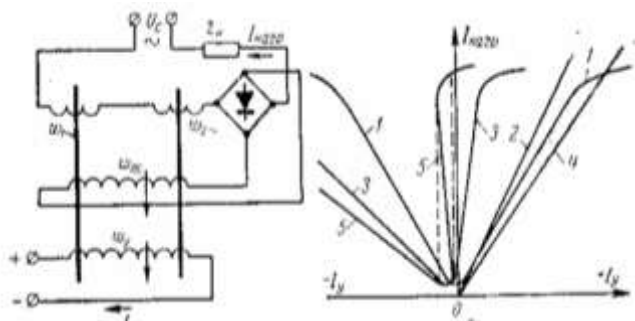
Kuwwat boýunça güýçlendiriş koeffisiýenti :

$$K_p = \frac{I_{or\sim}^2}{I_d} = \frac{\omega_d}{\omega_{\sim} - \omega_{t.b}} \quad (7)$$

Ters baglanşyk koeffisiýenti

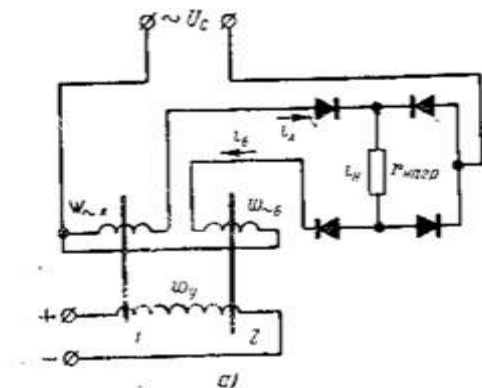
$$K_{t.b.} = \frac{u_{t.b.}}{H \sim or} = \frac{\omega_{t.b.}}{\omega \sim} \quad (8)$$

Kuwwat we tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýen ulalmagyna seretmezden tok boýunça ters baglanşyk görezmeklik güýçlendirijiniň inersionlygyny ulaltýar. Onuň shemasy aşakda görkezilen. Ters baglanşyksyz MG işçi häsiýetnamasy 6.1-nji, b çyzgyda görkezilen.



6.2-nji çyzgy.

Indi içki ters baglansygly MG seredeliň. Onuň işçi shemasy 6.2-nji, a çyzgyda görkezilen.



6.3-nji çyzgy.

Bu usulda ters baglansygyň koeffisiýenti 1-e deň. Şonuň üçin onu üýtgetmek mümkin däl. Bu usulyň gowy tarapy ýörite dolandyryjy sarym üçin ýörite sarym ulanylmaýar. Yöne işçi

sarymlaryň sarym sany iki esse artyk bolmaly. Bu güýçlendiriji çykýan kuwwaty $\sqrt{2}$ esse köpetmäge mümkinçilik berýär.

Rele düzgünini almak üçin şol bir güýçlendirijide içki ters baglanşyk bilen göwşak daşky ters baglanşygy ulanmaly bolýar. Şonuň üçin ters baglanşyk koeffisiýenti birden uly bolup bilýar.

7. Elektron lampalarda gurnalan DAU-nyň öwrüji we güýçlendiriji elementleri

Öňki wagtlarda awtomatiki dolandyrmanyň teoriýasynda we praktikasynda elektron lampalaryň gerinde ulanylýardy. Olaryň amatlylygy energiýa akymalaryny naprýaženiýäni üýtgetmek arkaly dolandyryp bolýanlygy bilen düşündürülýärdi. Şeýle-de, olar ýokary güýçlendiriji koeffisiýentleri güpjün edýär. Olaryň kömegi bilen gönüçzykly häsiýetnamalary alyp bolýar. Şol bir wagtda-da olar gönübilýçrler. Sebäbi güýçlendiriş koeffisiýenti we içki garşylyk setkadäki naprýaženiýe süýşmesinde egriçzykly baglanşykda bolýar.

Elektron lampa-da ýasalan güýçlendirijiler naprýsženiýe, yok we kuwwat güýçlendirijileri hökmünde, bolup bilýarler. Mundan başgada olar hemişelik we üýtgeýän toguň güýçlendirijileri we öwrüjiler hökmünde ulanylyp bilinýärler. Olar üýtgeýän toguň signalyny hemişelik toguň signalyna we tersine öwürýärler, jemleýji, differensirleýji, integrirleýji we köpeldiji elementler hökmünde ulanylyp biliner. Ahyrynda, olar çäklendirijiler, rele elementleri, impuls elementleri, öli zonaly elementler we başga gönüçzykly däl elementler hökmünde ulanylyp bilinerler.

Ol wakuum triodde ýerine ýetirilen, ýük hökmünde aktiw garşylyk ulanylan. Shemanyň girelgesine u_{gir} signal berilýär. Ol hemişelik togyň naprýaženiýesi ýa-da az ýylylykly üýtgeýän toguň signaly bolmagy mümkin. Bu ýerde güýçlendirme lampanyň içki sygymyndan gaty bagly däl.

Uly bolmadyk girýän signalda naprýaženiýäni güýçlendirme uly gyşarmaýar. Girelgede signal ýok ýagdaýynda, onda diňe toguň süýşme signaly ($-u_{to}$) bar we anod togy I_{ao} deň. Onda çykalgadaky naprýaženiýäniň başlangyç bahasy aşakdaka deň bolýar :

$$u_{cyk.o} = u_a - I_{ao} \cdot r_a \quad (1)$$

Girelgä u_{gir} signal berilende anod togy pursatda üýtgemä eýe bolýar :

$$\Delta I_a = s \frac{r_i}{r_i + r_a} \cdot u_{gir} \quad (2)$$

bu ýerde :

$$s = \left(\frac{\partial I_a}{\partial u_t} \right) u_a = const$$

lampanyň krutiznasy diýilýar.

Güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti :

$$K_u = \frac{\Delta u_{cyk}}{\Delta u_{gir}} = - \frac{\Delta I_a \cdot r_a}{u_{gir}} = - \frac{\mu r_a}{r_i + r_a} \quad (3)$$

Bu ýerde aşakdaky belleniş girizilen :

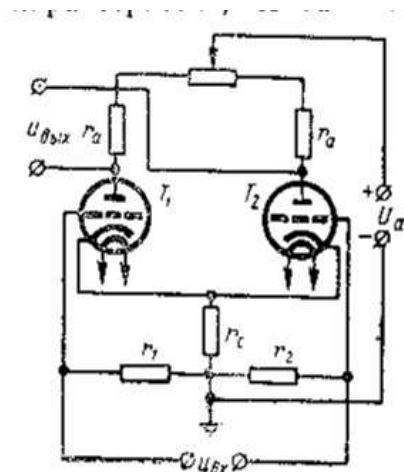
$$\Delta u_{cyk} = -\Delta I_a \cdot r_a$$

$s_{ri} = \mu (\partial u_a / \partial u_s) I_a = const$ - lampanyň güýçlendiriş koeffisiýenti.

Hemişelik toguň güýçlendirijisi täsiri boýunça inersion däl kysymly dinamiki zwenno ekwiwalentdir.

Hemişelik toguň güýçlendirijisiniň esasy ýetmezçiligi bolup onuň häsiýetnamasynyň stabil bolmazlygydyr, ýagny ol iýmitlendiriji naprýaženiýäniň üýtgemegi bilen üýtgeýär, ýylylyk düzgün bilen bagly.

Stabilligi ýokarlandyrmak üçin parallel balans shemalar ulanylýar. Onuň bir görnüşi aşakdaky çyzgyda görkezilen.



7.1-nji çyzgy.

Bu güýçlendirijide iki sany birmenzeş triod T_1 , T_2 ulanylan. Awtomatiki süýşme boýunça işleýärler. Ýokary omly potensiometr, ol r_1 , r_2 garşylyklarda durýar. Ol az kuwwatly girýän signaly ulanýar. Çykýan signal r_a anod garşylykda we lampalaryň içki garşylygyndan durýan köpri görnüşli shemadan alynýar. Köpri girýän signal nul bolanda çykýan signal hem nul bolar ýaly edilip sazlanan. Girýän signal nuldан tapawutly bolanda çykalgada signal döreýär we onuň alamaty girýän signalyň alamatyndan bagly.

Bu güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti hem (3) formula boýunça tapylýar. Bu hakykat, sebäbi süýşme

naprýaženiýesi üýtgänok, girýän signalyň ýarsy T_1 lampada güýçlendirilýär. Girýän signalyň ikinji ýarymy T_2 lampada güýçlendirilýär. Umumy signalyň üýtgemesi iki ýarym signalyň güýçlendirilmesiniň jemine deň. Bu signal ýokary ýygýlykly düzüjini saklamaýar.

Praktikada bu güýçlendirijiler üýtgedýän tok üçin köp ulanylýar. Olar güýçlendirilen signalyň stabilligi we zyýana durnuklylygy bilen tapawutlanýar.

Indi beriş funksiýasyny kesgitläliň. Munuň üçin aşakdaky aňlatmalara seredeliň

$$\left. \begin{aligned} \mu u_{\text{çyk}} &= i r_i = i_a r_a \\ i_a r_a &= \frac{i_{\text{çyk}}}{C_3} + i_{\text{çyk}} r_{\text{ý}} \\ i &= i_a + i_{\text{çyk}} \\ i_{\text{çyk}} r_{\text{ý}} &= u_{\text{çyk}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Bu ýerden üýtgeýän toguň beriş funksiýasyny aşakdaky ýaly kesgitleýäris :

$$W_i(p) = \frac{K_u \cdot T_1 p}{T_2 p + 1} ; \quad (5)$$

bu ýerde: $k_u = \mu \rho$; $T_1 = r_{\text{ý}} c$; $T_2 = (r_{\text{ý}} + r_i) c$

$$\rho = \frac{r_a}{r_a + r} \text{ (triodlar üçin bize ýakym)}$$

(5) deňlemeden görnüşi ýaly üýtgeýän toguň güýçlendirijisi dinamikada yzygider birikdirilen differensirleýji we aperiodiki zwenolar bilen aňladylýarlar.

8. Ýönekeý elektrik shemalaryň kysymly düwünleri we olaryň täsir ediş prinsipleri

Umumy ýagdaýlar

Elektrik shemalar diýlen düşünje bilen tanşyp, bu shemalary nädip düzmeli diýlen düşünje ýüze çykýar.

Ýönekeý DAU-ny taslamam dolandyryjy shemany düzmekden başlaýar. Köplenç dolandyryjy shemany düzmeklik kysymly düwünleri birikdirmekden başlaýar. Kysymly düwünleri birikdirmeklik injener intuitiýanyň esasynda ýerine ýetirilýär. Ilki başlangyň wariant düzülýär. Şondan soň ol talaplary berjaý etmekligiň pollaryny gözlemek esasynda çuňlaşdyrylýar. Bu gözlemekligiň dowamynda ähli elementleriň kysymly we esasy parametrleri saýlanyp alynýar. Käbir elementleriň görnüşi üýtgedilýär. Elektrik shema gutarnykly görnüş alýar.

Element shema gutarnykly görnüş alandan soň montaj shemany düzýarler we käbir konstruktiň shemalar düzülýär. Bu shemalar skatlarda elektrik enjamlaryň ýerleşdirilişi, panellerde we önümçilik maşynyň üstünde elektrik enjamlaryň ýerleşdirmek meseleleri çözülýär.

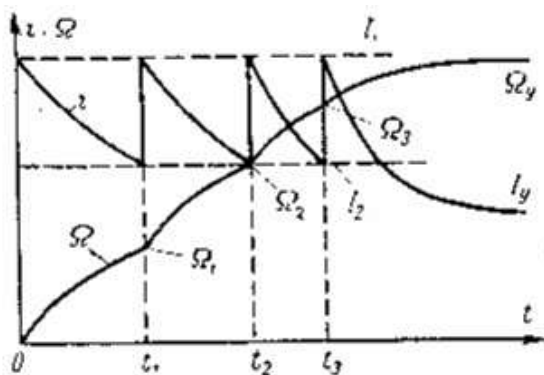
Kysymly düwünleriň işleýiş prindiplerini öwrenenimizde elektrodwigatelleriň işe goýberiliş, tormozlanyş we aýlaw ugruny üýtgediş prinsiplerini usullaryny öwrenmek gerek. Bu zatlary wagt, tizlik, tok, ýol, prinsipleri esasynda amala aşyrmak amatly bolýar.

8.1-nji çyzgyda asinhron dwigateliň we hemişelik toguň dwigatelini işe goýberenimizde toguň we tizligiň diagrammasy görkezilen.

Bu grafiklerden görnüşi ýaly haýsy pursatda garşylyklaryň şuntirlenmesi bolup geçmelidigi görünýär. Mysal üçin t_1, t_2, t_3 pursatlarda ýa-da $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$ tizliklerde, toguň I_2 bahasynda garşylyklar şuntirlenmeli. Bu prinsipleri amala aşyrmak üçin, wagtyň tizlikleri, togy kontrol edýän apparatlar

goýulmaly. Bu apparatlar wagtyň tizligiň, toguň belli bir bahalarynda şuntirleýji apparatlara signal berýärler.

Kä halatlarda şuntirleme başga parametrler boýunça hem amala aşyrylyp biliner: kuwwat prinsipi, moment prinsipi, çekişme güýji prinsipi, temperatura, reňki operasiýalaryň hasaby prinsipi we beýlikler.



8.1-nji çyzgy.

Bu parametrler boýunça işe goýberilende, tormozlananda ýa-da ugruny üýtgedimizde çylşyrymly gurnamalary ulanmaly bolýarys. Köplenç bu parametrler boýunça dolandyрма ýapyk görnüşli shema boýunça amala aşyrylýar, ýagny parametriň üýtgemesi boýunça dolandyрма usuly esasynda ýerine ýetirilýär. Ol bolsa otrisatel ters baglanşygyň esasynda durmuşa geçirilýär.

9. Wagt prinsipi boýunça amala aşyrylýan elektrodwigatelleri işe goýbermek we tormozlamak

Işe goýberiş diagrammalar we geçiş prosesleriniň grafikleri $i(t)$ we $\omega(t)$ goýberiş garşylyklaryny hasaplamaga we olary saýlap almaga mümkinçilik berýär. Geçen paragrafdaky diagrammalar işe goýberiş garşylyklaryň belli bir wagt aralygyndaky basganşaklary gysgaltmak prosesi bolup geçýär. Mysal üçin, birinji basgançak t_1 , wagtda gysgalmaly, ikinji basgançak bolsa $t_2 - t_1$ wagtda bolup geçmeli we ş.m.

Wagt saklamasy dürli wagt releleri arkaly amala aşyrylýar. Wagt relesinde wagt saklamasy aşadaky mehanizmler arkaly ýerine ýetirilýär : maýatnikli mehanizmler, elektromagnit mehanizmler, ýag we howa tormozlaýjy mehanizmler,elektron we ýarymgeçirijili mehanizmler arkaly amala aşyrylýar. Şeýle-de köp wagt saklanmasy dwogateller arkaly amala aşyrylýarlar. Häzirki zaman wagt releleri 0,05 sekuntndan bir näçe sagada çenli wagt saklamasyny amala aşyrýarlar.

Wagt saklanmasy geçiş prosesini hasaplamak arkaly kesgitlenýär. Mysal üçin, dinamiki moment tizlikden gönüçyzuk arkaly baglanşyk bolanda tizlik ω_1 we ω_2 aralygynsa üýtgände wagt saklanmasy aşadaky formula boýunça kesgitlenip biliner :

$$t_{1,2} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M_{d1} - M_{d2}} \ell n \frac{M_{d1}}{M_{d2}} = \frac{J \omega_n}{M_n} \cdot \frac{\omega_2^d - \omega_1^d}{M_{d1}^d - M_{d2}^d} \ell n \frac{M_{d1}^d}{M_{d2}^d} \quad (1)$$

bu ýerde :

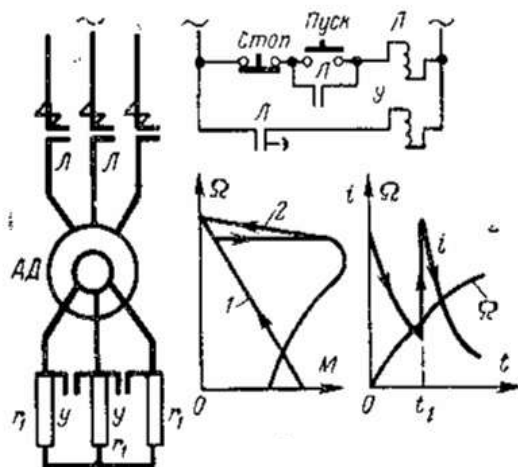
$\omega_{n1} M_d$ – tizligiň we momentiniň nominal bahalary;

M_{d1}, M_{d2} – dinamiki aýlaýjy momentler ;

$\omega_1^d, \omega_2^d, M_{d1}^d, M_{d2}^d$ - tizligiň we momentiniň otnositel bahalary;

J – inersiýa momenti.

Wagt saklanmasyny kesgitlänimizde apparatyň hususy wagtyňy hasaba almaly, sebäbi ol köplenç apparatyň öz wagty bilen ölçegdeş bolup bilýär.



9.1, a çyzgy.

9.1-nji, a çyzgyda wagt boýunça işleýän elektriki shemalaryň kysymly düwünleri görkeäilen. Ol ýerde baş zynjyryň bölegi we dolandyryjy shemanyň bir bölebi görkezilen. Işe goýberilýän faza rotorly asinhron dwigatel. Ol bir basgançakly shema boýunça işe goýberilýär.

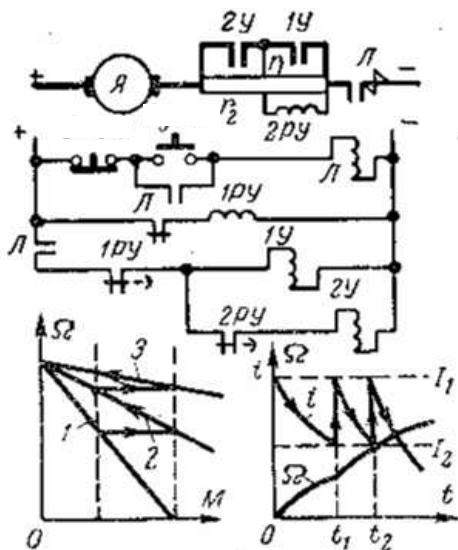
Naprýaženiýe berilenden soň baş shema we dolandyryjy shemalar birbada işlemeýärler.

Pusk knopkany basanymyzdan soň Л kontaktoryň tegeline naprýaženiýe berilýär. Ol işleýär we özüniň baş kontakty bilen statory sete birikdirýär. Ilki rotor zynjyrynda rezistor bar, sebäbi Y kontaktor entek birikdirilenok. Л kontaktoryň blokirlýji kontakty.

Pusk knopkany şuntirleýär, sondan soň bu kontakty basmak hökman däl. Л kontaktoryň birigen pursatyndan soň

dwigateliň işe goýberilmesi başlaýar. Kontaktora berkidilen maýatnikli wagt relisi wagty hasaplap başlaýar.

Wagt saklanmasy gutarandan soň rele özüniň açyk kontaktyny ýapýar. Bu bolsa «Y» kontaktoryň birikmesine getirýär. Kontaktor «y» işleýär we rezistory gysgaltýar. Dwigatel tizlenip, tebigi 2 häsiýetnamasyna çykýar.



9.1-nji, b çyzgy.

Bu ýerde baş zynjyra we dolandyryjy zynjyra naprýaženiýe berilýär. Çaltlandyryjy rele 1PY işleýär we öz açylýan kontakty bilen 1y we 2y kontaktorlaryň zynjyryny ýýmitiesiz goýýar. Olar işläp bilmeýärler.

«Pusk» knopkany basmaklyk PI kontaktora ýimit berýär, ol işleýär, ýakor synjyryndaky elementlere naprýaženiýe berýär. Şeýle-de ol «Pusk» knopkany öz blok-kontakty bilen şuntirleýär. Onuň ikinji blok-kontakty 1PY reläniň ýimitini aýyrýar. Bu rele goýberýär we özüniň goşmaga rontakty bilen

1Y we 2 Y kontaktorlaryň tegeklerine iýmit almak mümkinçiligini aýyrýar.

Pusk knopka basylandan soň JI kontaktor iýmit alýar we özüniň baş kontakty bilen dwigateliň ýakor zynjyryny naprýaženiýä birikdirýär. Şol bir wagtda-da ol özüniň ýapylýan blok-kontakty bilen Pusk knopkany şuntirleýär. Indi knopkany basmak hökman däl. JI kontaktor özüniň ikinji blok-konty bilen 1PY reläniň zynjyryny ýolýar. Dwigatel işläp başlaýar. Ol birinji goýberiş häsiýetnama boýunça tizlenýär. 2PY rele işleýär we özüniň açylýan kontaktyny açýar. Rele 1PY wagt saklanmasyny amala aşyrýar. Bu wagt gutarandan soň 1PY özüniň kontaktyny ýapýar, we 1Y kontaktora iýmit berýär. 1Y işleýär we birinji başgan reostatyny şuntirleýär. Şundan soň dwigatel ikinji häsiýetnama boýunça çaltlanýar.

Dwigateliň çaltlanmasy dowam edýär. Ikinji wagt relesi bolsa öz hasaplamaly wagtyny hasaplaýar. Bu reläniň tegegi kontaktoň tarapyndan şuntirlenen. Gerekli saklanmaly wagtyny hasaplap rele 2 PY öz kontaktyny ýapýar. Bu kontakt 2 PY kontaktoryň tegeginiň önünde durýar. 2 PY işleýär we goýbereji garşylygy şuntirleýär. Dwigatel 3 tebigy häsiýetnamada işläp başlaýar.

Olar ýokarda getirilen düwüniň işleme usulyňy göşmaça görkezýär. 1 PY reläniň goýalma wagty dwigateliň birinji emeli mehaniki häsiýetnamasy bilen 1 PY kontaktoryň hususy birikme wagtyňyň tapawudy ýaly kesgitlenýär.

$$t_{1py} = t_1 - 1_{1y.bir} \quad (2)$$

2 PY reläniň goýulma wagty hem şonuň ýaly hasaplanýar :

$$t_{2py} = t_2 - 1_{2y.bir} \quad (3)$$

Eger, mysal üçin $t_1=1,5s$, $t_2=0,8s$ kontaktoryň hususy birikme wagty $t_{1y.bir}=t_{2y.bir}=0,22s$ diýsek, onda

$$t_{1py} = 1,5 - 0,22 = 1,28s$$

$$t_{2py} = 0,8 - 0,22 = 0,58s$$

Berlen ýagdaýda 1PY rele hökmünde PƏ -800, PƏ -500 ýa-da PƏ-180, 2PY rele hökmünde PƏ -500 ýa-da PƏ-100 releler ulanylyp biliner.

Wagt prinsipiniň gowy taraplary diýip aşakdakylary getirip bolar :

1. Statiki garşylyk momentiniň täsiri ;
2. Inersiýa momentiniň täsiri ;
3. Setiň naprýaženiýesiniň täsiri ;
4. Goýberiji garşylyklaryň r_1 , T_2 we elektromagnit releleriň garşylyklarynyň r_{1py} , r_{2py} , täsiri.

Tutuş çyzyklar bilen mehaniki häsiýetnamalaryň hasaplanan bölekleri görkezilen, ol M_c statiki moment üçin gyrlandyr.

Eger statiki moment ulalsa we nominal bahasyna $M_{c1} = M_n$ bolsa, onda birinji emeli häsiýetnamada çltlanma ω_b , tizlige deň bolar. Ol aşakdaky formula boýunça hasaplanar :

$$\omega_{B1} = \omega_k (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \omega_{baş} e^{-\frac{t}{T_m}} = \omega_n \left[\omega_k^2 (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \omega_{baş}^2 e^{-\frac{t}{T_m}} \right], \quad (4)$$

bu ýerde:

ω_k , $\omega_{baş}$ – M_{c1} momentde berlen häsiýetnamada köşeşen we başlangyç tizlikler ;

t – wagt saklanmasy ;

T_m – berlen häsiýetnamada elektromehaniki wagt hemişeligi ;

$$T_M = J \frac{\omega_k - \omega_{boş}}{M_d} = \frac{J \cdot \omega_n}{M_n} \cdot \frac{\omega_k^d - \omega_{boş}}{M_{d1}^d} \quad (5)$$

Soňra tizlanma punktir –nokat çyzyk boýunça bolup geçýär. Bu gtafiki hasap grafigi bilen deňeşdirmek statiki moment ulalsa we öňki wagt saklanmalary üýtgemän galsa, moment bir az ulalar, şeýlelikde wagt öňki hasap wagt deňrāk bolup galar, ýagny M_{C1} .

Ýokarda getirilen formulalar inersiýa momentiniň üýtgemesiniň täsirini hem kesgitläp bolar. J inersiýanyň ulalmagy awtomatiki suratda dinamiki momentni ulalmasyna getirýär, keçelmesi bolsa, tersine, dinamiki mometiň keçelmesini getirýär.

Indi bolsa naprýaženiýäniň üýtgemeginiň baglanşyksyz we parallel oýandyryjyly dwigatelleriň işe goýberilme proseslerine täsirine serediliň. Eger naprýaženiýe 10% kiçelse, magnit protok polsa hemişelik galsa, onda boş işleme tizligi hem 10% kiçelýär, sebabi.

$$\omega_0 = \frac{u_s}{s\phi} \quad (6)$$

Dwigateliň mehaniki häsiýetnamalary punktir göni çyzyklar bilengörkezilen. Şol çyzgyda nominal naprýaženiýede häsiýetnamalar tutuş liniýalar bilen görkezilen. Bu ýagdaýda häsiýetnamalar dinamiki momentiniň kiçelmegi. Esasynda üýtgeýärler. Bu bolsa kiçi tizligi işe goýbermeklik. Öňki wagtda amala aşmak arkaly ýerine ýetirilýär. Şeýlelikde, naprýaženiýäniň üýtgemegi dinamiki momentni kiçilmegi arkaly amala aşýar.

Eger protok we setiň naprýaženiýesiniň üýtgemesi 10% kiçelse, onda ideal tizlik üýtgemeyär, dinamiki moment hem üýtgemeyär, ýöne tok ulalýar.

Faza rotorly asinhron dwogatel setiň naprýaženiýesi peselse moment aşakdaky deňlemä görä peselýär :

$$M = K_M \cdot u_s^2 \quad (7)$$

Bu ýagdaýda hemme emeli häsiýtnamalar sinhron tizligiň nokadyndan geçýärler. Bu tizlik bolsa üýtgemeyär, sebäbi setiň ýygylgy üýtgemeyär. Dinamiki momenttiň böküşleri kiçelýär, ýöne goýbermäniň söňunda awtomatiki suratda köpelýär we işe goýberme öňki wagtynda amala aşýar.

Reläniň tegeginin garşylykgynyň üýtgemesi awtomatiki işe goýberme prosesine täsir etmekligi ýa-da etmezligi ulanylýan reläniň görnüşinden bagly : ol köp ýa-da az bolup biler. Mysal üçin PӘ-100 kysymly dempersiz reläniň gyzmasy wagt saklanmasyna täsir edip duranok, sebäbi bu releriň magnitlendiriji güýji uly ähtyaçlyk çägi bar. Şoniň üçin umumy magnitlendiriji güýç 50% kiçilse bu reläniň magnit ulgamyndaky magnitlendiriji güýç 5% kiçelýär. PӘ-180 demperli reläniň gyzmasy wagt saklanmasyna uly täsir edýär, sebäbi bu releriň magnit ähtyazlygy örän kiçi. Şonuň üçin bu releleriň tegekleriniň gyzmasy sebäpli olaryň wagt saklanmasy gaty kiçilýär, dinamiki momentleri bolsa örän ulalýarlar.

Işe goýberiji garşylyklaryň gyzma wagty goýberme prosesine täsiri uly, aýratynam çayun elementlerden ýasalan garşylyklaryň gyzma sebäpli garşylygynyň üýtgemesi getirilen.

9.1-nji tablisa

Garşylygyň materialy	A (1 ⁰ C üýtgände)	% üýtgemesi
Konstantin	-000003	-0,9
Fehral	0,00008	+4
Nihrom	0,00017	+5,1
Çoýun	0,00100	+30,0

Bu tablisa gyzmanyň $\varepsilon = 0^0\text{C}$ $\tau = 300^0\text{C}$ çenli üýtgemegine degişli.

Eger işe goýberiji garşylyklaryň hasaby olaryň gyzmaklygyny hasaba almazdan geçirilen bolsa, onda sobuk ýagdaýdaky garşylyklaryň ulylyklary hasap diýip kabul ediliş biliner. Gyzdyrylan garşylyklarda dinamiki moment goýbermäniň başky pursatynda kişe;ýär, a goýbermäniň soňky pursatlarynda ulalýar we hasap bahasyndan geçýär.

Ýokarda bellenenler deň derejede goýberme, tormozlama we aýlaw ugryny üýtgetmekligi yzygiderli we garyşyk oýandyrylýan hemişelik toguň dwigatellerine degişli.

Wagt prinsipi dinamiki tormozlama üçin ulanyp bolýar.

Çyzgyda kysymly düwünleriň awtomatiki dolandyryjy bölegi görkeäilen. Bu düwün parallel oýandyryjyly hemişelik toguň dwigateli dolandyrmak üçin gerer. Bu düwünde dinamiki tomozlamak hem görkezilen. Bu suratda dinamiki tormozlama döwri mehaniki häsiýetnama, toamoz togumyň we tizligiň grafikleri getirilen.

Goý dwigatel köşeşen tiälik bilen hereket edýär diýeliň. Onda kontaktlar JI we Y birikdirilen we tormozlaýjy rele öz kontaktyny birikdirýär. Ýöne tormozlaýjy T kontaktoryň tegegi boýunça tok akmaýar, sebäbi JI kontaktoryň blok-kontakty açyk. Dinamiki tormozlamak üçin Stop knopka basýarys. Bu bolsa JI kontaktoryň öçmegine getirýär. Ol bolsa öz baş kontakty bilen dwogateli setden aýyrýar. JI kontaktoryň ýapylýan blok-kontakty reli PT tegeginiň aýrylmagyna getirýär. Bu rele wagt saklanmasyny amala aşyryp başlaýar. JI kontaktoryň açylýan kontakty T kontaktoryň tegegini birikdirýar. Ol işleýär we dwigateliň ýakoryny tormozlaýjy gatşylyga r_T birikdirýär.

Wagt prinsipi boýunça işe goýberme, tormozlama we ugruny üýtgetme goýberme wagtyň statiki moment setiň naprýaženiýesi üýtgände, şeýle-de tegigiň temperaturasy, goýberýän garşylyklar üýtgände-de hemişelik bolýar, usulyň ýönekeýligi we ygtybarlygy bolup durýar. Şeýle-de işe

goýbermek üçin birmeňzeş, seriýalaýyn goýberiji releleriň ulanylmagy bolup durýar. Şonuň üçin bu usul gir ýaýran usuldyr.

Usulyň kemçiligi bu işe goýberilýän wagty toguň uly üýtgemesi bolup durýar.

10. Tizlik prinsipi boýunça elektrodwigatelleriň işe goýbermek we tormozlama düwünleri

Tizlik prinsipi boýunça dolandyрма tizligi ölçeýji abzal bilen amala aşyrylýar,soňra bolsa ol beýleki dolandyryjy apparata täsir edýär. Tizligi merkezden goçma prinsipiň ulanýan relýzniň kömegi bilen gýzegçilik edip bolýar. Ýöne bu usul praktikada örän az ulanylýar, sebäbi bu releleriň konstruksiyasy örän çylşyrymly bolýar, şonuň üçin onuň bahasy ýokary bolýar, olaryň takyklygy pes, ygtybarlygy ýeterlik däl. Tizligi elektriki usul boýunça hem ölgäp bolýar, mysal üçin tahogeneratoryň kömegi bilen. Tahogenerator dwigateliň oky bilen birikdirilýär. Ýöne bu wariant hem ykdysady nukdaý nazardan pes görkezijili bolýar, onuň ygtybarlygy pes bolýar. Şeýle shemalarda hemişelik toguň dwigatelleri üçin e.h.g. ölçemek bilen, üýtgeýän toguň dwogateli üçin ölçemek arkaly.

Hemişelik toguň e.h.g. ölçemek aşakdaky üýtgeýän bolsa, onda onuň tizligi bilen e.h.g. bir-birine göni proporsionaldyr.

Kontaktoryň tegegini ýa-da çaltlandyryjy reläniň tegegini ýaloryň naprýaženiýesi birikdirilýär. Onuň nahasy belli sektlerde e.h.g. ýakow sarymyna düşýän naprýaženiýäniň ululygyna tapawutlanýar naprýaženiýäniň belli bahalarynda uzlyy- uzyna çaltlandyryjy kontaktor işleýärler we goýberiji garşylygyň basgançaklaryny şuntirleýärler. 10.1-nji çyzgyda boýunça işleýän düwüni görkezilen.

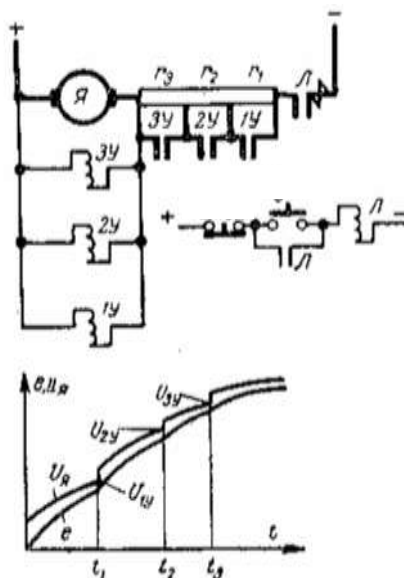
Çaltlandyryjy kontaktorlaryň her birişi naprýaženiýäniň belli bir bahasynda gurnalandyr. Dwigateliň işe goýberilemesi çyzykly kontar II birikmesinden soň başlaýar. İşe goýbermäniň

başynda kontaktoryň tegeginde naprýaženiýe az we ýakora düşýän naprýaženiýä deňdir. Tizligiň ulalmagy bilen elektrodwigateliň e.h.g. hem ulalýar. Belli bir tizlikde ω , 1Y kontaktoryň tegesinde naprýaženiýe deňdir :

$$u_{1y} = c_1 \omega_1 + I_a r_{ya} \quad (1)$$

Eger bu naprýaženiýe kontaktoryň çekip bilýan naprýaženiýesine deň bolsa, onda 1Y kontaktor birinji basgançagy r_1 şuntirleýär.

Şu yzygiderlikde ikinji we üçünji basgançaklaryň şuntirlenmesi bolup geçýär. Olara ω_2 we ω_3 tizlikler degişlidirler. Ähli basgançaklar şuntirlenenden soň işe goýberme tamamlanýar we dwigatel tebigy häsiýetnamasynda işleýär.



10.1-nji çyzgy.

10.1-nji çyzgy görkezilen düwüniň artykmaçlygy onuň ýönekeýlegi we arzanlygydyr. Sebäbi bu düwünde rele ýokdur. Ýetmezçiligi bolsa, dwigatel dürli 'ertlerde işe goýberilýär, ýagny, tizlikler üýtgeýänligi üçin garşylyklar dürli temperaturalarda şuntirlenýärler. Mysal üçin, tegekleriň garşyleklary gyrgyzm we sowuk ýagdaýlarynda bir-birine gatnaşyklary aşaklary ýaly bolýar. 100% we $100(1+2\varepsilon)\%$. Eger $t=0^{\circ}\text{C}$ we $\tau=50^{\circ}\text{C}$ bolanda

$$\frac{100(1 + \alpha \tau)\%}{100\%} = \frac{120}{100}$$

Bu bolsa, 120°C bolandaky tegegiň garşylygy uly bolýar, şonuň üçin bu temperaturada tiizlik uly bolýar.

Ikinjiden basgançaklar gysgaldylanda toguň bökmesi uly bolýar.

Üçünjiden, bu usulda tegekleriň ýakory çekýän naprýaženiýesi dürli bolýar. Bu bolsa çekme naprýaženiýesiniň bahasyny sazlamagy talap edýär.

11. Birinji derejeli zwenolar

Inersion zweni. Awtomatiki dolandyrylýan ulgamda iň köp ýaýran zweni- bu inersion zwenodur. Inersion zweni aşakdaky deňleme bilen ýazylýar :

$$y + T \frac{dy}{dt} = k \cdot x \quad (1)$$

bu ýerde: k – zwenonyň güýçlendiriji koeffisiýentiň ;
 T – zwenonyň wagt hemişseligi.

Inersion zwenonyň kompleks güýçendiriş koeffisiýenti

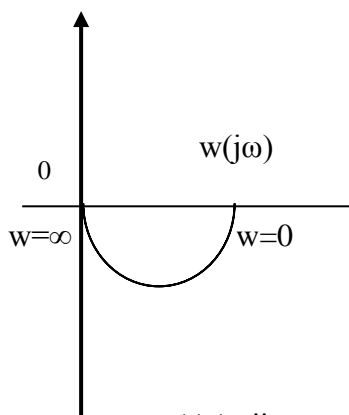
$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{x(j\omega)} = \frac{k}{1 + j\omega T} \quad (2)$$

Zwenonyň ýygylýk häsiýetnamalary :

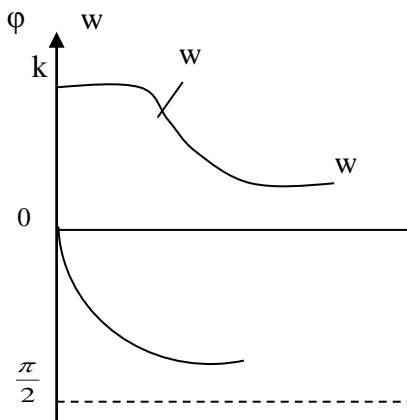
$$W(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} \quad (3)$$

$$\varphi(\omega) = -\arg t \omega T \quad (4)$$

Bu häsiýetnamalar 11.1-nji, 11.2-nji çyzgyda görkezilen.



11.1-nji çyzgy.

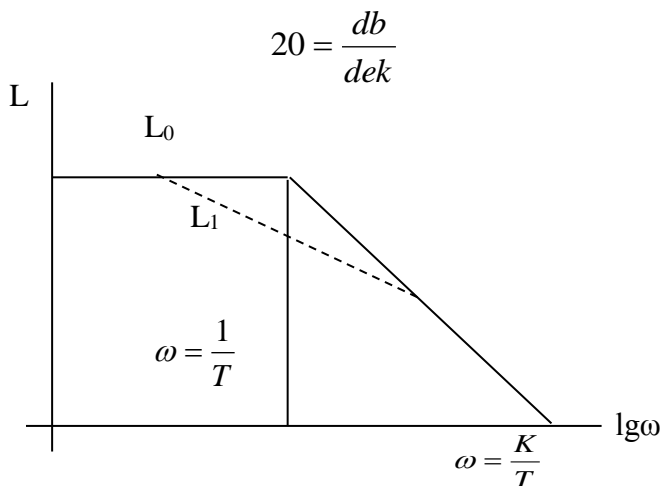


11.2-nji çyzgy.

Zwenonyň logaritmiki amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy aşakdaky ýaly bolýar :

$$L(\omega) = 20 \lg W = 20 \lg k - 10 \lg [1 + (\omega T)^2] \quad (5)$$

(5) deňlemäniň grafigi 11.3-nji çyzgyda görkezilen



11.3-nji çyzgy.

Inersion zwenonyň beriş funksiýasy :

$$W(p) = \frac{k}{1 + pT} \quad (6)$$

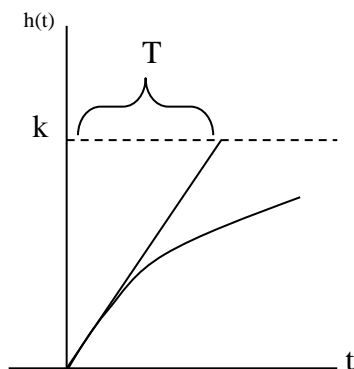
Inersion zwenonyň geçiş funksiýasy :

$$h(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \cdot 10(t) \quad (7)$$

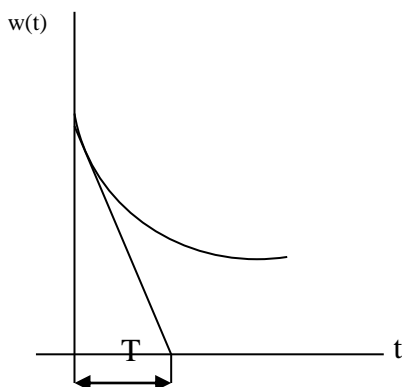
Inersion zwenonyň agram funksiýasy :

$$w(t) = \frac{k}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1_0(t) \quad (8)$$

Geçiş we agram funksiýalary grafikleri aşakdaky ýaly :



11.4-nji çyzgy.



11.5-nji çyzgy.

11.1. Forsirleýji zweno

$$y = k(x + T \frac{dx}{dt}) \quad (1)$$

deňleme bilen ýazylýan zweno forsirleýji zweno diýilýär. Şeýle zweno proforsional we differensirleýji ýa-da inersion zwenolaryň parallel birikdirmeleriniň esasynda alnyp biliner.

Forsirleýji zwenonyň esasy häsiýetnamalary aşakdaky ýaly bolýarlar :

güýçlendirmäniň kompleks koeffisiýenti :

$$W(j\omega) = k(1 + j\omega T) ; \quad (2)$$

$$W(\omega) = k\sqrt{1 + (\omega T)^2} ; \quad (3)$$

faza – ýygylýk häsiýetnamasy :

$$\varphi(\omega) = \arctg \omega T ; \quad (4)$$

Logaritmiki – ýygylyk häsiýetnamasy :

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg k + 10 \cdot \lg [1 + (\omega T)^2] ;$$

Beriş funksiýasy :

$$W(p) = k(1 + pT) ; \quad (5)$$

Geçiş funksiýasy :

$$h(t) = k \cdot I_0(t) + k \cdot T \cdot \delta(t) \quad (6)$$

Agram funksiýasy :

$$w(t) = k \cdot \delta(t) + k \cdot T \delta'(t) \quad (7)$$

Inersion-differensirleýji zveno

$$y + T \frac{dy}{dt} = k \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

deňleme bilen ýazylýan zveno hakyky-differensirleýji ýa-da inersion-differensirleýji zveno diýilýär. Zwenonyň esasy häsiýetnamalary aşakdaky ýaly.

Kompleks güýçleniriş koeffisiýenti :

$$w(j\omega) = \frac{k \cdot j\omega}{1 + j\omega \cdot T} \quad (9)$$

Amplituda – ýygylyk häsiýetnamasy:

$$W(\omega) = \frac{k \cdot \omega}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} \quad (10)$$

faza-ýygýlyk häsiýetnamasy :

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg \omega T \quad (11)$$

Logaritmiki – ýygýlyk häsiýetnamasy

$$L(\omega) = 20 \lg k \cdot \omega - 10 \lg [1 + (\omega T)^2] \quad (12)$$

Beriş funksiýasy :

$$W(\rho) = \frac{k \cdot p}{1 + pT} \quad (13)$$

Geçiş funksiýasy :

$$h(t) = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1_0(t) \quad (14)$$

Agram funksiýasy

$$w(t) = \frac{k}{T} \delta(t) - \frac{k}{T^2} e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1_0(t) \quad (15)$$

12. Inersion-forsirleýji zweno

$$y + T \frac{dy}{dt} = k(x + T_0 \frac{dx}{dt}), \quad (1)$$

deňleme bilen ýazylýan zweno inersion – forsirleýji zweno diýilýär. Şeýle zweno kä halatlarda maýyşgak hem diýilýär.

Zwenonyň esasy häsiýetnamalary aşakdaky ýaly bolýarlar.

Kompleks güýçlendiriş koeffisienti

$$W(j\omega) = \frac{k(1 + j\omega T_0)}{1 + j\omega T} \quad (2)$$

Beriş funksiýasy :

$$W(\rho) = K \frac{1 + pT_0}{1 + pT} \quad (3)$$

Geçiş funksiýasy :

$$h(t) = k \left[1 + (\tau - 1)e^{-\frac{t}{T}} \right] \cdot 1_0(t) \quad (4)$$

Agram funksiýasy :

$$w(t) = \frac{k}{T} (1 - \tau)e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1_0(t) + k\tau\delta(t) \quad (5)$$

Bu formulalarda $\tau = \frac{T_0}{T}$

12.1. Yrgyldyly zwenó

Yzgyldyly zwenó ikinji derejeli deňleme bilen ýazylýar:

$$y + 2\xi \cdot T \frac{dy}{dt} + T^2 \frac{d^2 y}{d + 2} = k \cdot x, \quad (6)$$

bu ýerde: ξ – sönme derejesi. Bu zwenonyň häsiýetlendiriji deňlemesi aşakdaky ýaly bolýar :

$$1 + 2\xi pT + (pT)^2 = 0 \quad (7)$$

Yrgyldyly zwenonyň wagt hemişeligi T onuň rezonans ýygylýgy bilen aşakdaky baglanşykda bolýar :

$$T = \frac{1}{\omega_0} \quad (8)$$

ýa-da

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (9)$$

Kä halatlarda (6) deňlemäni aşakdaky ýaly hem ýazýarlar :

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{dy}{dt} + y \cdot \omega_0^2 = k_1 x \quad (10)$$

bu ýerde:

$$k_1 = k \cdot \omega_0^2$$

Yrgyldyly zwenonyň kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti aşakdaky ýaly ýazylýar :

$$w(j\omega) = \frac{k}{1 + 2\xi j\omega T + (j\omega T)^2} \quad (11)$$

Beriş funksiýasy :

$$w(p) = \frac{k}{1 + 2\xi pT + (pT)^2} \quad (12)$$

Geçiş funksiýasy

$$h(t) = k \cdot 1_0(t) \left[1 - e^{-\beta t} \left(\cos \omega_1 t + \frac{\beta}{\omega_1} \cdot \sin \omega_1 t \right) \right] \quad (13)$$

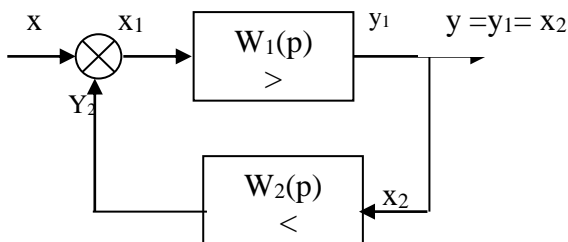
Agram funksiýasy :

$$\omega(t) = \frac{k\omega_0^2}{\omega_1} \cdot 1_0(t) e^{-\beta t} \cdot \sin \omega_1 t \quad (14)$$

13. Zwenolaryň garşykläýyn-parallel birikdirilmen

Iki zwenonyň garşykläýyn-parallel birikdirmesi diýip birinji zwenonyň çykýan signalynyň ikinji zwenonyň girelgesine, ikinji zwenonyň bolsa çykýan signalynyň belli bir alamat bilen umumy girýän signal bilen jemlenmegine we bu signalyň birinji zwenonyň girilgesine berilmegine aýdylýar.

Umumy çykýan signal bolup bolsa birinji zwenonyň çykýan signaly kabul edilýär.



13.1-nji çyzgy.

Berilýän signalyň ugry umumy signalyň ugry bilen gabat gelýän zwenogöni baglanşykly zwenodiyilýär. Umumy signalyň ugrunyň garşyşyna ugrukdyrylan zwenogters baglanşykly zwenosy diyilýär.

Eger signalyň alamaty umumy signalyň ugry bilen gabat gelýän bolsa, onda oňapolojitel ters baglanşykly diyilýär. Eger ters baglanşygyň signaly umumy signaldan aýrylýän bolsa, onda oňatrisarel ters baglanşykly diyilýär.

Garşelekläýyn-parallel birikdirmedegöni we ters baglanşyklaryň zwenolary yzygider birikdirilýärler, ýagny olarypyk kontury emele getirýärler. Daşky signal birinji we ikinji zwenolaryň umumy nokadyna parallel berilýär.

Garşylyklaýyn-parallel birikdirmäniň deňlemeleri aşakdaky görnüşde bolýarlar :

1. Girişiň deňlemesi :

a) $x_1 = x + y_2$ – polojitel ters baglanşykda (1)

b) $x_1 = x - y_2$ – otnositel ters baglanşykda (2)

2. Çykalganyň deňlemeleri :

$$y = y_1 = x_2 \quad (3)$$

Yrgyldylar nazarynda diňe polojitel ters baglanşyk ulanylýar.

Dolandyrma we sazlama nazarynda köplenç otrisatel ters baglanşyk ulanylýar. Şu indiden beýläk kabul ediljekdir (2) 23 (3) deňlemeleri göz önünde tutup we aşakdakylary hasaba alyp :

$$Y(p) = W(p) \cdot x(p); Y_1(p) = W_1(p) \cdot x_1(p); Y_2(p) = W_2(p) x_2(p)$$

taparys :

$$x_1(p) = \frac{Y(p)}{W_1(p)} = x(p) - W_2(p) \cdot Y(p)$$

Bu ýerden

$$Y(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)} \cdot x(p), \quad (4)$$

ýa-da

$$W(p) = \frac{Y(p)}{x(p)} = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)} \quad (5)$$

Drob-resional beriş funksiýaly zwenolar üçin

$$W_1(p) = \frac{k_1(p)}{D_1(p)} \quad we \quad W_2(p) = \frac{k_2(p)}{D_2(p)}$$

onda (5) deňleme aşakdaky ýaly hem ýazylyp biliner :

$$W(p) = \frac{k_1(p) \cdot D_2(p)}{k_1(p) \cdot k_2(p) + D_1(p) \cdot D_2(p)} \quad (6)$$

Bu deňlemeden aşakdaky netiýä gelmek bolar. $W(p)$ beriş funksiýanyň nullary $W_1(p)$ funksiýanyň nullary we $W_2(p)$ funksiýanyň polýuslary bilen gabat gelýär.

Ýöne $W(p)$ funksiýanyň polýuslary $W_1(p)$ we $W_2(p)$ funksiýalaryň polýuslaryndan tapawutly bolýar. Şeýlelikde, durnukly zwenolar garşylyklaýyn – parallel birikdirilende durnukly däl ulgamy döredip biler. Tersine, zwenolaryň arasynda durnuksyzy ber hem bolsa, bu birikdirmede ulgam durnukly bolup biler.

Girýän signal garmoniki bolanda güýçlendirmäniň kompleks koeffisiýenti :

$$W(j\omega) = \frac{W_1(j\omega)}{1 + W_1(j\omega) \cdot W_2(j\omega)} \quad (7)$$

Eger ters baglanşyk zynjyry proporsional zwenó bolsa, onda ters baglanşyga gaty ýa-da proporsional diýilýär.

Eger ters baglanşygyň zynjyry differensirleýji zwenó bolsa, onda ters baglanşyga çäýe ýa-da differensirleýji diýilýär.

Eger ters baglanşygyň zynjyry integrirleýji bolsa, onda oňa integrirleýji diýilýär.

14. Awtomatiki sazlanýan ulgamlaryň durnuklylygy

Meseläniň goýluşy

Öň zwenolar seredenimizde olar durnukly, durnuksyz we neýtral bolup bilýärler diýipdik. Bu düşünje ulgam üçin hem öz güýjünde galýar.

Durnukly däl obpekt durnukly awtomatiki dolandyrylýän ulgamyň düzümine girip biler. Muňa emeli durnuklylyk diýilýär. Durnuksyz ulgam ulanylyp bilinmez, şonuň üçin gönüçyzykly ulgamyň iş başarjaňlygynyň birinji şerti, bu onuň durnukly bolmagydyr.

Öň belläp geçişimiz ýaly gönüçyzykly ulgamyň durnukly bolmagynyň hökmany we ýetirlik şerti onuň beriş funksiýasynyň polýusynyň hakyky bölekleriniň otrisatel bolmagydyr.

Ýazdyrylan ulgam üçin

$$W_Y(p) = \frac{k(p)}{D(p)}, \quad (1)$$

bu ýerde: $k(p)$, $D(p)$ ululykda polinomlar. Eger maýdalawjyny nula deňleseň onda ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesini alarys :

$$D(p) = 0 \quad (2)$$

(2) deňlemäniň kökleriniň hakyky böleginiň otrisatelligi ýazdyrylan ulgamyň durnuklylygyny aňladýar.

Ýazdyrylmadyr ulgamyň beriş funksiýasy ýazdyrylan ulgamyny beriş funksiýasynyň üsti bilen aşakdaky ýaly aňladylýar :

$$W_Y d(p) = \frac{W_Y(p)}{1 + W_Y(p)} \quad (3)$$

(1) deňlemäni (3) goýup taparys :

$$W_Y d(p) = \frac{k(p)}{D(p) + k(p)} \quad (4)$$

Ýazdyrylmadyk ulgamyň durnuklylygyň şerti aşakdaky deňlemeden tapylýar :

$$D(p) + k(p) = 0 \quad (5)$$

Häsiýetlendiriji deňlemeleriň derejesi 4-den uly bolmasa, olary-çözüp bolýar. Emma bu deňlemeleriň derejesi 4-den uly bolsa, onda olary analitik usuly bilen çözüp bolmaýar we olaryň köklerini tapyp bolmaýar.

Deňlemäniň köklerini tapmak hökman hem däl. Olaryň alamatlary barada kökleriň kompleks tekizlikde nähili ýerleşýändigini bilmeklik ýetirlikdir. Kökleriň hyýaly oka görä nähili ýerleşýändigini kesgitleýän düzgün durnuklylyk kriterileri diýilýär.

Kriteriler köp. Olaryň hemmesi bir-birini bilen ekwiwalent. Olar kökleriň hyýaly okdan çep tarapda ýerleşýändigini ýa-da dældigini kesgitleýärler. Haýsy kriterini saýlap almalydygy meseläniň häsiýetinden bagly bolýar.

Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar üçin esasy ulanylýan kriteriler aşakdakylar :

1. Algebraiki kriteriler :
 - a) Rausyň ; b) Gurwisyň.
2. Ýygylyk kriterileri :
 - a) Mihaýlaryň ; b) Naýkwiston

Algebraiki kriterilel.

Häsiýetlendiriji deňlemäniň köklerini tapmazdan olaryň arasynda položitel hakyky ýa-da položitel hakyky bölekli kökün bardygyny barlamaklyk üçin köplenç algebraik kriteriler ulanylýar. Bu kriterileriň ilkinjisi 1860 ýylda rus alymy Byşnegradskiý I.A. tarapyndan berildi. Soňra algebraik kriteriniň täze görnüşiniň Raus we Gurwis tapdylar .Olaryň kriterileri manysy boýunça meňzrş, emma Gurwisiň kriterisi ulanmak üçin aňsat. Şonuň üçin şoňa seretmek bilen çäkleneliň.

15. Gurwisiň kriterisi

Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesine seredeliň:

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0 \quad (1)$$

Bu deňlemäniň koeffisiýentlerinden aşakdaky tablisany düzeliň :

a_{n-1}	a_{n-3}	$a_{n-5} \dots \dots \dots$
a_n	a_{n-2}	$a_{n-4} \dots \dots \dots$
0	a_n	$a_{n-2} \dots \dots \dots$
0	0	$a_{n-1} \dots \dots \dots$
		⋮
0.....		$a_4 \ a_2 \ a_0$

Bu tablisa Gurwisiň tablisasy diýilýär. Tablisanyň doldurylyşy şeýle. a_{n-1} çlenden başlap, a_0 bilen gutaryp tablisanyň baş diagonalyny doldurýarys. Soňra baş diagonaldan sag tarapa setirleriň indiki çleniniň indeksiniň öňki elementinkide 2- ýazyp setirleri doldurýarys. Baş diagonaldan sag tarapa setirleri her indiki elementiň indeksini 2-ä köpeldip, setirleri doldurýarys. Eger deňlemäniň derejesi n bolsa, onda n -den uly indeksli elementiň we 0-dan kiçi indeksli elementiň ýerine nol ýazýarys.

Indi Gurwisiň kriterisi aşakdaky ýaly formulirlenýär. Ulgamyň, durnukly bolmagy üçin aşakdaky hökmany we ýetirlik şertler ýerine ýetmeli :

1. Häsiýetlendiriji deňlemäniň ähli koeffisiýentleri položitel bolmaly :

$$a_n > 0; \quad \Delta_1 = a_{n-1} > 0; \quad \Delta_2 = \left| \frac{a_{n-1} a_{n-3}}{a_n a_{n-2}} \right| > 0 \dots\dots\dots$$

$$\Delta_{n-1} > 0; \quad \Delta_n > 0$$

Eger häsiýetlendiriji deňleme 1-nji we 2-nji derejeli bolsa, onda durnuklylyk üçin bu deňlemeleriň koeffisiýentleriniň položitel bolmagy ýeterlikdir.

15.1. Mihaýlowyň kriterisi

Ýygylýk kriterileriniň esasynda funksiýalar teoriýasynda belli bolan argument prinsipi ýatyr.

Goý, hakyky koeffisiýentli : algebraik deňleme berlen bolsun :

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots\dots\dots + a_1 p + a_0 = 0 \quad (2)$$

Bu köpçleni aşakdaky görnüşde ýazyp bolar :

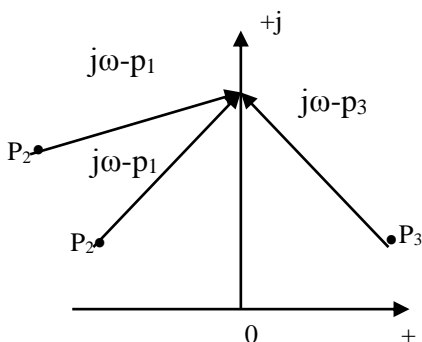
$$A(p) = a_n (p - p_1)(p - p_2) \dots\dots (p - p_n) \quad (3)$$

bu ýerde : P_1, P_2, \dots, P_n - (1) deňlemäniň kökleri.

$P = j\omega$ diýip çalşalyň, onda

$$A(j\omega) = a_n (j\omega - p_1)(j\omega - p_2) \dots\dots (j\omega - p_n) \quad (4)$$

p kompleks tekizlikde $(j\omega - p_i)$ kompleks sanyny geometriki ýerleşişine seredeliň. Bu kompleksi şekillendirýän wektoryň başlangyjy p_i nokatda ýatyr, soňy bolsa haýýaly okda $j\omega$ nokatda ýerleşýär.



15.1.1-nji çyzgy.

Kompleks sanyň argumentini tapalyň :

$$\arg A(j\omega) = \sum_{i=1}^n \arg(j\omega - p_i) \quad (5)$$

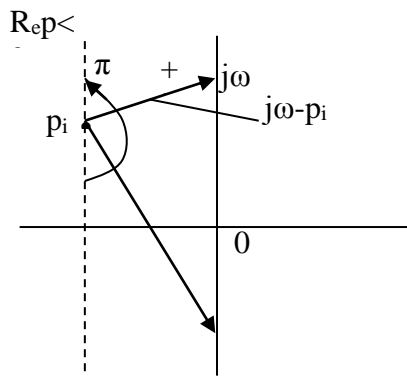
ω sanyň $-\infty$ – deň $+\infty$ – e çenli üýtgäninde argumentiň üýtgemesi

$$\Delta \arg A(j\omega) = \sum_{i=1}^n \arg(j\omega - p_i) \quad (6)$$

(6) deňligi görä argumentiň üýtgemesini hasaplamak üçin $(j\omega - p_i)$ görnüşli aňlatmanyň argumentiniň üýtgemeginiň jemini hasaplamaly. Argumentiň bu üýtgemesi p_i köküň haýsy ýarym tekizlikde ýerleşýändiginden bagly.

Iki ýagdaýa seredeliň :

1. p_i kök çep ýarym tekizlikde ýerleşen.



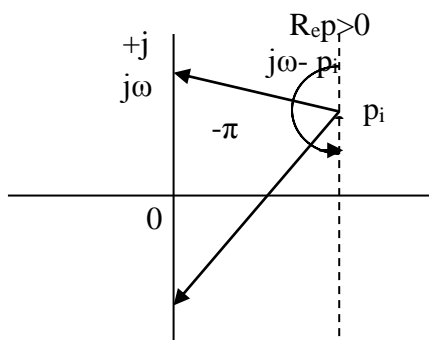
15.1.2-nji çyzgy.

Ýygylýk $\omega - \infty$ – deň $+\infty$ – e çenli üýtgände $(j\omega - p_i)$ wektoryň soňy haýýaly oky aşakdan ýokary typyp geçýän. Şol wagtda-da ol sagat strelkanyň aýlanmasynyň tersine 180° aýlanýar. Bu ýagdaýda argumentiň üýtgemesi :

$$\Delta \arg (j\omega - p_i) = +\pi \quad (7)$$

$$-\infty < \omega < +\infty$$

2. p_i kök sag ýarym tekizlikde ýerleşen .



15.1.3-nji çyzgy.

$$\begin{aligned} \text{Öňkä görä q} \\ \Delta \arg(j\omega - p_i) = -\pi \\ -\infty < \omega < +\infty \end{aligned} \quad (8)$$

Bu ýagdaýda $(j\omega - p_i)$ wektoryň soňy ýokardan aşak typyp gidýär. Sol bir wagtda ol sagat strelkasynyň aýlanmagynyň tersine 180° aýlanýar.

Eger $A(p)=0$ deňleme sag ýarymtekizlikde m köki bar bolsa, çep ýarymtekizlikde l köki saklaýan bolsa, onda

$$\Delta \arg A(j\omega) = \pi(\ell - m) = (n - 2m)\pi \quad (9)$$

(9) deňlemä argumentler prinsipini dürýär : ω ýygylýk $-\infty < -$ den $+\infty <$ çenli üýtgeşe argumentiň üýtgemesi ℓ we m kökleriň tapawudyny π sana köneltmäge deňdir.

16. Dolandyрма prosesiniň hili we ony derňewligiň göni usullary

Hil derejeleriň

Awtomatiki dolandyryjy ulgamyň dyrnyklylygy-gerekli, emme ýetirlik däl şertdir. Sebäbi durnukly ulgam dürli täsirleri işlände ýetirlik takyk bolmaýar, geçiş prosesleri haýal sonýar, talap edilýän çykan ululyk endigan üýtgemeyär. Umuman awtomatiki dolandyрма gowy ýetine ýetmeyär.

Ulgamyň özüni alyp barşyny durnukly we köşeşen düzgünlerde häsiýetlendirýän talaplaryňtoplumyna dolandyрма prosesiniň hili hölmünde seredýärler.

Dolandyрма prosesiniň analiz meselesi bu ulgamyň strukturasy we onuň parametrleriniň dolandyрма prosesine we ony parametrlerine, dolandyrmanyň hiline edýän täsiri bilen häsiýetlendirilýär.

Dolandyрма ulgamynyň parametrleriniň we strukturasynyň saýlanyp alnyşy hil görkezijileriniň alnyşyny tapmak sintez meselesi bolup durýar.

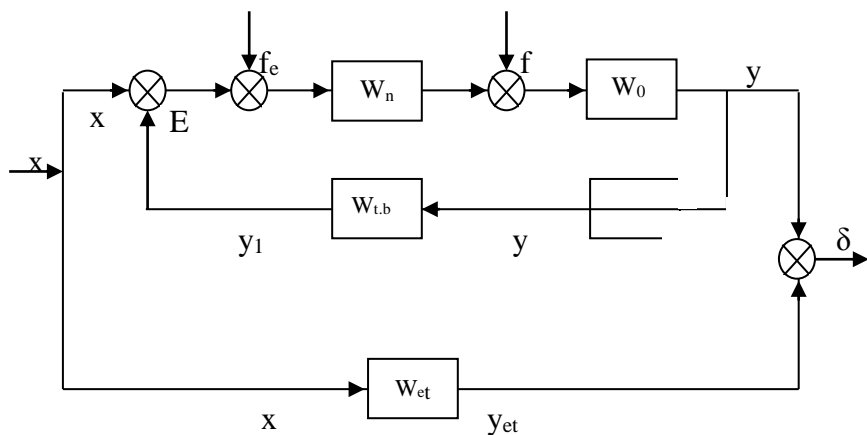
Durnukly ulgamda dolandyрма prosesine seredeliň. Durmuşda düş gelýän ýa-da ulganyň düzgünini uly bozýan täsirleri önünden belli düzgünler bilen çalşalyň. Şonuň üçin täsirleri tepli (kysymly) diýip atlandyralyň.

Köplenç ýagdaýlarda beýle täsirleri standart tädirler bilen çalşalyň ; mysal üçin ýekleýin impulsy, ýekeleýin döküş, ýekeleýin hemişelik tizlikdäki signal ýa-da garmoniki signal.

Bu standart ýagdaý;ar üçin geçiş prosesleriniň hil görkezijilerini kesgitlemek işläp düzülen.

Programmaly dolandyrmak üçin ulgamyň erkin signal täsirini tapmak üçin bu signal derejeli hatar bilen çalşylýar.

16.1-nji çyzgyda görkezilen struktura shema seredeliň.



16.1-nji çyzgy.

W_e beriş funksiýaly SAR-ň dolandyryjy signal x we bozujy güýç f täsir edýär. W_e beriş funksiýa dolandyryjy obýekt W_0 , dolandyryjy gurnama W_n we ters baglanşyk zynjyrynda $W_{t.b.}$ beriş funksiýaladyndan durýar.

Işlemek hili tipli signallar x we f boýunça çykalga täsir edýän düzüji y ýa-da ulgamyň ýalňyşlygy $\delta(t)$ boýunça bahalanýar δ signal realulgamyň çykalgasy bilen haýsam bolsa bir ideal etalon ulgamyň W_{et} çykalgasynyň arasyndaky ýalňyşlyk.

$$\delta = y_{et} - y \quad (1)$$

16.1-nji çyzgy görä

$$\begin{aligned} \Delta(p) &= W_{et} \cdot x \cdot W_3 \cdot x - W_f \cdot F = \left[W_{et} - \frac{W_{II} \cdot W_0}{1 + W_{II} \cdot W_0 \cdot W_{t1}} \right] \cdot x - \frac{W_0}{1 + W_{II} \cdot W_0 \cdot W_{t1}} F = \\ &= W_{\delta} \cdot x - W_f \cdot F \end{aligned} \quad (2)$$

Etalon beriş funksiýasy $x(t)$ signaly talap edilýän $y(t)$ signala gabat gelmeli. Ideal ulgam üçin $y(t)$ $x(t)$ signala deň, şonuň üçin $W_{et}(p)=1$. Koniýa ediji ulgamda $W_{et}(0)=k$.

Diýmek $W_{ef} = \frac{1}{Top}$. Eger ulgamyň bozulma reaksiýasy

$W_{et}=0$, sebäbi $y=\varepsilon=0$, şonuň üçin $x(t)=f(t)$.

Ulgama beýle ýokarlandyrylan talaplar mydama amala aşyryp bolmajak netiýä getirýar. Sebäbi beýle talapda $W(p) \rightarrow 1$ we tükeniksiz kuwwatly ulgam döretmek talap edilýär. Şeýle düşüňjeler etalon ulgamy optimal ulgam bilen çalyş maklyga getirýär.

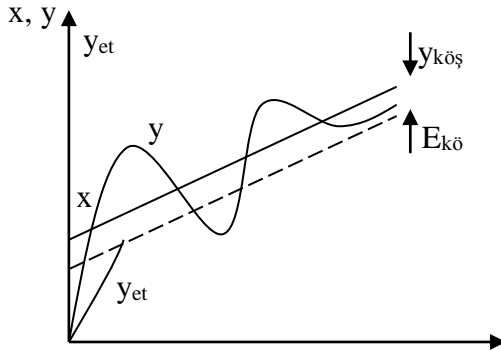
Dolandyryjy signal x bilen ulgamyň çykalgasyndaky signalyň y arasyndaky tapawut gabat gelmezik bolýar :

$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t) \quad (3)$$

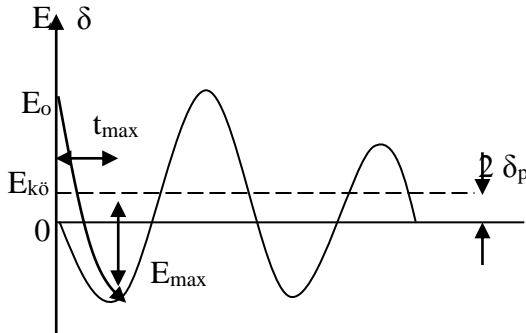
16. 1-nji çyzgy laýyklykda

$$E(p) = [1 - W_e] \cdot x - W_f \cdot F = (1 - \frac{W_{II} \cdot W_0}{1 + W_{II} \cdot W_0 \cdot W_{tb}} x - \frac{W_0}{1 + W_{II} \cdot W_0 \cdot W_{tb}} F = W_{\Sigma} \cdot x - W_f F \quad (4)$$

16.2-nji, a,b, çyzgylarda ideal we real ulgamlar tarapyndan $x(t)$ signaly we $\delta(t)$ ýa-da $\varepsilon(t)$ signallary işlemek görkezilen $y(t)$ hökmünde tekiz funksiýa kabul edilen.



16.2-nji, a çyzgy.



16.2-nji, b çyzgy.

Bu prosesin esasy görkezijileri :

1. Köşeşenýalňyşlyk prosesin takyklygyny kesgitleýär

$$\varepsilon_{köş}(t) = e_{Om} \varepsilon(t) \quad (5)$$

$t \rightarrow \infty$

Görkezilen ýagaýda $\varepsilon_{köş} = \text{const}$

2. Sazlama wagty t_p aşakdajy ýaly kesgitlenýär :

$$|\varepsilon(t) - \varepsilon_{köş}| \leq \delta_p, \quad t \geq t_p \quad (6)$$

bu ýerde: δ_p – oňden belli baha, ol ulgamyň takyklygy bilen kesgitlenýär.

3. Maksimal täzeden sazlanma ε_m ; ol 4 we 5 punktlar bilen sazlamanyň endiganlygyny kesgitleýär. Ol $y(t)$ signalyň in uly bahasy bilen kesgitlenýär. Köplenç onuň otnositel bahasyny ulanýarlar :

$$\delta = \frac{\varepsilon_m}{y_0} 100\%$$

bu ýerde: y_0 – haýsam bolsa bir baza bahasy.

4. Gaýtadan sazlamagyň maksimal wagty t_m

$$\varepsilon(t_M) = \varepsilon_m \quad (7)$$

1. Gaýtadan sazlamagyň sany N $0 < t < t_p$ öte yzgyldylar bilen kesgitlenýär :

$$\varepsilon_{köş} - \varepsilon_m > \delta > 0 \quad (8)$$

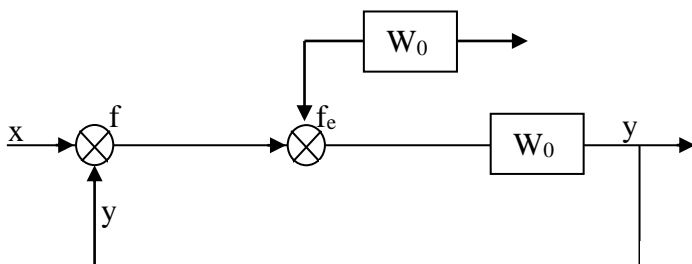
Birinji üç görkeziji ulgamyň sazlanýan döwri çykýan we gerýän signallaryň tapawudynyň zonasyny görkezýär. Bu zonanyň araçäkleri suratda ştrihlenendir.

Şu hili görkezijilen bilen ulgamyň çykalgasynyň $y(t)$ boýunça hilini ýa-da ýalňyşlyk $\delta(t)$ boýunça hilini kesgitlep bolýar.

Eger derňew döwri etalon hökmünde $W_{et}=1$ we $W_{t,b}=1$ diýip kabul edilen bolsa, onda :

$$\varepsilon(t) = \delta(t) \quad (9)$$

ulgamyň ýalňyşy onuň gabat gelmezligi bilen gabat gelýär we 1 suratdaky shema 16.3-nji çyzgydaky shema bilen aňladylyp biliner. Şonuň üçin köplenç ýalňyşlyk gabat gilmelik bilen çalşylýar.



16.3-nji çyzgy.

$W_p(p)=W_{\Pi}(N) \cdot W_0(p)$ – ýazdyrylan ulgamyň beriş funksiýasy ; f_e – ekwiwalent bozulma, ol ulgamyň göni traktynyň girelgesine getirilendir.

16.3-nji çyzgy çalşyrylma düzgünine taýyklykda

$$F_e(p) = W_e(p) \cdot F(p) = \frac{1}{W_p(p)} \cdot F(p) \quad (10)$$

$$\text{we} \quad W_e(p) = \frac{1}{W_0(p)}$$

Şu sebäbi görä dolandyрма prosesiniň göni görkezijiler boýunça bahalanasyny ulansak, onda ýa-da bu prosesi gurmaly ýa-da bahalanýan prosesi eksperoment boýunça registrirlemeli.

Derňelýän prosesiniň gös-gönü gurulmagy boýunça derňemek usulyna hili ýazdyrylamadyk ulgamda hemişelik koeffisiýentli differensial deňlemeleri işlemeklik derňemeklik bilen gabat gelýär, şonuň üçin hili derňemekligiň bu usuly differensial deňlemeleri işlemeklik bilen gabat gelýär.

Klassiki usulda bolsa ýazdyrylamadyk ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesini işlemeklik kyn bolýar.

Operatiw usul kynçylygy bir az araltýar,sebäbi ol (4) deňlemäniň sag tarapynyň originalyny tapmak bilen çakyşmagy hödürleýär.Tablisalary ulansak bu kynçylyklar usuleýar.Ýöne bu usulda-da häsiýetlendiriji deňlemäni işlegiň kynçylyklary saklanyp galýar.

Ýygylyk usuly häsiýetlendiriji deňlemäni işlemek meseläni arada aýyrýar.Bu usulda eksperimental gyrylan grafikleri ulanmak kynçylyklary ýenilleşdirýär.Bu usulda grafoanalizi işlemek usuly ulanylýar, ol problemany az-kem ýenilleşdirýär.

İň soňky usul-bu dolandyryjy ulgamyň modelleşdirilen deňlemeleriniň çözmek .

Usullar boýunça meseläni çözmekligiň takyklygyny barlamak üçin aşakdaky iki usul ulanylýar.

1. Maksimal ýalňyşlyk :

$$\delta_M = \left| \delta_M(t) \right|_M \quad (11)$$

2.Orta kwadratiki ýalňyşlyk

$$\delta_{or/kw} = \lim_{T \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left| \delta_m^2(t) dt \right|} = \sqrt{\delta^2} \quad (12)$$

17. Standart täsirlerde sazlamagyň hili geçiş funksiýasy we statiki ýalňyşlyk

Geçiş häsiýtnama boýunça ulgamyň hilini barlamaklyk onuň ýönekeýligi bilen we bu häsiýetnamany almaklygyň modeldewe real şertlerde naglýadnyly bilen düşündirilýär. Ýöne hakyky şertlerde täsir edýän güýji örän kiçi masştabda almaklyk amatlydyr, sebäbi sazlama prosesi döwri ulgamyň elementleriniň görnüleşdirilen oblastynda berlen parametr çykmary däl. Sebäbi real proses gönüleşdirilen oblast bilen çäklenmeli. Peýdaly signalyň pesleginde dürli pomehler sebäbi eksperimentiň netijesini peseldýär. Şu ýagdaýlarda ulgamyň modelini ulanýarlar, geçiş funksiýany kesgitlemeklik ýygylýk usullary bilen alnyp barylýar ýa-da $h(t)$ elperimentiň netijelerini statistiki suratda işlemek arkaly ýerine ýetirilýär.

Geçiş funksiýalaryň dürliligini üçe bolup bolar :

1. yzgyldyly aşa sazlamak arkaly;
2. yzgyldyly aşa sazlamak ýok mahaly ;
3. monoton.

ADU-nyň basgançakly funksiýany işlände takyklygy ulgamyň statiki ýalňyşlygy bilen bahalanýar.

Dolandyryjy täsir boýunça statiki ýalňyşlyk.

1 formula boýunça dolandyryjy signal boýunça ýalňyşlyk :

$$\delta_x H1 = L^{-1} \left\{ W_{\delta}(p) \frac{A_0}{p} \right\}$$

we çäk bahasy teoremasy boýunça statiki ýalňyşlyk

$$\Delta xst = \lim_{t \rightarrow \infty} \delta x(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} \left[p W_{\delta}(p) \frac{A_0}{p} \right] = W_{\delta}(0) \cdot A_0 \quad (1)$$

(2)-den

$$W_{\delta}(0) = \lim_{p \rightarrow \infty} [W_{et}(p) - W_3(p)] = 0 \quad (2)$$

Bu häsiýetli ulgama berlen dolandyryjy täsir boýunça astatiki dolandyрма diýilýär.

Eger $W_3(0) \neq 0$, onda ulama statiki diýlýär sebäbi döreýän ýalňyşlyk girýän signalyň ululygy uly boldygyça, uly bolýar.

ADU-da

$$\Delta x_{st} = \varepsilon_{st} = [t - w_3(0)]A_0 = \frac{1}{1+k}A_0 \quad (3)$$

bu ýerde k – ýazdyrylan ulgamyň güýçlendiriş koeffisiýenti

Bozulma boýunça statiki ýalňyşlyk

$$\delta_f(t) = L^{-1} \left\{ W_3(p) \frac{1}{W_p(p)} \cdot \frac{A_0}{p} \right\} \quad (4)$$

bu ýerde : $W_{\Pi}(p) = \frac{K_{\Pi}(p)}{D_{\Pi}(p)}$ - dolandyryjy girelge bilen

bozulmanyň girelgesiniň arasyndaky beriş funksiýa.

Statiki ýalňyşlyk

$$\Delta_{fst} = \lim_{t \rightarrow \infty} \delta_A(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} \left[p w_3(p) \frac{1}{w_{\Pi}(p)} \cdot \frac{A_0}{p} \right] = \frac{w_3(t)}{w_{\Pi}(p)} A_0 \quad (5)$$

Bozulma boýunça astatiki ulgam üçin

$$\frac{W_3(p)}{W_{\Pi}(p)} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{W_3(p)}{W_{\Pi}(p)} = 0 \quad (6)$$

Ulgam dolandyryjy hemişelik signala täsiretmek üçin $W_3(0) \neq 0$, bu ýerden şert aşakdaky tablisa ekwiwalentdir :

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{W_{II}(p)} = 0 \quad (6a)$$

Eger şert ýerine ýetmese, onda ulgamy bozulma boýunça statiki diýýarlar we statiki ýalnysltgt aşakdaky formula boýunça kesgitleýärler.

$$f_{st} = W_3(0) \frac{1}{K_{II}} A_0, \quad (7)$$

bu ýerde: $K_{II} + W_{II}(0)$

1 struktura shemdan görnüşi ýaly W_{II} bölek seredilýän ters baglanşyk boýunça ters baglanşyk bolýar. Şonuň üçin (19) görä statiki ulgamyň takyklygy ters baglanşygyň koeffisiýenti uly boldugyça uly bolýar. Ýöne statiki ulgamyň takyklygyny dolandyryjy we bozujy güýçler boýunça ulultman geçiş prosesleriňhili boýunça aşakdaky ýaly çäklenen :

$$k = k_0 \cdot k_{II} < k_{çäk} \quad (8)$$

Bu bolsa ulgamyň korreksiýasyna getirýär, ýagny ulgamyň parametrlerini we strukturasyny şeýle üýtgetmegi talap edýär, ýagny takyklyk we geçiş prosesleri şol bir wagtda gowy üýtgemeli.

18. Impuls geçiş funksiýasy

Impuls geçiş funksiýany $\omega(t)$ derňemek üçin ulgamyň bozulmasyny kesgitlemek ýeterlikdir.

Durnukly ýazdyrylmadyk ulgam üçin agram funksiýanyň üýtgenesi (statiki):

$$w_{durn} = \lim_{t \rightarrow \infty} w(t) = 0 \quad (1)$$

Bu şertiň bozulmasy integrirleýji ulgamy häsiýetlendirýär, ýagny :

$$A(p) = p \cdot A_1(p) \quad (2)$$

deňleme aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner :

$$w(t) = \frac{B(0)}{A_1(0)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{B(p_i)}{p_i A_1'(p_i)} e^{p_i t}$$

Bu ýerden agram funksiýa neýtral ulgamyň hilini durnukly ulgamyň hilini bolsa geçiş funksiýa kesgitleýär.

18.1. Kinetiki ýalňyşlyk

Astatiki ulgamyň takyklygyny köşeşen ýalňyşlygyň ululygyny hemişelik tizlikli signaly işlenende kesgitleýärler, ýagny aşakdaky signalyň täsir edýän mahaly

$$X(t) = A_1 t \cdot I_0(t)$$

bu ýerde:
$$x(p) = \frac{1}{p^2} A_1 \quad (4)$$

Şu şertlerde köşeşen ýalňyşlygy kinetiki Δ_{kin} ýalňyşlyk diýip Kabul edýärler.

Kinetiki ýalňyşlyk dolandyryjy signal boýunça Δ_{xkin} köp awtomatiki ulgamlaryň häsiýetlendiriji takyklygyny kesgitleýär, mysal üçin ýzarlleýji ulgamyň.

$$\delta(t) = L^{-1} \left\{ w_{\delta}(p) \frac{A_1}{p^2} \right\} \quad (5)$$

Çäk bahasy teoriýasy boýunça kinetiki ýalňyşlyk

$$\Delta_{kin} = \lim_{p \rightarrow \infty} \delta(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} \left[p w_{\delta}(p) \frac{A_1}{p^2} \right] = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{w_{\delta}(p)}{p} \Delta 1$$

Astatiki ulgam seredilýäni üçin $w_{\delta}(p) \rightarrow 0, p \rightarrow 0$. Lopital boýunça kesgitsizligi arsak :

$$\Delta_{kin} w'_{\delta}(0) \cdot A_1, \quad (6)$$

bu ýerde:

$$w'_{\delta}(0) = \frac{d}{dp} w_{\delta}(p) \int_{p=0}$$

Awtomatiki dolandurmagyň astatiki ulgamyna $w_{ef}=1$

$$W_p(p) = \frac{k(p)}{(p)}$$

bu ýerde:

$$k(p) = b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + k_1 p + k_0$$

we

$$D(p) = d_n p^n + d_{n-1} p^{n-1} + \dots + d_1 p + d_0$$

p derejeli polinomlar, $m \leq n$

Beriş funksiýa

$$w_{\delta}(p) = w_{\varepsilon}(p) = 1 - w_3(p) = \frac{D(p)}{k(p) + D(p)}$$

Aşakdaky ýerine ýetirýär

$$w'_\varepsilon(0) = \frac{D_1(0)}{K_0} = \frac{d_1}{K_0} = \frac{1}{K_{as}}$$

bu ýerde: $K_{as} = \frac{K}{T_{II}} \text{ sek}^{-1}$ - ýazdyrylan astatiki ulgamyň güýçlendiriş koeffisiýenti, başgaça onuň dobrotnylygy

$$\Delta_{kin} = \frac{1}{K_{as}} A_1 \quad (7)$$

ýagny astatiki ulgamyň kinematiki ýalňyşlygy deň tog berilen ulgamyň tizligine proporsional we dobrotnylygyna ters proporsionaldyr.

18.2. Dinamiki ýalňyşlyk

Ulgamyň köşeşen düzgündäki islendik görnüşli täsiri işländäki ýalňyşlygy diýip dinamiki ýalňyşlyk diýip kabul edilýär. Şu ýagdaýda köplenç monografiki täsiri seredýärler.

$$x(t) = A \sin \omega_1 t \cdot l_0(t)$$

Dinamiki gönüçyzykly ulgamyň çykalgasyndaky köşeşen düzgün kompleks ululyk bilen häsiýetlendirilip biliner :

$$\gamma(j\omega_1) = W(j\omega_1) \cdot A_1$$

bu ýerde: $W(j\omega_1)$ – ω_1 ýygylýkdaky ulgamyň kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti

$$\Delta_{xdin}(j\omega_1) = W_\delta(j\omega_1) A_1 = \Delta_{xdin}(\omega_1) e^{j\varphi_\delta(\omega_1)} \quad (8)$$

bu ýerde modul

$$\Delta_{x_{din}}(\omega_1) = [\Delta x_{din}(j\omega)] = |w_{\delta}(j\omega_1) \cdot A_1 = \Delta_{xm}(\omega_1)| \quad (9)$$

dinamiki ýalňyşlygyň amplitudasyna deňdir, argument bolsa

$$\varphi_{\delta}(j\omega_1) = \arg \Delta(j\omega_1) = \arg w_{\delta}(j\omega_1) \quad (10)$$

- dinamiki ýalňyşlygyň bilen ulgamyň girelçesindeki yzgyldylaryň alasyndaky faza süýşmesi
Wagt funksiýasyndaky ýalňyşlyk :

$$\delta_{x_{din}}(t) = \Delta_{xm}(\omega_1) \sin[\omega_1 t + \varphi_{\delta}(\omega_1)] \quad (11)$$

Bozulmadan dinamiki ýalňyşlyk $W_{\delta}(j\omega_1) - i$
 $-\frac{W_3(j\omega_f)}{W_{II}(j\omega_f)} - e$ çalyşmak arkaly tapylýar, onda

$$E_{fdin}(j\omega_f) = \frac{W_3(j\omega_f)}{W_{II}(j\omega_f)} \cdot A_f$$

bu ýerde: A_f – sinusoidal bozulmanyň amplitudaky

$$\Delta_{fdin}(\omega_f) = \left| \frac{W_3(j\omega_f)}{W_{II}(j\omega_f)} \right| A_f = \Delta_{fm}(\omega_f) \quad (13)$$

$$\varphi_{\delta}(\omega_f) = \arg w_3(j\omega_1) - \arg w_{II}(j\omega_f); \quad (14)$$

we

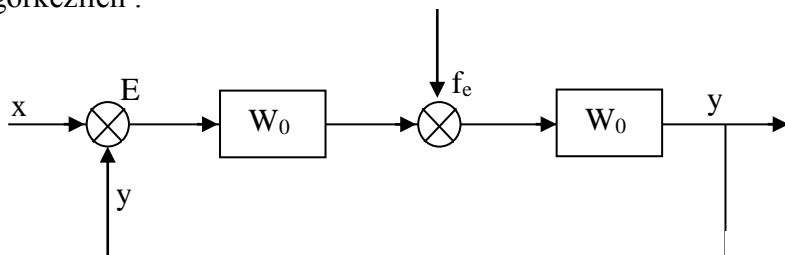
$$\delta_{fdin}(t) = \Delta_{fm}(\omega_f) \sin[\omega_f \cdot t + \varphi_{\delta}(\omega_f)] \quad (15)$$

Sinusoidal yzgyldylar seredelýär şonuň üçin orta kwadratiki ýalňyşlyk ýa-da onuň effektiv bahasy

$$\Delta_{or.kw} = \Delta = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \Delta m \quad (16)$$

Awtomatiki dolandyrmagyň dinamiki durnuklygy barada durup geçelik, onuň üçin $w_0(j\omega) + w_e(j\omega)$.

Bu ulgamyň struktura shemasy aşadaky görnüşde görkezilen :



18.1.1-nji çyzgy.

$W_e(i\omega)$ modulyny we fazasyny belli bir ýygylýk üçin analitiki hasaplamak örän kyn we mydama mümkin hem däl, sebäbi obýektiň ýygylýk häsiýetnamalary W_0 köplenç eksperimental görnüşde ýazylan grafik bolýar.

Hakyky takyk grafo-analitiki işleme ýörite nomogramalaryň kömegi bilen amala aşyrylýar. Şonda aýratynlykda modulyň we fazanyň grafikleri gurulýar.

Ýygylýgyň işçi diapozonynda

$$|W_p(j\omega)| \geq 1 \quad 0 < \omega < \omega_d, \quad (17)$$

bu ýerde: ω_d – ýaldyrylmadyk ulgamyň gyrađen geçirişiniň araçäk ýygylýgy. Ol goýberip bolýan amplituda üýtgemeleriniň ýa-da aşadaky deňlemäniň iň kiçi : položitel köki hökmünde kabul edilip biliner

$$\frac{|1 - w_3(\omega)|}{w_3(\omega)} = \delta_p \quad (18)$$

δ_p bahasy öňünden berlen bolmaly.

Köplenç $\delta_p = (0,05 \div 0,1)$

(17) deňsizlik ýazdyrmady ulgamyň ýygylýk häsiýetnamasynyň dinamiki takyklygynyň takmynan bahasy hökmünde ýazdyrylan ulgamyň häsiýetnamasy esasynda baha berip bular. Hakykatdan-da

$$|w_\delta(j\omega)| = \frac{1}{|1 + w_y(i\omega)|} \approx \frac{1}{|w_y(i\omega)|} \quad (19)$$

(19) goýup alarys :

$$\Delta_{xm} \approx \frac{A_1}{|W_y(\omega_1)|} \quad (20)$$

bu ýerde: $W_y(\omega_1)$ – ýazdyrylan ulgamyň güýçlendirmesiniň kompleks koeffisiýenti, ol ω , ýygylýk üçin dogrudyr.

Logarifmiki häsiýetnama geçsek, olary :

$$20 \lg A_{xm} \approx 20 \lg A_1 - 20 \lg |W_y(\omega_1)| \quad (21)$$

Ýükden ýa-da bozulmadan ýalňyşlyk şuna meňzeş kesgitlenýär, ýagny işçi diapozonda $0 < \omega_f < \omega_d$

$$\Delta_{fm} \approx \frac{A_f}{|W_y(\omega_f)|} \quad (22)$$

(20) we (22) görnüşi ýaly sazlaýjy ulgamyň takyklygy işçi diapozonda kompleks güýçlendiriş koeffisiýent ters baglanşyk boýunça näçe uly boldugyra ýokary bolýar.

19. Ýalňyşlygyň mejbury düzüjisi

Daşky täsir çylşyrymly formada bolsa ýalňyşlygyň mejbury düzüjisini kesgitlemek gerek bolýar. Bu düzüjini kesgitlemek gerek bolýanlygynyň sebäbi ol ulgamyň özüni alyp barşyny kesgitleýär, erkin düzüji bolsa sönýär.

Eger daşky täsir p –den drol-rasional görnüşli bolsa, gaýtalanýan kök saklamasa onda mejbury düzüji aşakdaky görnüşde kesgitleňýär :

$$\delta_M(t) = \sum_{k=1}^n \frac{k(p_x)N(p_k)}{D(p_k)M'(p_k)} \cdot e^{p_k t}$$

Gaýtalanýan kök bolsa, onda ol çylşyrymly hasaplany talap edýär.

Mejbury düzüjini kesgitlemek ýeňilleşýär, eger daşky täsir derejeli funksiýa gönüşli bolsa. Aşakda mejbury düzüjini kesgitlemek ýalňyşlyk koeffisiýenti boýunça kesgitleňýär.

Eger $x(t)$ täsir polinum bilen çalsylsa

$$x(t) = \left[A_0 + A_1 t + \dots + \frac{A_i}{i} t^i \right] l_0(t) \quad (2)$$

onda

$$x(p) = A_0 \frac{1}{p} + A_1 \frac{1}{p^2} + \dots + A_i \frac{1}{p^{i+1}} = \frac{N(p)}{p^{i+1}} \quad (2)$$

bu ýerde

$$N(p) = \sum_{k=0}^i A_k p^{i-k}$$

diňe bir gaýtalanýan kök saklaýar (polýus) $p=0$
 Ýalňyşlygyň şekili

$$\Delta(p) = W(p) \sum_0^i A_k \frac{1}{p^{k+1}} = W(p) \frac{N(p)}{p^{i+1}} \quad (4)$$

bu ýerde: $W(p)$ – seredilýän täsir boýunça ýalňyşlykdan beriş funksiýa

Eger goýum derňelýän bolsa, onda $W(p)=W_\delta(p)$, eger bozulma derňelse, onda

$$W(p) = \frac{W_3(p)}{W_\pi(p)}$$

Durnukly ulgamyň mejbury ýalňyşlygynyň şekili (4) dargatma boýunça kesgitlenýär. Berlen funksiýany belli bolmadyk koeffisiýentler usul biýunça aşakdaky hatara dargadaly :

$$\frac{W(p)}{p^{l+1}} = \frac{C_0}{p^{i+1}} + \frac{C_1}{p^i} + \dots + \frac{C_i}{p} + s(p) \quad (5)$$

bu ýerde: C_0, C_1, \dots, C_i – dargatmanyň näbelli koeffisiýentleri, $s(p)$ – $w(p)$ -niň dargatmasynyň polýuslar bilen bagly bölegi. Şunda $w(p)$ $p=0$ we $w(p) \neq \infty$ polýus saklanok diýip düşünilýär.

C koeffisiýentleri kesgitlemek üçin (5) aşakdajy görnüşde ýazýaryl:

$$W(p) = C_0 + C_i p + \dots + C_i p^i + s(p) p^{i+1} \quad (6)$$

p boýunça yzygider differensirleýär w $p=0$ diýip goýup taparys :

$$C_0 = w(0); \left[\frac{dw(p)}{dp} \right] p=0 \quad ; \quad C_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{d^2 w}{dp^2} \right] p=0 ; \dots;$$

$$C_k = \frac{1}{k!} \left[\frac{d^k w}{dp^k} \right] p=0 ; \dots ; C_i = \frac{1}{i!} \left[\frac{d^i w}{dp^i} \right] p=0 \quad (7)$$

Şeýlelikde ýalňyşlylygyň şekili $\Delta(p)$ iki düzüji görnüşde görkezilip biliner : geçişli we (ýa-da erkin)

$$\Delta_{II}(p) = s(p)N(p) \quad (8)$$

Bu düzüji wagtyň geçmegi bilen söňýär. Mejbury düzüji

$$\Delta_M(p) = [C_0 + C_1 p + C_2 p^2 + \dots + C_i p^i] x(p), \quad (9)$$

bu ýerde :

$$C_k = \frac{1}{k!} \cdot \left[\frac{d^k w(p)}{dp^k} \right] p=0, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Her düzüjä $C_k p^k \cdot x(p)$ $p > 0$ bolanda mejbury düzüjiniň bir komponenty degişli

$$C_k \frac{d^k x(t)}{dt^k} = C_k x^{(k)}(t)$$

Şonuň üçin mejbury düzüjiniň formulasyny aşakdaky ýaly ýazyp bolýar :

$$\delta_M(t) = C_0 x(t) + C_1 \frac{dx(t)}{dt} + C_2 \frac{d^0 x(t)}{dt^2} + \dots + C_i \frac{d^i x(t)}{dy^{(i)}} ,$$

ýa – da

$$\delta_M(t) = \sum_{k=0}^i C_k x^{(k)}(t) \quad (10)$$

(10) formula näbelli düzüjiler usularyň ýalňyşlar koeffisiýenti usulyny düzüýär.

C_k koeffisiýentleri (7) formula boýunça tapmak örän kyn. Ony $W(p)$ beriş funksiýany p -kiň derejelerine dargadyp tapmaklyk aňsat :

$$w(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_m p^m}{a_0 + a_1 p + \dots + a_n p^n} = C_0 + C_1 p + C_2 p^2 + \dots = \sum_0^{\infty} C_k p^k \quad (11)$$

C_k koeffisiýentleri kesgitlemek üçin tojdeswanyň sag we çep böleklerini drolyň maýdalawjysyna köpeldip p -niň deň derejeleriniň koeffisiýentlerini bir-birini deňleşdirip, taparys :

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= c_0 a_0 ; \\ b_1 &= c_1 a_0 + c_0 a_1 ; \\ b_2 &= c_2 a_0 + c_1 a_1 + c_0 a_2 \\ &\dots\dots\dots \\ b_m &= c_m a_0 + c_{m-1} a_1 + \dots + c_0 a_{m+1} \\ 0 &= c_{m+1} a_0 + c_m a_1 + \dots + c_0 a_{m+1} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\}$$

Bu ýerden aşakdaky rekurent formula gelip çykýar :

$$C_k = \frac{1}{a_0} \left\{ b_k - \sum_{r=1}^k C_{k-r} \cdot a_r \right\} \quad (13)$$

eger $k > n$ $a_r \equiv 0$

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetiniň, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. A.Meredow., A.Kullyýew. Awtomatizirlenen elektrikhereketetgijisi, Aşgabat, 2002.
11. Автоматическое управление электроприводами. А.А.Сиротин. Энергия М., 1969.
12. Чиликин М.Г, Сандлер А.С, Общий курс электропривода. М., Энергоиздат, 1981.

Mazmuny

SÖZBAŞY	7
GIRIŞ	9
1. Elektriki herekete getirijileri awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryň esasy funksiýalary we klaslara bölümişi	10
1.1 Awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryň klaslara bölünişi	10
1.2 Awtomatiki dolandyryjy ulgamlaryň ýerine ýetirýän esasy funksiýalary	11
2. Awtomatiki dolandyrylýan elektromehaniki ulgamlaryň esasy elementleri	18
2.1. Üýtgeýän toguň elektrodwigatelleri	19
3. Hemişelik toguň elektrodwigatelleri	26
4. Ädimleýji elektrodwigateller	34
5. Elektromaşyn güýçlendirijiler (EMG)	38
6. Magnitli güýçlendirijiler	42
7. Elektron lampalarda gurnalan DAU-nyň öwrüji we güýçlendiriji elementleri	47
8. Ýönekeý elektrik shemalaryň kysymly düwünleri we olaryň täsir ediş prinsipleri	51
9. Wagt prinsipi boýunça amala aşyrylýan elektrodwigatelleri işe goýbermek we tormozlamak	53
10. Tizlik prinsipi boýunça elektrodwigatelleriň işe goýbermek we tormozlama düwünleri	61
11. Birinji derejeli zwenolar	63
11.1 Forsirleýji zwenolar	66
12. Inersion-forsirleýji zwenolar	68
12.1. Yrgyldyly zwenolar	69
13. Zwenolaryň garşylyklaýyn-parallel birikdirilmen	71
14. Awtomatiki sazlanýan ulgamlaryň durnuklylygy	73

15.	Gurwisiň kriterisi	76
15.1.	Mihaýlowayň kriterisi	77
16.	Dolandyрма prosesiniň hili we ony derňewligiň göni usullary	80
17.	Standart täsirlerde sazlamagyň hili geçiş funksiýasy we statiki ýalňyşlyk	87
18.	Impuls geçiş funksiýasy	89
18.1.	Kinetiki ýalňyşlyk	90
18.2.	Dinamiki ýalňyşlyk	92
19.	Ýalňyşlygyň mejbury düzüjisi Edebiýat	96 101