**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**J.Nuryýew**

# Awtomatiki dolandyrmagyň we sazlamagyň nazaryýeti

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

**J.Nuryýew,** Awtomatiki dolandyrmagyň we sazlamagyň nazaryýeti.

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

# SÖZBAŞY

Garaşsyz baky Bitarap Türkmenistan döwletimizde geljegimiz bolan ýaşlaryň dünýäniň iň ösen talaplanyň 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 ýygnaklarda, uly Döwlet maslahatlarynda milli maksatnamada göz öňünde tutulan meseleleriň çözülişleri, durmuşa geçirilişini esasy üns merkezinde saklaýar. Milli maksatnamada ilaty elektrik eneriýasy bilen üpjün etmegi gowulandyrmak barada öňde goýulan wezipeleri üstünlikli durmuşa geçirmek üçin, energetika ulgamlarynda işlejek ýokary bilimli hünärmenleri dünýä derejesinde taýýarlamak esasy mesele bolup durýar. "Senagat desgalarynyň we tehnologiki toplumlaryň elektrohereketlendirilişi hem-de awtomatlaşdyrylyşy" hünäri boýunça bilim alýan talyp ýaşlaryň Türkmenistanyň syýasy – ykdysady ösüşlerini göz öňünde tutup, Watanmyzyň gülläp ösmegi, halkymyzyň hal – ýagdaýynyň gowulanmagy üçin ýerlikli ulanyp biljek ýokary derejeli hünärmenleri taýýarlamagyň esasy bir şertleri bolup durýar.

Hususy soraglardan energiýany ösdürmegiň häzirki zaman çeşmeleriniň, ulgamlarynyň işleýşi, ulanylyşy, olary kämilleşdirmek baradaky meseleleri çözmäge mümkinçilik berýän 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 esasyny tutýarlar. Häzirki döwürde ekologoki taýdan arassa, ykdysady taýdan arzan, konstruksiýasy boýunça ýönekeý energetiki enjamlary gurmaklygyň, peýdalanmaklygyň tehnikalary öwredilýär. Okatmagyň esasy usuly hökmünde umumy sapak ulanylýar. Amaly we tejribe sapaklarynda bolsa desgalaryň bölekleri, olaryň berkligi, ýüze çykýan näsazlyklaryň öňüni almak ýaly meseleleriň toplumyna seredilýär.

# GIRIŞ

«Awtomatiki dolandyrmagyň we sazlamagyň nazary» dersiň maksady talyplarda awtomatiki sazlanyş we dolandyryş ulgamlaryny analiz we sintez etmek barada bilimlerini ösdürmekden ybarat.

Şu dersini öwrenenden soň talyplar şu aşakdakylary bilmelidir:

- AS we D ulgamlaryny gurmagyň esasy düzgünleri we konsepsiýalary;
- ADT-yň matematik apparaty;
- AS we D ulgamlaryny analiz we sintez etmegiň metodlary;
- ADT esasy meseleleri we ösüş perspektiwalarynyň ýönelişleri;

Şu aşakdakylary edip bilmelidirler:

- AS we D ulgamlaryny matematik beýan etmegi;
- AS we D ulgamlaryny berkligini we hilini analiz etmegi:
- AS we D shemalaryny esaslanyp tapmak, sazlaýyş we dolandyryş gurulmalaryny parametrli optimizasiýa etmegi;
- obýektleri dolandyrmagyň kanunlaryny we algoritmlerini sintez edip bilmek.

Awtomatik dolandyryş teoriýasy dersini öwrenmekde.

Şu dersleriň okuw materiýalaryna esaslanyldy.

“Amaly hasaplamalar” (algebra, diffirensial we integral hasaplaýyşlar, diffirensial deňlemeler, Laplasyň we Furýeniň özgertmeleri, ähtimallyk teoriýasy). 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 prossesleri) dersleriň okuw materiýallaryna esaslanylýar. Dersi öwrenmekde, amaly we tejribe işlerinde we ýyllyk işlerini işlemekde EHM-laryndan peýdalanmagy göz öňünde 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).

Awtomatizirlenen ulgamlary taslamak (lokal ASS we ADS-leri taslamak). Pudagyň tehnologik prosessleriniň awtomatizasiýasy (lokal ASS we ADS işlemek).

Awtomatiki dolandyrmak teoriýasy (nazary) 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 şuňa meňzeşler.

Awtomatiki dolandyrma umumy bolup, öz içine awtomatiki sazlamany hem alýar.

Awtomatiki sazlama diýip ululygy hemişelik ýa-da berlen kanun esasynda saklamak üçin niýetlenen gurnama aýdylýar. Sazlanylýan ululyk prosesi häsýetlendirýär. Dolandyrmaklyk obýektiň ýagdaýyny hem-de oňa täsir edýän bozujy organa täsir edýän güýçleri döretmek arkaly amala aşyrylýar.

Awtomatiki dolandyrma diýilip belli bir informasiýa esasynda täsirler köplüginden saýlap almak arkaly täsirler toplumyny dolandyrmagyň maksady esasynda dolandyrylýan obýektiň funksionirlemegini saklaýar ýa-da gowlaşdyrýar.

Dolandyrmak meselesi umuman bolup öz düzümine uýgunlaşma ýa-da öz-özünden sazlanma ýaly meseleleri hem alýar.

Tehniki gurnamalary dolandyrma ylmyna tehniki kibernetika diýilýär.

## 1. Awtomatiki dolandyrmagyň obýekti

Awtomatiki dolandyrma ulgamy iki esasy bölekden durýar:

1) dolandyrylýan obýekt, 2) dolandyryjy gurnama.

Dolandyrylýan obýekt hökmünde dolandyrlýan tehniki gurnamany getirip bolar.

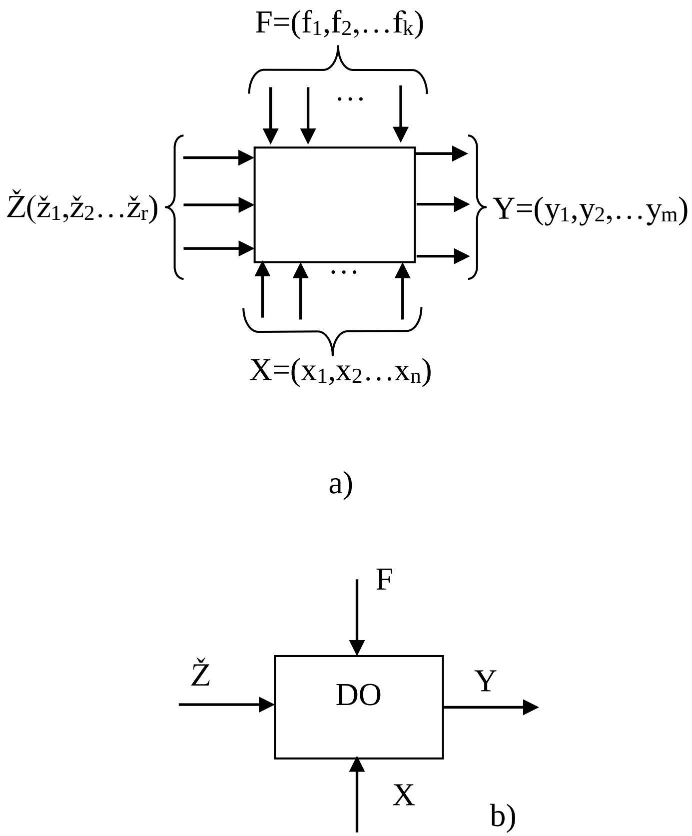
Obýektiň ýagdaýy obýekte täsir edýän daşky sredany we dolandyryjy gurnamalary häsýetlendirilýän ululyklar hem-de obýektiň içinde bolup geçýän prosesler bilen kesgitlenilýär.

Bu uluklaryň käbiri iş mahaly üznüksiz ölçenilýär. Olara gözegçilik edilýän ululuklar diýilýär. Başga ululyklar obýektiň işine täsir edýär, emma olar ölçenilmeýärler. Olara gözegçilik edilmeýän ululyklar diýilýär.

Obýekte daşdan täsir edýän ululyklara täsirler diýilýär. Dolndyryjy gurnama tarapyndan döredilýän täsirlere dolandyryjy ululyklar ýa-da dolandyryjy täsirler diýilýär. Dolandyryjy gurnamadan bagly bolmadyk täsirlere bozulmalar diýilýär.

Bozulmalary emele getirýän sebäpler 1. Ýüklenme, 2. Päsgel (pomeh). Wagtdan bagly ýüklenme obýektiň işi bilen bagly. Ondan obýekt goranyp bilmeýär. Päsgel gapdaldan döreýän hadysalar bilen bagly. Olaryň täsirini azaltmaklyk obýektiň işini gowulandyrýar.

Dolandyrmada alnyp barylýan gözegçilik edilýän ululyklara dolandyrma ýa-da sazlanama ululyklary diýilýär. Bu ululyklar obýektiň dolandyrma hilini kesgitleýärler.




1.1-nji çyzgy

1.1-nji çyzgyda $X(X_1,X2...X_n)$-dolandyryjy täsirler, $Y(y_1,y_2,..Y_m)$dolandyrylýan ululyklar, $F(f_1f_2…f_k)$-daşky täsirler,ýa-da gözegçilik edilmeýän päsgeller, $Ž(ž_1,ž_2..ž_r)$-gözegçilik edilýän daşky täsirler ýa-da päsgeller diýilýär.

Başlangyç şertler belli bolanda deňlemeler ulgamy daşky täsirler bolan X,Ž,F boýunça dolandyrylýan ululyklary Y tapmaga mümkinçilik berýär. Deňlemeler ulgamy obýektiň matematiki ýazuwy esasynda daşky täsirleri dolandyrylýan ululyk bilen baglanyşdyrýar.

Eger obýekt bir sany dolandyrýan X we dolandyrylýan Y ululyklar bilen häsýetlendirilýän bolsa, oňa ýönekeý ýa-da bir baglanşykly obýekt diýilýär. Bu ululyklar köp bolan ýagdaýynda obýekte köpbaglanşykly diýilýär.

Her bir obýekt statiki we dinamiki düzgünlerde seredilinip biliner. Statiki düzgünde daşky dolandyrylmaýan täsirler Ž we F hem-de dolandyrylýan täsirler X hemişelik, ýagny, wagtdan bagly däl diýip kabul edilýär. Obýektiň häsýetnamasy aşakdaky deňleme görnüşinde berilýär:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y}\{X, F, Z\}$$

Eger obýekte garmoniki täsirler goýlan bolsa, onda togtaşan düzgünde obýekt wagtyndan bagly bolmadyk ululyklar, mysal üçin, amplitudalar we fazalar bilen häsýetlendirilip biliner. Bu ýagdaýda obýekt stansionar düzgünde seredilýär we oňa (1) görnüşli deňlemeler ulanylýar.

Obýektiň dinamikasy derňelende Y(t)-niň daşky üýtgeýän täsirlerden Ž(t),F(t) we X(t) baglanşygy derňelýär.Bu ýagdaýda (1) deňlemeler differensial deňlemeler görnüşine geçýär.

Eger differensial deňlemeler çyzykly görnüşe getirilip bilinse, onda obýekte çyzykly diýilýär. Eger obýekt çyzykly däl görnüşde bolsa, onda obýekte çyzykly däl diýilýär.

Obýektiň statikasy öwrenilende dolandyrylýan ululygyň Y dolandyrýan täsirden X baglanşygy gyzyklandyrýar. Bu häsiýetnama dolandyrmagyň statiki häsiýetnamasy diýilýär.

Dolandyrylýan obýekt durnukly, durnuksyz we neýtral bolup bilýär.

Eger daşky täsir gutaranda wagtyň geçmegi bilen obýekt öňki ýagdaýyna ýa-da oňa ýakyn ýagdaýa dolanyp gelse, onda oňa durnukly diýilýär.

Göniçyzykly däl obýektler az täsirlerde “kiçi” durnukly we uly täsirlerde “uly” durnuksyz bolup bilerler.

Statiki häsiýetnamalaryň diňe durnukly dolandyrylýan obýektler üçin manysy bolýar.

Durnukly däl obýektde daşky täsir her näçe kiçi hem bolsa dolandyrylýan ululyk üýtgeýär.

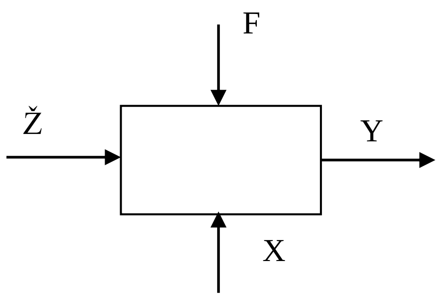
Neýtral obýekt diýilip, daşky täsir gutarandan soň täze, öňküden tapawutly togtan düzün emele gelýän obýekte aýdylýar.

## 2.Obýektiň funksional we struktura shemalary

Dolandyryş ulgamlaryny çyzgylandyrylanda funksional we struktura prinsipleri ulanylýar. Şonuň üçin shemalar hem funksional we struktura görnüşlere bölünýärler.

Her bir funksional elemente belli bir bölek (zweno) gabat gelýän shemalara struktura shema diýilýär.

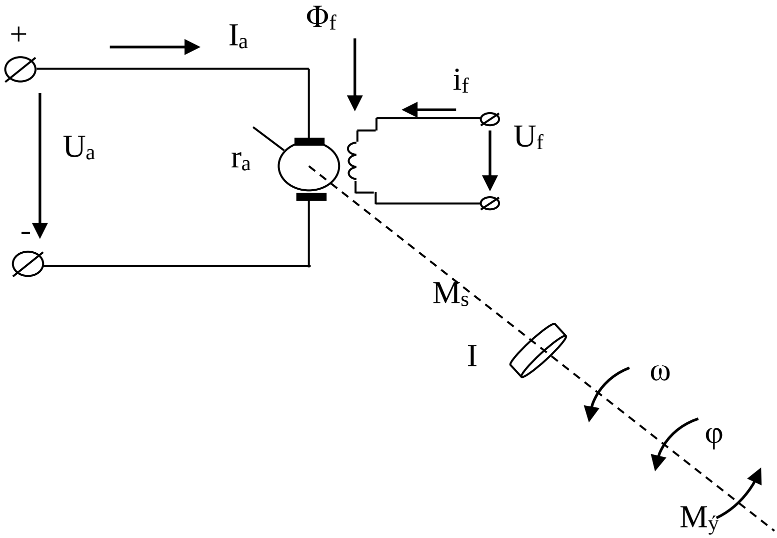
Islendik obýekt umumy funksional shema görnüşinde görkezilip biliner.




2-1-nji çyzgy

Matematiki ýazuwyň we matematiki operasiýanyň dolulygyndan baglylykda her bir obýekt üçin dürli struktura shema düzülip biliner.

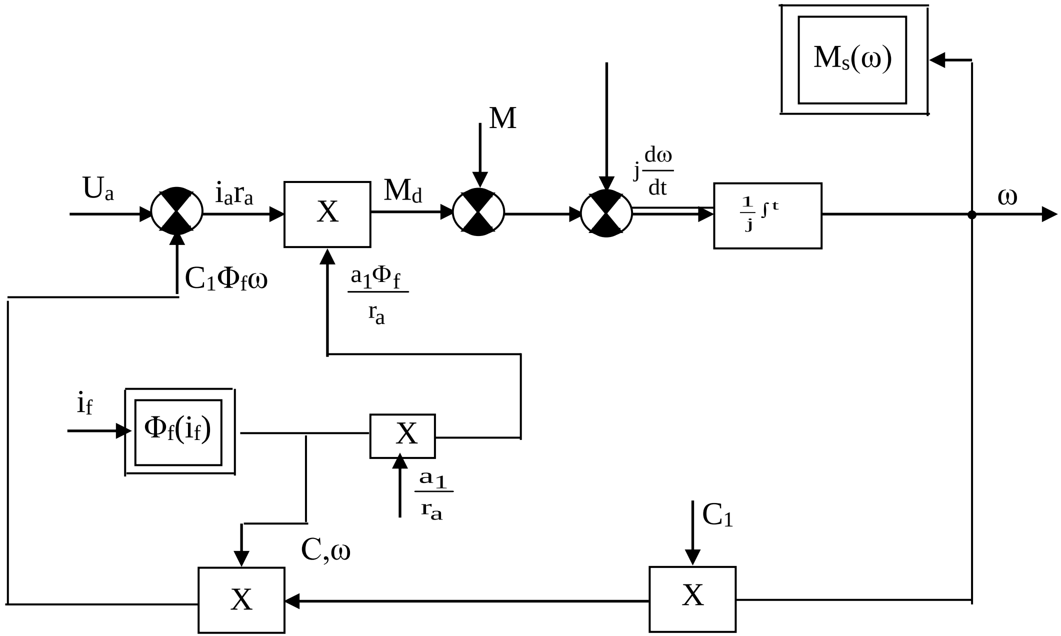
Mysala ýüzleneliň. Obýekt hököminde hemişelik toguň dwigateli aşakdaky differensial deňlemeler bilen kesgitlenilýär.




2-2-nji çyzgy

$$\Phi_f = \Phi(i_f)$$
$$U_a = i_a r_a + C_1 \Phi_f \cdot \omega$$
$$a_1 \Phi_f \cdot i_a = I \frac{d\omega}{dt} + M_s + M_r$$
$$M_s = M(\omega)$$

Bu deňlemeleriň esasynda obýekt 2-3-nji çyzgyda görkezilen struktura shemasy görnüşinde görkezilip biliner.


Ms(ω)
M
j dω/dt
Ua
iara
X
Md
1/j ∫t
ω
C1Φfω
a1Φf/ra
if
Φf(if)
X
a1/ra
C1
C,ω
X
X

2-3-nji çyzgy

Bu shema jemleýji düwünlerden köpeltmek operasiýasyny ýerine ýetirýän böleklerden, egri çyzykly öwrüjilerden we integrirleýji böleklerden durýar.

Ýakor zynjyry we oýandyryjy sarym boýunça dolandyrma shemada iki sany giriş $U_a$ we $i_f$ görnüşinde aňladylýar. Ýykýan ululyk bolup dwigateliň burç tizligi $\omega$ hyzmat edýär.

Dwigateliň parametrleri bolan $a_1,c_1,r_a$ we ýüküň momentiniň täsiri shemada jemleýji düwüne we köpeldiji bölege täsir hököminde görkezilen.

## 3. Awtomatiki dolandyrmagyň prinsipleri

Obýektiň işi barada informasiýanyň häsiýeti, onuň matematiki ýazuwynyň barlygy, obýektiň statiki häsýetnamalaryndan esasanam, awtomatiki dolandyryş organynyň öňünde goýlan meseleden baglylykda awtomatiki dolandyrmagyň prinsipleri dürli bolýarlar.

Öň obýekti näme bilen dolandyrmaly diýlen sorag goýlan bolsa, indi näme maksat, nähili we haýsy serişdeler bilen obýekti dolandyrmaly diýlen sorag ýüze çykýar.

Dolandyryş ulgamlarynyň öňünde goýlan meseleleri aşakdaky toparlara bölmek bolar:

1. Haýsam bolsa bir dolandyrylýan ululygyň stabilizasiýasy. Bu ýerde berlen takyklyk bilen ol ýa-da beýleki dolandyrylýan ululygy hemişelik saklamak gerek bolýar.
2. Dolandyrylýan ululyklaryň içinden haýsam bolsa birini programmaly dolandyrmak. Bu ýagdaýda, dolandyrylýan ululygyň üýtgemesiniň kanuny ýa-da öňünden belli bolýar we operator tarapyndan berilýär, ýa-da öň belli bolmadyk ölçelýän ululygyň üýtgemegine gabat gelmeli. Birinji ýagdaýda sazlama

programmaly diýilýär, ikinji ýagdaýa bolsa dolandyrma yzarlama diýilýär.

3. Obýektiň ýa-da ulgamyň haýsam bolsa bir görkezijisiniň optiumyna ulgamy öz-özüden sazlamak. Öz-özünden sazlanma stablizasiýa we programmaly dolandyrma bilen utgaşdyrylyp biliner.

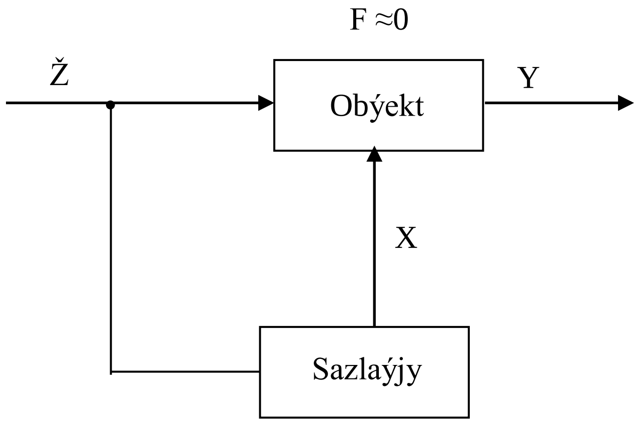
Dolandyrma ulgamlary açyk we ýapyk ulgamlara bölünýär.

Açyk dolandyryş ulgamlarynda dolandyryjy täsir dolandyrmagyň maksady. Obýektiň häsiýetnamalary we belli daşky täsirler bilen baglylykda dolandyrylýan ululygyň hakyky bahasyny hasaba almazdan berilýär. Şeýle dolandyrma gaty dolandyrma diýilýär.

Ýapyk dolandyrma ulgamlarynda dolandyryjy täsir dolandyrylýan ululykdan gös-göni baglylykda formirlenýär.

Ýazdyrylan dolandyryjy ulgamlar biziň öwrenýän sapagymyzda seredilmeýär.

<u>Stablizasiýa.</u> Dolandyrlýan obýekt barada informasiýanyň barlygyndan we daşky täsirler barada informasiýanyň dolulygyndan baglylykda stablizasiýa meseleleri dürli ýollar bilen çözülip biliner. Eger daşky täsirler ölçenip bilinse we obýektiň ýagdaýy, dinamiki häsiýetnamalary belli bolsa, onda dolandyrma daşky täsirleri ölçemek arkaly amala aşyrylyp biliner. Şeýle dolandyrma bozulma boýunça dolandyrma ýa-da daşky täsirler kompesirleme ulgamlary diýilýär. Bu ýazdyrylan ulgamyň mysalydyr.

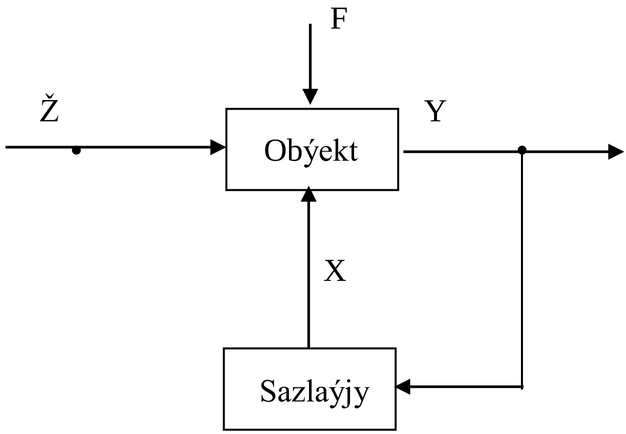



3-1-nji çyzgy

Bozulma boýunça dolandyrma 3-1-nji çyzgyda görkezilen.

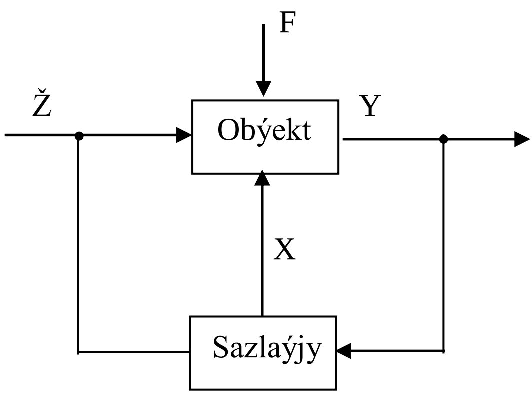
Bu ýerde gözegçilik edilmeýän täsirler ýok (F=o). Dolandyrma meselesi belli bolan şerti $Y=Y_o$=const saklamak arkaly X=X(Ž) funksiýany tapmak islenýär. Bu ýerde $Y_o$-dolandyrylýan ululygyň goýlan bahasy. Bu meseläni çözýän sazlaýjy sazlanýan ululygyň stablizasiýasyny üpjün edýär ýa-da onuň daşky täsirlerden bagly däldigini, gysgaça, inwariantlygyny amala aşyrýar.

Eger gözegçilik edip bolmaýan bozulmalar bar bolsa we obýektiň matematiki ýazuwy doly bolmasa, onda bozulma boýunça sazlama dolandyrylýan ululygyň stablizasiýasyny üpjün edip bilmeýär. Şonuň üçin şeýle ýagdaýlarda gyşarma arkaly dolandyrma usuly ulanyp biliner. Bu bolsa diňe ýazdyrylmadyk (ýapyk) ulgamlarda amala aşyrylyp biliner. Beýle gurnama 3-2-nji çyzgyda görkezilen.



3-2-nji çyzgy

Bu ýagdaýda dolandyryjy signal X dolandyrylýan ululyk Y bilen onuň berilen bahasynyň $Y_o$ arasyndaky tapawutdan bagly. Ol signal bu tapawudy kiçeltmek tarapa gönükdirilendir. Dolandyryjy ulgamlaryň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin kombinirlenen dolandyryjy ulgamlar ulanylýar. Bu ulgamlar gyşarma we bozulma boýunça dolandyrma usullaryny birleşdirýärler.
Şeýle ulgam 3-3-nji çyzgyda görkezilen.



3-3-nji çyzgy.

Indiden beýle gözegçilik edilmeýän buzulmalar wagty dolandyrylýan ulgamlara serederis. Bu ulgamlar gyşarma boýunça dolandyrmany talap edilýär. Şonuň üçin dolandyrylýan ululyk daşky bozulmadan bagly bolmaýar.

## 4. Programmaly dolandyrma

Obýektiň matematiki ýazuwynyň we gözegçilik edilmeýän daşky täsirleriň barlygynda baglylykda programmaly dolandyrma hem ýazdyrylan we ýazdyrylmadyk ulgamlar boýunça amala aşyrylyp biliner.

Eger obýektiň takyk matematiki ýazuwy bar bolsa we daşky täsirler gözegçilik edilýän bolsa, onda programmaly dolandyrma ýazdyrylan ulgam boýunça ýerine ýetirilip biliner. Şeýle dolandyrmada dolandyryjy ululyk belli kanun boýunça berilýär we ol dolandyrylýan ululygyň hem talap edilýan kanun boýunça üýtgemegini amala aşyrýar.

Goý dolandyrylýan ululyk wagt boýunça aşakdaky kanun boýunça amala aşyrylýar diýeli.

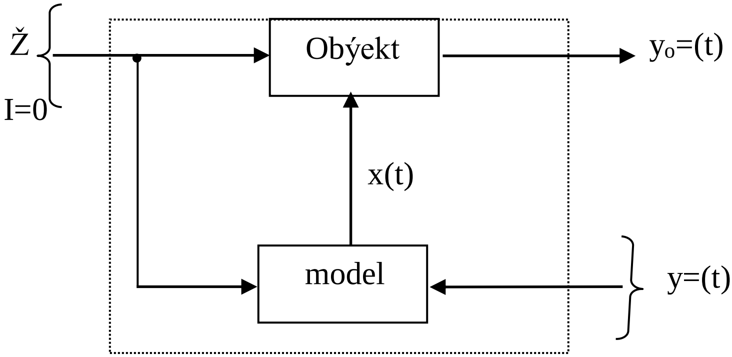
$$\mathbf{Y=Y_o(t)} \qquad \mathbf{(4\text{-}1)}$$

Onda obýekti ýazan deňlemeleriň kömegi bilen dolandyrýan ululygyň talap edilýän üýtgeme kanununy hasaplap bolar:

$$\mathbf{X= X_o(t)} \qquad \mathbf{(4\text{-}2)}$$

Şu baglanşygy berip bilýän programmaly gurnamanyň ulanylmagy talap edilýän şerti üpjün edip biler.

$x_o(t)$ baglanşygy taplamaklyk awtomatiki çyzgyda ýörite hasaplaýjy gurnamalaryň kömegi bilen ýerine ýetirilip biliner. Şeýle ýazdyrylan ulgamyň mysaly 4-1-nji çyzgyda görkezilen.

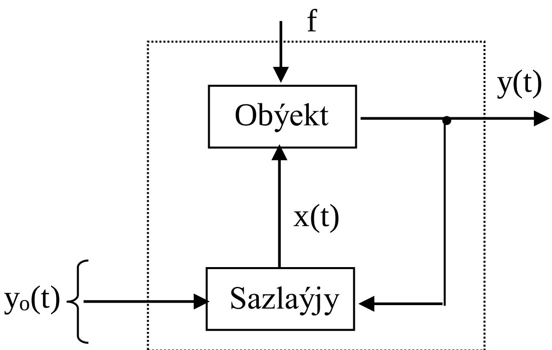



4-1-nji çyzgy.

Bu ýerde ulgamyň girelgesine talap edilýän dolandyrma kanun $y_o(t)$ berilýär. Hasaplaýjy model $x_o(t)$ hasaplaýar we obýektiň girelgesine berýär.

Obýektiň islendik nätakyk ýazuwy we gözegçilik edilmeýän täsiriň barlygy Y(t) bilen $Y_o(t)$ gabat gelmezligine getirýär we talap edilýän dolandyrma kanuny amala aşyrylyp bilinmeýär.

Gözegçilik edilmeýän täsirleriň barlygy sebäpli gyşarma boýunça programmaly dolandyrma prinsirini ulanmaklygy talap edilýär. Bu prinsipi amala aşyrýan ulgamlar ýazdyrylmadyk dolandyrma ulgamlaryny emele getirýär.




4-2-nji çyzgy

Bu ulgamlarda sazlaýja iki ululyk girýär: talap edilýän üýtgeme kanuny $y_o(t)$ (ustawka) we dolandyrylýan ululygyň hakyky bahasy y(t) (4-2-nji çyzgy). Sazlaýjyda bu ululyklar deňeşdirilýär we dolandyryjy täsir x(t) işlenip çyzylýar. Bu ululyk gabat gelmezligiň minimal bahasyny üpjin edýär:

$$\mathbf{E(t)=Y_o(t)-Y(t).} \qquad \mathbf{(4\text{-}3)}$$

Bu ýalňyşlygyň bahasy näçe kiçi bolsa sazlamanyň hili şonça-da ýokary bolýar.

Programmaly sazlaýjylarda $Y_o(t)$ funksiýa haýsam bolsa bir programmaly gurnamanyň kömegi bilen berilýär. Yzarlaýjy ulgamlarada bu funksiýa bolup öň belli bolmadyk okuň aýlow burçy hyzmat edýär.

Öň seredilip geçilen awtomatiki stablizasiýa programmaly dolandyrmanyň ýönekeý görnüşi diýlip kabul edilip biliner we onda programma wagtdan bagly däl diýip kabul edilýär, ýagny, $Y_o(t)$=const.

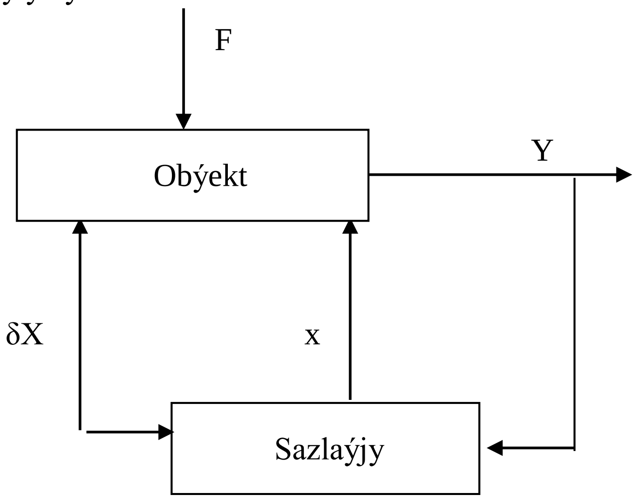
## 4.1. Öz -özünden sazlanma

Öz-özünden sazlanýan gurnamalaryň öňünde goýulýan meseleler programmaly dolandyrylýan ulgamlaryň meselelerinden has giňdir we çylşyrymlydyr.

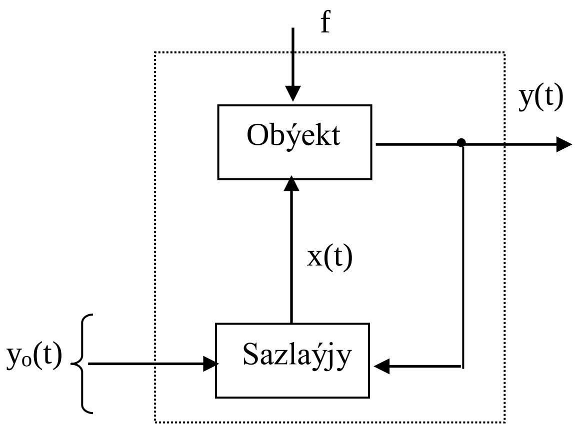
Birinji mesele bolup dolandyrylýan ululygyň ekstermumyny saklamak meselesi durýar. Munuň üçin obýekte çak bilen bir täsir δX berilýär. Soň dolandyrylýan ululyk bolan Y-iň alamaty seljerilýär we dolandyryjy ululyk döredilýär, ol düzgüni ekstremum nokadyna ýakynlaşdyrylýar. Şeýlelikde, dolandyryjy ulgam düzgüni optimal ýagdaýynda saklaýar, ýagny

$$\frac{\partial y_i}{\partial x_k} \approx 0.$$

Dolandyrylýan obýekti optimal düzgüne ýakyn saklaýan gurnamalara awtomatiki optimizatorlar ýa-da ekstremal sazlaýjylar diýilýär. Bu gurnamanyň shemasy aşakdaky ýaly:



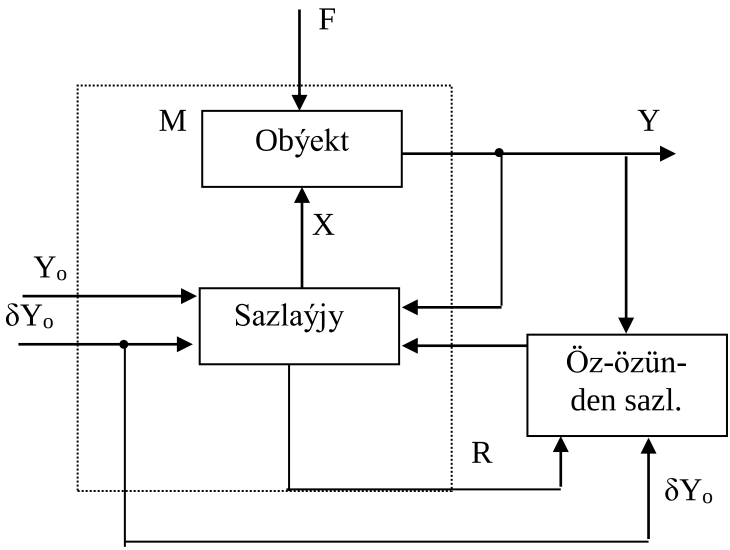

4-1-1-nji çyzgy.




4-1-2-nji çyzgy.

Şeýle ulgamlar az üýtgeýän, gözegçilik edilmeýän täsirler bolanda we obýektiň ekstremal häsýetnamalary bolanda ulanylýar.

Öz-özünden sazlanmanyň ikinji meselesi bolup sazlaýjy ulgamyň optimal işlenmegini maksimal çalt herekete gelmegi bilen üpjün edýän meselelere aýdylýar. Wagt ýörite gurnamanyň kömegi bilen analiz edilýär. Analiziň esasynda gurnama sazlaýjynyň parametrlerini sazlanma wagty minimal bolar ýaly edip üýtgedýär. Şeýle gurnamanyň shemasy 4-1-2-nji çyzgyda görkezilen.

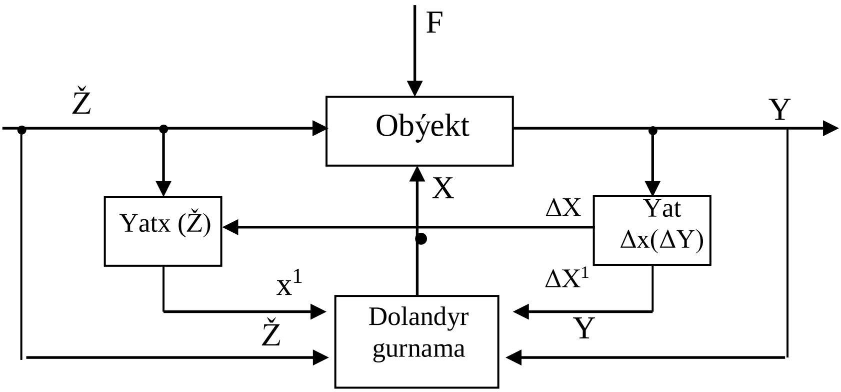



4-1-3-nji çyzgy.

Bu ýerde sazlaýjynyň parametrlerini üýtgetýän täsir M diýlip bellenen. Sazlamanyň wagtyny kesgitlemek üçin sazlaýjynyň goýma bahasyna $\delta Y_o$ çak bilen üýtgedýärler. Bu wagty obýektiň modeli esasynda kesgitläp bolýar.

Bu wagt çaltlaşdyrylýan masştabda ýerine ýetirilýär. Modeliň parametrlerini sazlaýjynyň paramtrleri g bilen gabat getirmek awtomatiki çyzgyda amala aşyrylýar. Bu ýagdaýda modele täsir edýän signal $X_i$ sazlaýjy tarapyndan işlenip çykarylýar we ol çaltlyk boýunça optimal bolýar. Görkezilan shemada Y we R ululyk esasynda öz-özünden sazlanama dolandyrylýan ululyk bolýar, sazlaýjynyň sazlanýan parametri M bolsa dolandyrýan ululyk bolýar.

Eger obýektiň matematiki modeli belli bolmasa, onda öz-özünden öwrenýän ulgamlar ulanylýar. Şeýle kombinirlenen shema 4-1-4-nji çyzgyda şekillendirilen.




4-1-4-nji çyzgy.

Bu shemada dolandyrmak bozulma Ž we gyşarma Y boýunça amala aşyrylýar. Gözegçilik edilmeýän täsirler F az bolanda dolandyryjy ululyk Ž bahasy boýunça saýlanyp alynýar. Eger F örän uly bolanda dolandyryjy ululygyň ΔX wariasiýasy dolandyrylýan ululygyň wariasiýasy ΔX boýunça saýlanyp alynýar.

Öz-özünden sazlanylýan ulgamlara dual dolandyrylýan ulgamlar diýilýär, sebäbi, ol iki baha eýe bolýar, ýagny, ol obýekti hem dolandyryjyny birden öwrenýär.

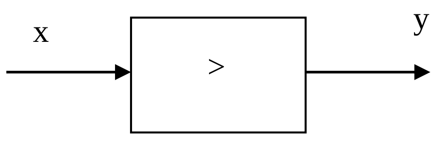
Dolandyrylýan hasaplaýjy maşynlaryň çykmagy bilen öz-özünden sazlanýan ulgamlar giň gerime eýe boldylar.

## 5. Göniçyzykly zweno boýunça signalyň geçmegi

Regulýar signallaryň we göniçyzykly zwenolaryň umumy häsiýetnamalary .

Awtomatiki dolandyryjy ulgamyň islendik bölegi zweno höküminde seredilip biliner. Bu zweno girýän signaly çykýan signala öwürýär. Eger zweno höküminde obýekte seretsek, onda onuň girýän signaly bolup dolandyryjy täsir, çykýan signaly bolup bolsa dolandyrylýan ululyk hyzmat edip biler. Ondanam başga, girýän signal bolup bozujy güýçler hem hyzmat edip biler.

Eger zweno signaly bir tarapa öwürýän bolsa, onda bu zweno ugrukdyrylan täsirli diýilýär. Dolandyrylýan obýektiň we elementar sazlaýjy ulgam ugrukdyrylan täsirli ulgam bolýarlar, sebäbi dolandyrylýan ululygyň üýtgemesi daşky täsirlere we ýumuşa täsir edip bilmeýärler. 5-1-nji çyzgyda görkezilen zweno seredeliň.




5-1-nji çyzgy.

Bu ýerde X girýän signal, Y bolsa çykýan signal. X bilen Y-ň baglanşygy deňlemeler bilen berilýär.

Eger X signal regulýar bolsa, oňa Y signaly wagtdan bagly bolýar. X bilen Y-ň baglanşygyny berýän differensial deňleme zwenonyň häsýetini aňladýar. Eger zweno göniçyzykly bolsa, onda differnsial deňlemeler hem göniçyzykly bolýar. Bu ýagdaýda X bilen Y-ň baglanşygy operator funksiýa bolýar. Hakykatda real zwenolar gönüçyzykly bolmaýarlar. Şonuň üçin olaryň gönüçyzykly görkezmesi diňe tekiz funksiýalar üçin X we Y az üýtgände mümkin bolýar.

Zwenolary derňänimizde iki mesele bolup biler: analiz we sintez. Analiz bolanda mesele şeýle goýulýar: X(t) signal we zwenonyň differensial deňlemesi berlen. Berlen başlangyç şertlerde Y(t) signaly tapmaly.

Sintez bolanda mesele tersine goýulýar; çykýan signal Y(t) berlen şertleri kanagatlandyrmaly we X(t) signal belli. Berlen şertleri kanagatlandyrýan zwenonyň parametrlerini tapmaly.

Analiz meseleleri bir bahaly. Sintez meseleleri bolsa bir bahaly däldirler. Şonuň üçin olary çözmeklik çylşyrymly bolýar. Sintez meselesi çözülende alynan parametrleri amala aşyryp bolýarmy ýa-da ýok, bu uly mesele.

## 5.1. Regulýar signallar

Islendik çylşyrymly signal ýönekeý signallaryň toplumy hökmünde görkezilip biliner.

Ýönekeý signallar hökmünde aşakdaky signallary getirp bolar:

1. garmoniki signal

$$e^{\imath(\omega t+\psi)} \text{ ýa} - da \sin(\omega t+\psi); \quad (5.1.1.)$$

2. ýekeleýin böküş (s kaçok).

$$1_o(t) = \begin{cases} 0, eger\ t \le o; \\ 1, eger\ t > o; \end{cases} \qquad (5.1.2.)$$

3. ýekeleýin impuls:

$$\delta(t) = \frac{d1_o(t)}{dt}; \qquad (5.1.3.)$$

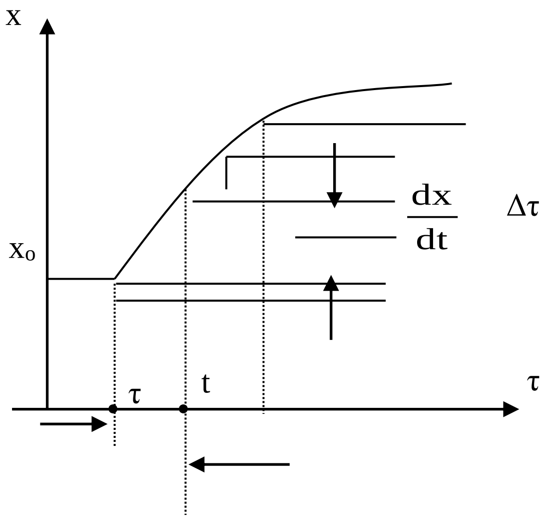
Bu funksiýalaryň Furýe we Laplas boýunça öwürmeleri sprawoçniklerde getirilýär.

Goý signal wagtdan bagly funksiýa X(t) görnüşinde berlen bolsun. Onda ony garmoniki signallaryň toplumy görnüşinde periodiki signallar üçin Furýeniň yzygiderligi we periodiki däl signallar üçin Furýeniň öwrülmeleri hököminde getrip bolar.

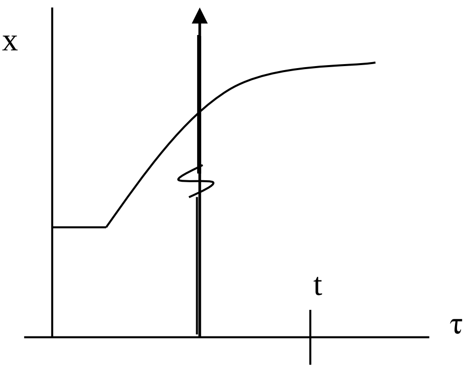
Dýuameliň integralyny ulanyp bu signaly ýa-da ýerleýin böküşleriň toplumy hököminde aşakdaky ýaly.

$$x(t) = \int_{\alpha}^{t+\alpha} x(\tau)\delta(t-\tau)d\tau, \alpha \to o \qquad (5.1.4.)$$

görnüşlerde aňladyp bolar. Bu integrallaryň grafiki aňlatmasy 5-1-1-nji çyzgyda görkezilen.




5-1-1-nji a, çyzgy.




5-1-1 -nji b, çyzgy.

Gönüçyzykly ulgamyň islendik signala reaksiýasyny bu signalyň ýönekeý dözüjilere dargadar, şol ýönekeý signallara ulgamyň reaksiýasynyň toplumy hököminde çözüp bolar. Bu utgaşdyrma (Nasanune) prinsipi esasynda amala aşyrylýar.

Islendik signaly t=o pursatda täsir edýän ýekeleýin böküşleriň integraly hökmünde

$$x(t) = A_o 1_o(t) + A_1 \int_o^t 1_o(t)dt + A_2 \int_o^t \int_o^t 1_0(t)dt^2 + \ldots$$

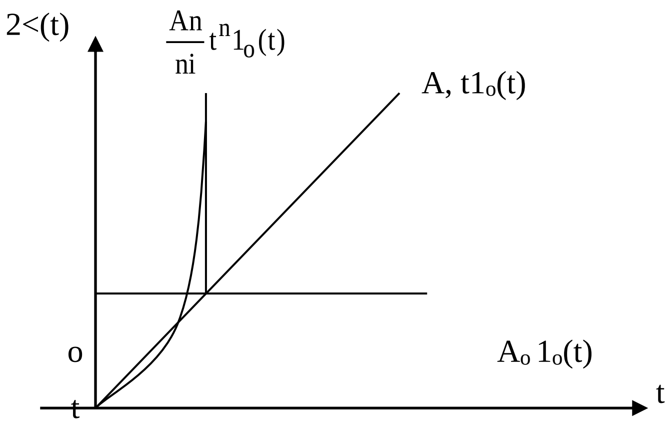
$$= 1_o(t) \sum_{i=o}^{n} \frac{A_i}{i_!} t^n \qquad (5.1.5.)$$

$$\acute{y}a - da\, t_k \;\; pursatda$$

$$x(t) = 1_o(t - t_k) \sum_{i=o}^{n} \frac{A_i}{i_!} (t - t_k)^n \qquad (5.1.6.)$$

görnüşde görkezip bolar.

Her düzüjiniň grafigi 5-1-2-nji çyzgyda görkezilen.




5-1-2-nji çyzgy.

Kä halatlarda signaly ýönekeý signallaryň köpeltmek hasyly hökminde hem seredip bolar. Mysal üçin, t=o pursatda täsir edip başlan garmoniki signaly aşakdaky ýaly görkezip bolar.;

$$x(t) = \sin(\omega t + \psi) \cdot 1_o(t) \qquad (5.1.7.)$$

## 6. Gönüçyzykly zwenolaryň deňlemeleri

Ýönekeý zwenonyň çykýan y we girýän x signallarynyň baglanşygynyň adaty differensial deňlemelrini aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$F\left(x, x^{'}_{,} ...., x^{(m)}, y, y^{'}_{,} ..., y^{(n)}, t\right) = o \qquad (6.1.)$$

Wagtyň üýtgemegi bilen üýtgemäniň parametrli ulgamda F wagtdan t bagly däl.

Gönüçyzykly ulgam üçin (1) deňleme aşakdaky görnüşi alýar:

$$b_o x + b_, x^{'} + .... + b_m x^{(m)} - (a_o y + a_, y^{'} + .... + a_n y^{(n)}) = o \qquad (6.2.)$$

Eger F funksiýa argumentlerinden tekiz baglanşykly bolsa we argumentler az üýtgände x we y baglanşygyny mydama gönileşdirip bolýar. Munuň üçin ony işçi nokadyň töwereginde Teýloryň hataryna dargadýarys we dargamada $X_o$ $+\Delta X$ birden ýokary derejelerini hasaba alman aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\sum_{i=o}^{m} ki \frac{d^{(i)} x}{dt^{(i)}} = \sum_{i=o}^{n} di \frac{d^{(i)} y}{dt^{(i)}} \qquad (6.3.)$$

Bu ýerde x we y ΔX we ΔY dereginde dur diýip hasap edýäris. Laplas boýunça şekillerine geçip bu deňlemäni aşakdaky ýaly hem ýazyp bolar;

$$K(\rho)\cdot x(p) = D(p)\cdot Y(p);$$

$$K(\rho) = \sum_{i=o}^{m} k_i p^i; \qquad (6.4.)$$

$$D(\rho) = \sum_{i=o}^{n} d_i p^i$$

bu ýerde p-şekil ýa-da operator.
P-ni Jω çalşyp ýygylyk häsýetnamalara hem geçip bileris:

$$K(j\omega)\cdot x(j\omega) = D(j\omega)\cdot Y(\omega). \qquad (6.5.)$$

Çylşyrymly zwenolar üçin, haçanda oňa girýän we çykýan signallar köp bolanda gönileşdirme şonuň ýaly. Tapawudy bir deňlemäniň deregine deňlemeler ulgamy emele gelýär.

## 7. Gönüçyzykly zwenolaryň häsiýetnamalary

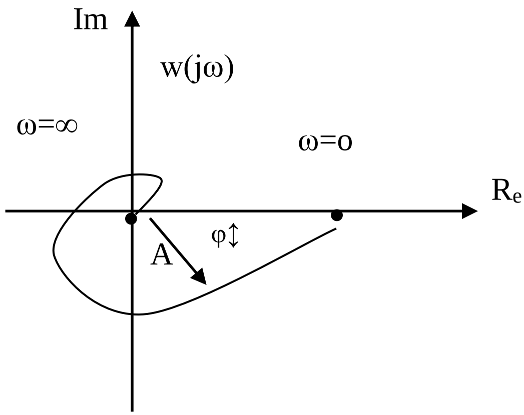
Gönüçyzykly zwenonyň häsiýetlerini mukdar tarapdan ýazmak üçin aşakdaky özara baglanşykly häsiýetnamalary ulanýarys:

1. Güýçlendirmäniň toplumlaýyn koeffisiýenti,
2. Beriş funksiýasy
3. Geçiş funksiýasy
4. Agram funksiýasy.

Olara sredeliň. Zwenonyň güýçlendirilişiniň toplumlaýyn koeffisiýenti, diýip onuň çykalgasyndaky signalyň toplumlaýyn amplitudasynyň onuň girelgesindäki signalyň toplumlaýyn amplitudasyna gatnaşygyna aýdylýar. Zwenonyň girelgesine sinusoidal täsir berilýär diýip hasap edýäris.

Zwenonyň doly häsiýetnamasyny ýygylyk nuldan tükeniksizlige çenli ütgändäki toplumlaýyn koeffisiýentiň üýtgemesi berýär. Zwenonyň toplumlaýyn kosffisiýentiniň wektorynyň soňky ujynyň üýtgemesiniň geometriki ýerlerine güýçlendirş koefisiýentiniň ýygylyk godograty ýa-da zwenonyň toplumlaýyn ýygylyk häsiýetnemsy diýilýär. Kä mahallar oňa amplihida-faza häsýetnamasy hem diýilýär.

Güýçlendirmäniň toplumlaýyn koeffisiýentiniň godogratynyň mysaly aşakda görkezilen:




7-1-nji çyzgy

Durmuşda gabat gelýän zwenolar üçin köplenç (1) deňlemede sanawjynyň derejesi maýdalawjynyň derejesinden kiçi. Bu godografda ω→∞ w(j ω) →O. bolanlygyny aňladýar.

Köp halatlarda ýygylyk godografyna derek w(ω) ululygyň fazadan y(ω) baglanşygyna serdýärler. Bu ýerde onuň amplitudasy diýip modulyna düşünilýär, ýagny, zwenonyň girelgesine birlige deň bolan sinusoidal signal berilende onuň çykalgasyndaky bahasyna düşünilýär.

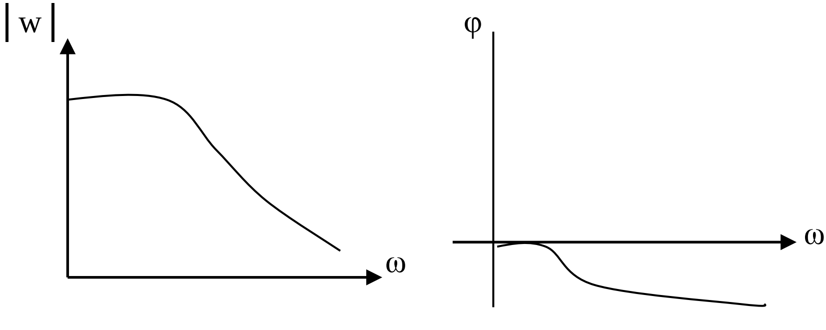
Bu grafikleri logarifmiki masştabda aňlatmaklyk amatlydyr. Munuň üçin absissa oky boýunça ýygylygyň onluk logarifimini ýerleşdirýärler. Bu ýagdaýda birlige ýygylygyň 10 gezek üýtgemesi gabat gelýär. Oňa ýygylyk dekadada ölçelýär diýilýär. Güýçlendiriş koeffisiýentiniň moduly $w(\omega)=|w(\omega)|$ desibelde ölçelýär.

$$L(\omega) = 20\lg \omega(\omega) \qquad (7.1.)$$

L(lgω) baglanşyga logarifmiki amplituda ýygylyk häsiýetnamasy diýilýär. (LAÝH).
y(lgω) baglanşyga bolsa logarifmiki fazaýygylyk häsýetnama diýilýär (LFÝH).

$$\begin{aligned} &Eger\ |w| < 1, onda \qquad L(\omega) < o. \\ &- II - |w| = 1, onda \qquad L(\omega) = o. \qquad (7.2.) \\ &- II - |w| > 1, onda \qquad L(\omega) > o. \end{aligned}$$

Eger ω→∞ real ulgamlarda w→O, şonuň üçin L→∞.



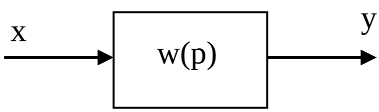

7- 2-nji çyzgy.

## 8. Zwenonyň beriş funksiýasy

Zwenonyň beriş funksiýasy w(p) diýip nul başlangyç şertlerde zwenonyň çykalgasyndaky signalyň şekiliniň onuň girelgesindäki signalyň şekiline bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{K(p)}{D(p)}. \qquad (8.1.)$$

Struktura shemada beriş funksiýasy aşakdaky ýaly bolýar.




8-1-nji çyzgy.

Beriş funksiýadan güýçlendirmäniň toplumlaýyn koeffisiýentine geçmeklik p-ni j ω-ä çalyşmak arkaly amala aşyrylýar.

Eger beriş funksiýasynyň polýuslary Piwe nullary Si belli bolsa, onda (1) deňlemäni aşakdaky görnüşde hem aňladyp bolar:

$$W(p) = \frac{K(p)}{D(p)} = \frac{km\prod_{i=1}^{m}(p - \gamma i)}{dn\prod_{i=1}^{n}(p - pi)}. \qquad (8.2)$$

Polýus diýlip D(p)=0 deňlemäniň köklerine, nul diýlip bolsa K(p)=0 deňlemäniň köklerine aýdylýar.

(2) deňlemede sanawjynyň we maýdalowjynyň umumy kökleri ýok diýip hasap edýäris, sebäbi olar gysgalýarlar.

w(p) funksiýany elementar droblara dargadyp (2) deňlemäni aşakdaky görnüşde hem ýazyp bolýar:

$$W(p)=\sum_{i=1}^{n}\frac{K(p_i)}{D(p_i)\cdot(p-p_i)}=\frac{k(o)}{D(o)}+\sum_{i=1}^{n}\frac{p\cdot k(p_i)}{p_iD'(p_i)\cdot(p-p_i)} \qquad (8.3.)$$

(3) deňlemede w(p)-ň krany polýuslary ýok we n>m diýip hasap edýäris.

## 8.1. Zwenonyň geçiş funksiýasy

Zwenonyň geçiş funksiýasy diýip zwenonyň girelgesine ýekeleýin böküş görnüşli $1_o(t)$ signal berilende onuň çykalgasyndaky signala aýdylýar. Geçiş funksiýasy h(t) diýilp bellenilýär. Zweno girýän signalyň Laplas boýunça şekili.

$$H(p)=Y(p)=\frac{w(p)}{p}. \qquad (8.1.1)$$

Şekilden orginala geçip, geçiş funksiýanyň wagt boýunça üýtgemesini tapýarys.

$$h(t)=y(t)=L^{-1}\left[\frac{w(p)}{p}\right]. \qquad (8.1.2)$$

(3) deňlemeden görnüşi ýaly geçiş funksiýasy beriş funksiýasy bilen biratly baglanşykda bolýar.

Geçiş funksiýany operator we klassiki usullar boýunça hasaplap bolar.
Beriş funksiýany aşakdaky görnüşde aňlatsak

$$w(p) = \frac{K(o)}{D(o)} + \sum_{i=1}^{n} \frac{p \cdot k(p_i)}{p_i D'(p_i)(p - P_i)}. \qquad (8.1.3.)$$

onda geçiş funksiýany aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$h(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{k(p_i)}{p_i D'(p_i)} (e^{p_i t} - 1) 1_o(t) \qquad (8.1.4.)$$

$$ýa - da$$

$$h(t) = \left[ \frac{K(o)}{D(o)} + \Sigma i \overset{n}{=} 1 \frac{K(p_i)}{P_i D'(p_i)} e^{p_i t} \right] 1_o(t) \qquad (8.1.5.)$$

Geçiş funksiýanyň köşeşen bahasy:

$$h_{köş} = h(\infty) = \frac{K(o)}{D(o)} = w(o) \qquad (8.1.6.)$$

Zwenonyň statiki häsýetylerini aňlatýar.
Geçiş funksiýanyň erkin (geçiş) düzüjisi:

$$h_e(t) = h(t) - h(\infty) = L^{-1} \left[ \frac{w(p) - w(o)}{p} \right] =$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{K(p_i)}{P_i D'(P_i)^{eP_i t}} \qquad (8.1.7.)$$

Agram, ýa-da implus geçiş funksiýasy ω(t) diýip zwenonyň girelgesine ýekeleýin implus δ(t) signal berilende, onuň çykalgasyndaky signala aýdylýar. Laplas boýunça girýän signalyň şekili

$$X(p) = 1 \qquad (8.1.8.)$$

bolýar, çykýan signalyň şekili bolsa

$$Y(p) = w(p) \qquad (8.1.9.)$$

Şekilden orginala geçsek, agram funksiýa üçin aşakdaky alarys.

$$\omega(t) = y(t) = L^{-1}[w(p)] \qquad (8.1.10)$$

Diýmek, agram funksiýasy beriş funksiýasynyň orginaly bolýar. Agram funksiýanyň şekili w(p) beriş funksiýanyň H(p) şekilinden diňe p köpeldiji bilen tapawutlanýar, şonuň üçin

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt} \qquad (8.1.11.)$$

şonuň üçin geçiş funksiýany bilsek, zwenonyň agram funksiýasyny mydama tapyp bolýar.

$$\omega(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{k(p_i)}{D'(p_i)} e^{pit} \cdot 1_o(t) \qquad (8.1.12.)$$

## 9. Zwenolaryň durnuklylygy

Zwenonyň durnuklylygy kökleriň $P_i$ haýsy kwodrantda ýatýanlygyndan bagly. Gönüçyzykly zwenolar üçin durnuklylygy kesgitlemek has hem aňsat bolaýr.

Gönüçyzykly zweno durnukly diýip hasap edilýär, haçanda daşky täsir gutarandan soň zweno wagtyň geçmegi bilen başlangyç ýagdaýyna gaýdyp gelse.

Ýekeleýin implus gysga wagtly täsir hököminde seredilip biliner. Şonuň üçin agram funksiýasy boýunça zwenonyň häsýeti hakynda agram funksiýanyň $t \to \infty$ wagt nula ymtylandaky bahasy boýunça netijä gelip bolar: Eger

$$\lim_{t \to \infty} \omega(t) = 0 \qquad (9.1.)$$

onda zweno durnukly.

Eger

$$\lim_{t \to \infty} \omega(t) = \infty \qquad (9.2.)$$

onda zweno durnuksyz.

Eger.

$$\lim_{t\to\infty} \omega(t) \neq \begin{Bmatrix} O \\ \infty \end{Bmatrix} \qquad (9.3.)$$

Onda zweno neýtral diýilýär.

Köküň her bir hakyky bahasy P=2; üçin aşakdaky görnüşli düzüji degişli bol

$$\omega;(t) = c; e^{\alpha t} \qquad (9.4.)$$

$$bu \;\; \acute{y}erde$$

$$c = \frac{k(p_i)}{D'(p_i)} \qquad (9.5.)$$

Häsiýetlendiriji deňlemäniň köküniň kompleks jübtine

$$P_i = \alpha_i + j\omega_i$$
$$P_{i+1} = \alpha_i - j\omega_i \qquad (9.6.)$$

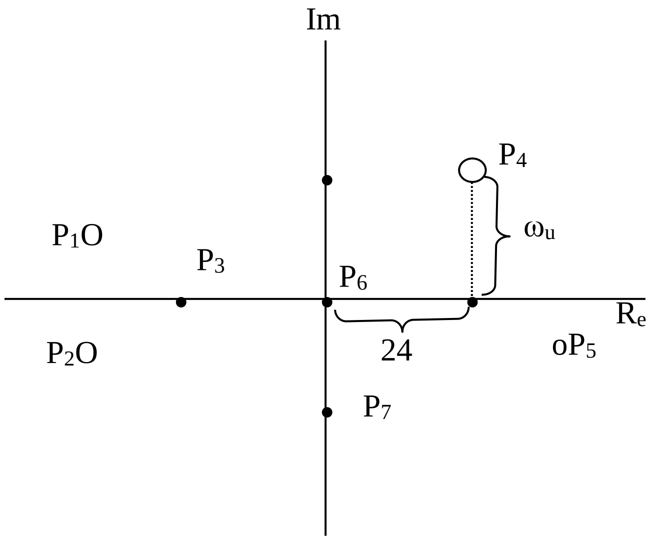
aşakdaky görnüşli düzüji degişli bolýar.

$$\omega_k(t) = \omega_i(t) + W_{i+1}(t) = C_1 e^{(\alpha_i + j\omega_i)t} +$$
$$+ C_{i+1} e^{(\alpha_i - j\omega_i)t} = 2Me^{\alpha_i t} \cdot C_n(\omega_i t + \varphi_i) \qquad (9.7.)$$

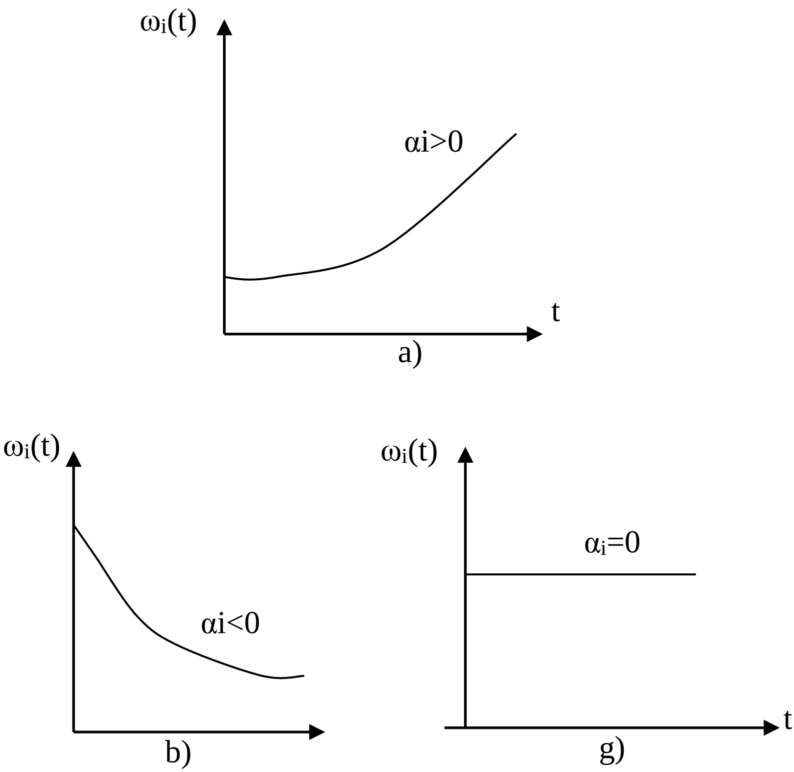
Kökleriň üç hili ýerleşişini tapawutlandyryp bolýar.

1. Köküň hakyky bölegi polažitel ($\alpha_i$ >o);
2. Köküň hakyky bölegi otrisatel ($\alpha_i$ <o);
3. Köküň hakyky bölegi nula deň ($\alpha_i$ =o);

Birinji ýagdaýda kök oklaryň sag ýarym tekizliginde ýerleşýär, ýagny hyýaly okdan sagda ýerleşýär. (9-1-nji çyzgyda). ($P_4$,$P_5$)




9-1-nji çyzgy.

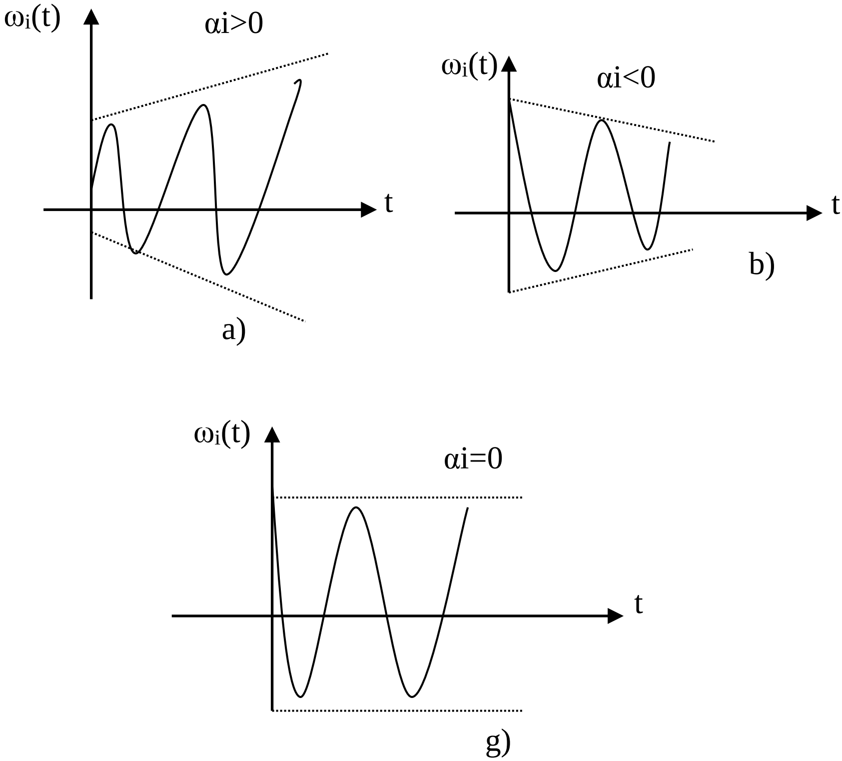



9-2-nji çyzgy.

Ikinji ýagdaýda kök oklaryň çep ýarym tekizliginde ýerleşýär ($P_1$,$P_2$,$P_3$).

Üçinji ýagdaýda kök hyýaly okda ýerleşýär ($P_6$,$P_7$). Köküň ýerleşişinden baglylykda $\omega_i(t)$ düzüjiniň wagt boýunça üýtgemesi hem dürli hili bolýar. Eger ($\alpha_i$ >o), şoňa degişli düzüji wagt geçmegi bilen tükeniksizlige ymtylýar, zweno durnuksyz bolýar. Eger ($\alpha_i$ <o), bolsa, onda oňa degişli düzüji wagt geçmegi bilen nula ymtylýar, zweno durnukly bolýar. Eger ($\alpha_i$ =o) bolsa, onda oňa degişli düzüji nuldan tapawutlanýar we hemişelik bolýar, zweno neýtral bolýar. 9-2-nji çyzgyda bu ýagdaýlaryň grafikleri görkezilen.

Köküň hyýaly düzüjisinden baglylykda geçiş prosesiniň häsýeti 9-3-nji-çyzgyda görkezilen.




9-3-nji çyzgy.

Şeýlelikde, gönüçyzykly zwenonyň durnuklylygynyň hökmany we ýeterlik şertleri bolup köküň hakyky böleginiň otrisatel bolmagy hyzmat edýär, ýagny w(p) beriş funksiýanyň hemme polýuslarynyň hakyky bölegi otrisatel bolmalydyr. Olaryň hemmesi çep ýarym tekizlikde ýerleşmeli.

Zwenonyň ýokarda seredilen dört häsiýetnamasy biri-biri bilen biratly baglanşykda bolýarlar. Olaryň birini bilsek, beýlekisini aňsat tapyp bolýar. Köplenç beriş funksiýasy w(p) berilýär. Onuň üsti bilen beýlekilerini tapyp bolýar.

### 10. Gönüçyzykly zwenonyň erkin signaly öwrüşi

Zwenonyň häsiýetnamasyny bilip, onuň girelgesine berilýän islendik signal esasynda onuň çykalgasyndaky signaly tapyp bolýar. Islendik çylşyrymly signaly sinusda, ýekeleýin böküş ýa-da ýekeleýin impulsyň toplumy hököminde seredilip biliner. Bu toplumyň her bir elementar düzüjisini zwenonyň girelgesine berilende, onuň çykalgasyndaky signaly tapyp bolýar. Gönüçyzykly ulgam üçin üstüne goýma prinsipi ulanyp, çykýan signaly ulgamyň girýän elementar signallara reaksiýanyň toplumy hököminde seredip bolar.

Eger girýän signal ýygylyk spektory X(jω) hökmünde seredilse, onda çykýan signal hem ýygylyk spektori hökmünde tapylyp biliner:

$$Y(j\omega) = w(j\omega) \cdot x(j\omega) \qquad (10.1.)$$

Eger girýän signal x(p) şekil görnüşinde berlen bolsa, onda çykýan signalyň şekili aşakdaky ýaly tapylar:

$$Y(p) = w(p) \cdot x(p) \qquad (10.2.)$$

Eger girelgedäki signal wagt funksiýasy x(t) görnüşinde berlen bolsa, onda çykalgadaky signal geçiş ýa-da agram funksiýalaryň kömegi bilen tapylyp biliner.

x(t) signaly ýekeleýin böküşleriň toplumy hököminde seretsek, onda zwenonyň olara reaksiýasyny aşakdaky ýaly tapyp bolar:

$$y(t) = x(o)h(t) + \int_o^t h(t-\tau)\frac{dx(\tau)}{d\tau}d\tau \qquad (10.3)$$

Şoňa meňzeş edip berlen signaly ýekeleýin impluslaryň toplumy höküminde serdip, çykýan signaly aşakdaky ýaly hem tapyp bolýar.

$$y(t) = h(o)x(t) + \int_o^t \omega(t-\tau)x(\tau)d\tau \qquad (10.4)$$

Bu formulalar başlangyç şertler nul bolan ýagdaýy üçin hakykydyr. Eger başlangyç şertler nuldan tapawutly bolsa. ony hasaba almagyň hem usuly bar, emma ol örän çylşyrymly.

## 10.1. Awtomatiki dolandyrmagyň gönüçyzykly ulgamlarynyň kysymly zwenolary

Kysymly gönüçyzykly zwenolaryň umumy häsiýetnamalary.

Hakyky ulgamlarda bolup geçýän prosesleri derňemek üçin ideallaşdyrylan shemalary ulanýarlar. Bu shemalar matematiki takyk ýazylýarlar, emma hakyky zwenolary takmynan häsýetlendirýärler. Munuň üçin awtomatiki dolandyryş nazarynda kysymly zweno diýen düşünjäni girizýärler. Bu zwenolaryň beriş funksiýalary diňe kesgitli ýygylyk dianmozonynda hakyky zwenolara gabat gelýärler.

Ideallaşdyrylan kysymly zwenolary aşakdakylara bölmek bolar:

1. Iň ýönekeýje zwenolar. Bulara proporsional, integrirleýji we differensirleýji zwenolar girýärler
2. Birinji derejeli zwenolar. Bulara inersion, inersion-differensirleýji, forsirleýji we inersion-forsirleýji zwenolar degişlidirler;
3. Ikinji derejeli yrgyldyly zwenolar. Ähli kysymly zwenolar rasional drob görnüşli beriş funksiýasy bilen häsýetlendirilýärler:

$$w(p) = \frac{k(p)}{D(p)}. \qquad (10.1.1.)$$

Bu funksiýanyň nullary we polýuslary aşakdaky deňlemelerden kesgitlenýärler:

$$K(p)=O \qquad (10.1.2.)$$
$$D(p)=O \qquad (10.1.3.)$$

Çylşyrymly gönüçyzykly zwenolar kysymly zwenolaryň birikdirilmesi höküminde seredilip biliner.

## 10.2. Ýönekeýje zwenolar

Proporsional zwenolar. Iň ýönekeý zweno bolup, onuň çykýan ululygy girýän ululygyna göni proporsional bolan zwenolar hyzmat edýär. Beýle zwenonyň deňlemesi:

$$y = K \cdot X, \qquad (10.2.1)$$

bu ýerde K–zwenonyň güýçlendiriş koeffisiýenti. Ýönekeýje zwenolaryň mysaly hökmünde aşakdakylary getirip bolar:

1. Naprýaženiýe bölüjisi.
2. Hemişelik toguň güýçlendirijisi.
3. Ryçagly beriji.
4. Reduktor we başgalar.

Zwenonyň girelgesinden çykalgasyna signal saklanman, pursatda berilýär diýip hasap edýäris. Şonuň üçin proporsional zwenolara inersiýasyz zwenolar hem diýilýär.

Eger proporsional zwenonyň girelgesine sinosoidal signal bersek;

$$x = Xm \cdot \sin \omega t, \qquad (10.2.2.)$$

onda onuň çykalgasynda aşakdaky signal dörär:

$$y = Ym \cdot \sin \omega t, \qquad (10.2.3.)$$

bu ýerde

$$Ym = k \cdot Xm \qquad (10.2.4.)$$

Kompleks görnüşde.

$$\dot{Y} = k\,\dot{X} \;\; ýa-da\, Y(j\omega) = k \cdot X(j\omega) \quad (10.2.5.)$$

Kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti

$$w(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = K \qquad (10.2.6.)$$

Güýçlendiriş koeffisiýentinden beriş funksiýasyna geçip alarys:

$$w(p)=K \qquad (10.2.7)$$

Şeýlelik-de geçiş we agram funksiýalary üçin taparys;

$$h(t) = K \cdot 1_o(t). \qquad (10.2.8.)$$

$$w(t) = K \cdot \delta(t). \qquad (10.2.9.)$$

## 11. Integrirleýji zweno

Integrirleýji zweno diýip çykýan signalyň girýän signalyň wagt integralyna proporsional ýa-da deň zwenolara aýdylýar.

$$y = k \int_o^t x(t)dt + y_o, \qquad (11.1.)$$

bu ýerde K-proporsionallyk koeffisiýenti.

Integrirleýji zwenolaryň mysaly hökmünde elektriki sygym, induktiwlik, aýlanýan ok we başgalary getirip bolar.

Eger zwenonyň girelgesine $x = X m \sin \omega t$ signaly bersek, onda:

$$y = -\frac{k}{\omega} X_m \cos \omega t, \qquad (11.2.)$$

$$ýa - da$$

$$Y(j\omega) = \frac{K}{j\omega} X(j\omega) \qquad (11.3.)$$

Onuň kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti;

$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{k}{j\omega} = \frac{k}{\omega} e^{-1\frac{\pi}{2}} \qquad (11.4.)$$

Beriş funksiýasy:

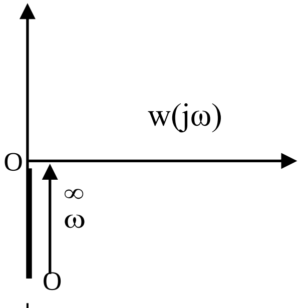
$$w(p) = \frac{K}{p}. \qquad (11.5.)$$

Geçiş we agram funksiýalary:

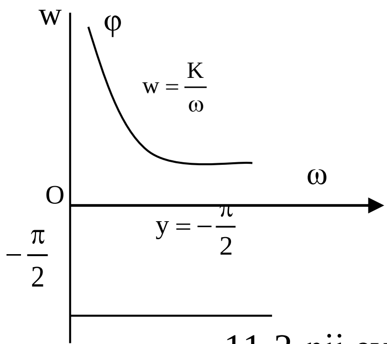
$$h(t) = K \cdot t \cdot 1_o(t); \qquad (11.6.)$$

$$w(t) = K \cdot 1_o(t). \qquad (11.7.)$$

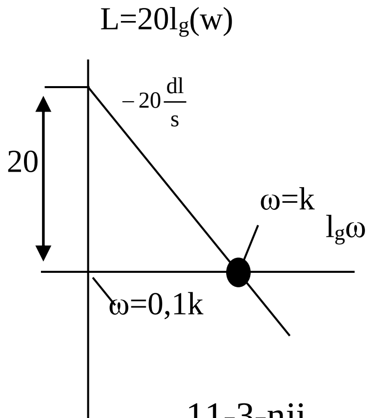
Integrirleýji zwenolaryň häsýetnamalary aşakda görkezilen.



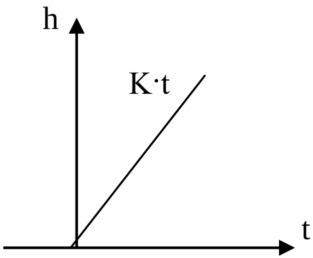

11-1-nji çyzgy.



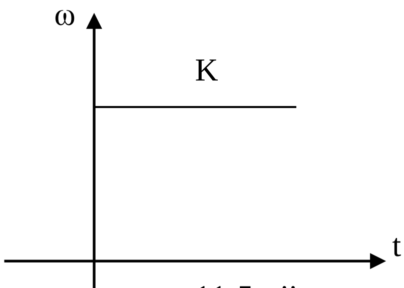

11-2-nji çyzgy.




11-3-nji çyzgy.




11-4-nji çyzgy.




11-5-nji çyzgy.

## 11.1. Differensirleýji zweno

Differensirleýji zweno diýip çykýan signal girýän signalyň proizwodnysyna proporsional ýa-da deň bolan zweno aýdylýar. Hakyky durmuşda arassa diferensirleýji zweno ýok.

$$y = k\frac{dx}{dt}, \qquad (11.1.1)$$

K– koeffisiýent.

Differensirleýji zwenonyň mysaly hökmünde sygymy, induktiwligi, tanometri getirmek bolar.

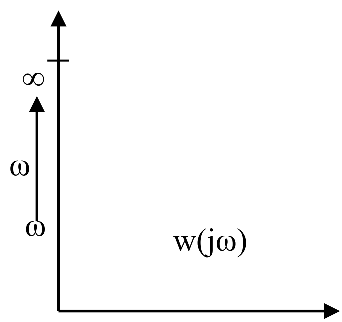
Zwenonyň kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti:

$$w(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = jk \cdot \omega = k\omega \cdot e^{j\frac{\pi}{2}} \qquad (11.1.2.)$$

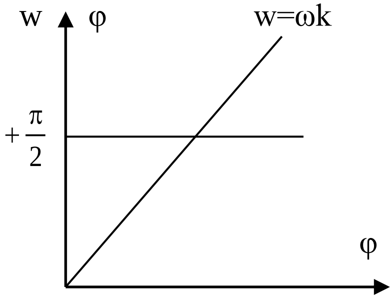
Beriş, geçiş we agram funksiýalary:

$$w(p) = pk; \qquad (11.1.3.)$$
$$h(t) = k \cdot \delta(t); \qquad (11.1.4.)$$
$$w(t) = k \cdot \delta'(t). \qquad (11.1.5.)$$

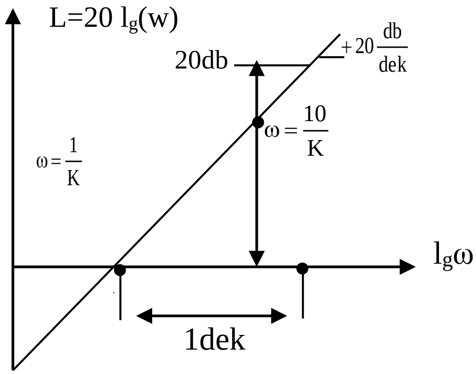
Bu funksiýalaryň grafikleri aşakdaky çyzgylarda görkezilen.



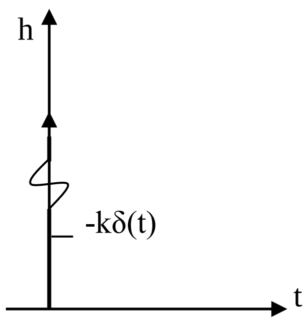

11-1-1-nji çyzgy.



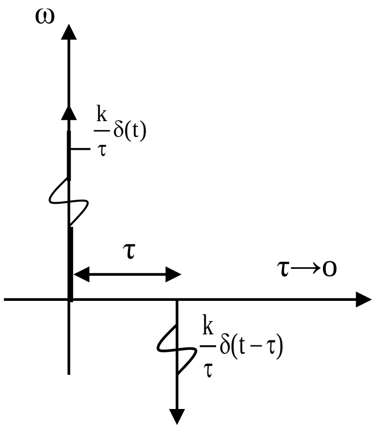

11-1-2-nji çyzgy.




11-1-3-nji çyzgy.




11-1-4-nji çyzgy.




11-1-5-nji çyzgy.

## 12. Birinji derejeli zwenolar

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

$$y + T\frac{dy}{dt} = k \cdot x \qquad (12.1.)$$

bu ýerde k – zwenonyň güýçlendiriji koeffisiýentiň ;
T – zwenonyň wagt hemişeligi.

Inersion zwenonyň kompleks güýçendiriş koeffisiýenti

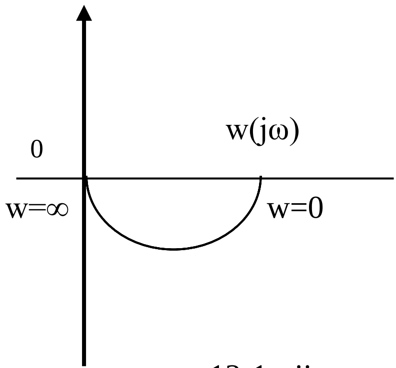
$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{x(j\omega)} = \frac{k}{1 + j\omega T} \qquad (12.2.)$$

Zwenonyň ýygylyk häsiýetnamalary :

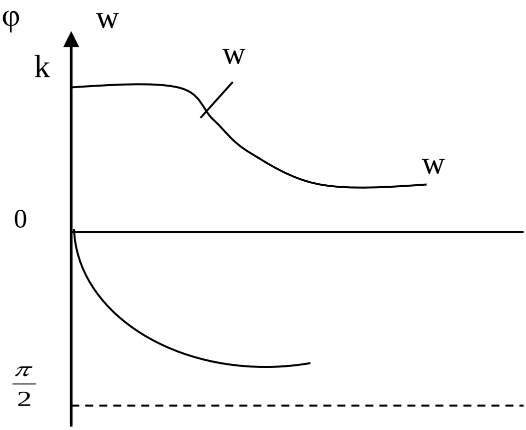
$$W(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1+(\omega T)^2}} \qquad (12.3.)$$

$$\varphi(\omega) = -\arg t\ \omega T \qquad (12.4.)$$

Bu häsiýetnamalar 12-1-nji çyzgyda we 12-2-nji çyzgyda görkezilen.




12-1-nji çyzgy.



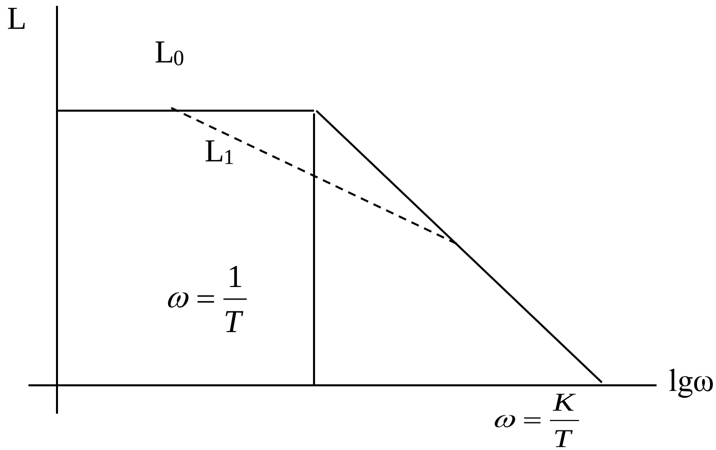

12-2-nji çyzgy.

Zwenonyň logaritmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy aşakdaky ýaly bolýar :

$$L(\omega) = 20\lg/\, w / = 20\lg k - 10\lg[1 + (\omega wT)^2] \qquad (12.5.)$$

(5) deňlemäniň grafigi 3-nji çyzgyda görkezilen

$$20 = \frac{db}{dek} \qquad (12.6.)$$




12-3-nji çyzgy.

Inersion zwenonyň beriş funksiýasy :

$$W(p) = \frac{k}{1 + pT} \qquad (12.6.)$$

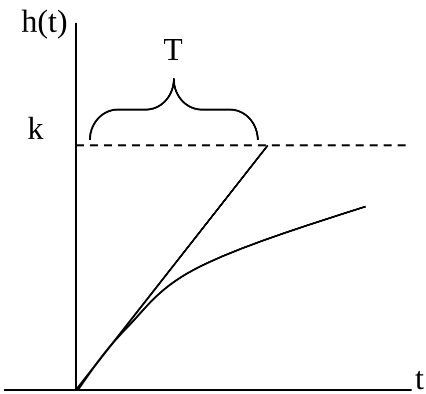
Inersion zwenonyň geçiş funksiýasy :

$$h(t) = k(1 - e - \frac{t}{T}) \cdot 10(t) \qquad (12.7.)$$

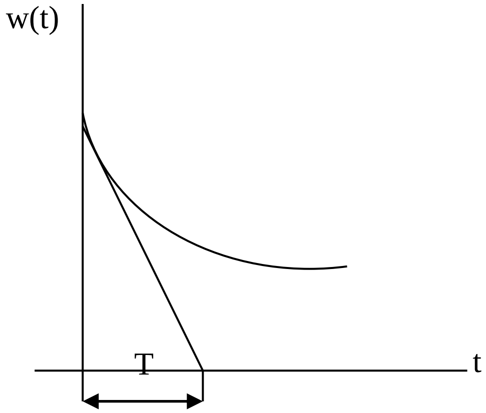
Inersion zwenonyň agram funksiýasy :

$$w(t) - \frac{k}{T} \cdot e - \frac{t}{T} \cdot 1_0\,(t) \qquad (12.8.)$$

Geçiş we agram funksiýalary grafikleri aşakdaky ýaly :




12-4-nji çyzgy.




12-5-nji çyzgy.

## 12.1. Forsirleýji zweno

$$y = k(x + T\frac{dx}{dt}) \qquad (12.1.1)$$

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

Forsirleýji zwenonyň esasy häsiýetnamalary aşakdaky ýaly bolýarlar :

güýçlendirmäniň kompleks koeffisiýenti :

$$W(j\omega) = k(1 + j\omega T) \; ; \qquad (12.1.2.)$$

$$W(\omega) = k\sqrt{1 + (\omega T)^2} \; ; \qquad (12.1.3.)$$

faza – ýygylyk häsiýetnamasy :

$$\varphi(\omega) = arctg\,\omega T; \qquad (12.1.4.)$$

Logaritmiki – ýygylyk häsiýetnamasy :

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg k + 10 \cdot \lg[1 + (\omega T)^2]; \qquad (12.1.5.)$$

Beriş funksiýasy :

$$W(p)=k(1+pT) \qquad (12.1.6.)$$

Geçiş funksiýasy :

$$h(t)=k\cdot 1_0(t)+k\cdot T\cdot\delta(t) \qquad (12.1.7.)$$

Agram funksiýasy :

$$w(t)=k\cdot\delta(t)+k\cdot T\delta^{/}(t) \qquad (12.1.8.)$$

## 12.2. Inersion-differensirleýji zweno

$$y + T\frac{dy}{dt} = k\frac{dx}{dt} \qquad (12.2.1.)$$

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

Kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti :

$$w(j\omega) = \frac{k \cdot j\omega}{1 + j\omega \cdot T} \qquad (12.2.2.)$$

Amplituda – ýygylyk häsiýetnamasy:

$$W(\omega)=\frac{k\cdot\omega}{\sqrt{1+(\omega T)^2}} \qquad (12.2.3.)$$

faza-ýygylyk häsiýetnamasy :

$$\varphi(\omega)=\frac{\pi}{2}\ -arctg\ \omega T \qquad (12.2.4.)$$

Logaritmiki – ýygylyk häsiýetnamasy

$$L(\omega)=20lg\ k\cdot\omega-10\ lg[1+(\omega T)^2] \qquad (12.2.5.)$$

Beriş funksiýasy :

$$W(\rho)=\frac{k\cdot p}{1+pT} \qquad (12.2.6.)$$

Geçiş funksiýasy :

$$h(t)=\frac{k}{T}e-\frac{t}{T}\cdot 1_0(t) \qquad (12.2.7.)$$

Agram funksiýasy

$$w(t)=\frac{k}{T}\delta(t)-\frac{k}{T^2}e^{-\frac{t}{T}}\cdot 1_0(t) \qquad (12.2.8.)$$

## 12.3. Inersion-forsirleýji zweno

$$y+T\frac{dy}{dt}=k(x+T_0\frac{dx}{dt}), \qquad (12.3.1.)$$

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

Zwenonyň esasy häsiýetnamalary aşakdaky ýaly bolýarlar.

Kompleks güýçlendiriş koeffisienti

$$W(j\omega)=\frac{k(1+j\omega T_0)}{1+j\omega T} \qquad (12.3.2.)$$

Beriş funksiýasy :

$$W(\rho)=K\frac{1+pT_0}{1+pT} \qquad (12.3.3.)$$

Geçiş funksiýasy :

$$h(t)=k\left[1+(\tau-1)e^{-\frac{t}{T}}\right]\cdot 1_0(t) \qquad (12.3.4.)$$

Agram funksiýasy :

$$w(t)=\frac{k}{T}(1-\tau)e^{-\frac{t}{T}}\cdot 1_0(t)+k\tau\delta(t) \qquad (12.3.5.)$$

Bu formulalarda

$$\tau=\frac{T_0}{T} \qquad (12.3.6.)$$

## 12.4. Yrgyldyly zweno

Yzgyldyly zweno ikinji derejeli deňleme bilen ýazylýar :

$$y+2\xi\cdot T\frac{dy}{dt}+T^2\frac{d^2y}{d+2}=k\cdot x\ , \qquad (12.4.1.)$$

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

$$1+2\zeta pT+(pT)^2=0 \qquad (12.4.2.)$$

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

$$T = \frac{1}{\omega_0} \qquad (12.4.3)$$

ýa-da

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \qquad (12.4.4)$$

Kä halatlarda (6) deňlemäni aşakdaky ýaly hem ýazýarlar :

$$\frac{2^2 y}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{dy}{dt} + y \cdot \omega_0^2 = k_1 x \qquad (12.4.5)$$

bu ýerde:

$$k_1 = k \cdot \omega_0^2 \qquad (12.4.6.)$$

Yrgyldyly zwenonyň kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti aşakdaky ýaly ýazylýar :

$$w(j\omega) = \frac{k}{1 + 2\xi\, j\omega T + (j\omega T)^2} \qquad (12.4.7.)$$

Beriş funksiýasy :

$$w(p) = \frac{k}{1 + 2\xi\, pT + (pT)^2} \qquad (12.4.8.)$$

Geçiş funksiýasy

$$h(t) = k \cdot 1_0(t)\left[1 - e^{-\beta t}(\cos\omega_1 t + \frac{\beta}{\omega_1}\cdot\sin\omega_1 t)\right] \qquad (12.4.9.)$$

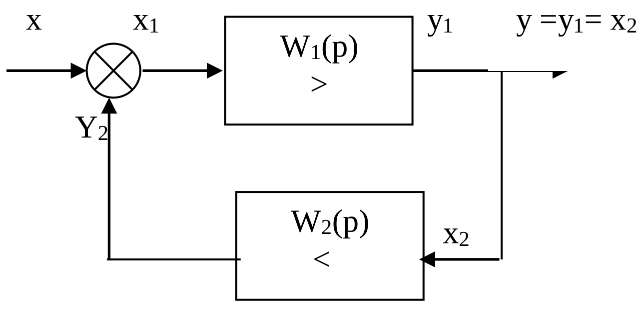
Agram funksiýasy :

$$\omega(t) = \frac{k\omega_0^2}{\omega_1}\cdot 1_0(t)e^{-\beta t}\cdot\sin\omega_1 t \qquad (12.4.10.)$$

## 13. Zwenolaryň garşylyklaýyn-parallel birikdirilmegi

Iki zwenonyň garşlyklaýyn-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 girelgesine 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 zweno göni baglanşykly zweno diýilýär.

Umumy signalyň ugrunyň garşysyna ugrukdyrylan zweno ters baglanşyk zwenosy diýilýär.

Eger signalyň alamaty umumy signalyň ugry bilen gabat gelýän bolsa, onda oňa položitel ters baglanşyk diýilýär. Eger ters baglanşygyň signaly umumy signaldan aýrylýan bolsa, onda oňa otrisarel ters baglanşyk diýilýär.

Garşylyklaýyn-parallel birikdirmede göni we ters baglanşyklaryň zwenolary yzygider birikdirilýärler, ýagny olar ýapyk 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 (13.1.)
   b) $x_1 = x - y_2$ – otnositel ters baglanşykda (13.2.)

Çykalganyň deňlemeleri :

$$y = y_1 = x_2 \qquad (13.3.)$$

Yrgyldylar nazarynda diňe položitel ters baglanşyk ulanylýar.

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

$$Y(p) = W(p) \cdot x(p); Y_1(p) = W_1(p) \cdot x_1(p); Y_2(p) =$$
$$= W_2(p) x_2(p) \qquad (13.4.)$$

taparys :

$$x_1(p) = \frac{Y(p)}{W_1(p)} = x(p) - W_2(p) \cdot Y(p) \qquad (13.5.)$$

Bu ýerden

$$Y(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)} \cdot x(p)\ , \qquad (13.6.)$$

ýa-da

$$W(p) = \frac{Y(p)}{x(p)} = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)} \qquad (13.7.)$$

Drob-resional beriş funksiýaly zwenolar üçin

$$W_1(p) = \frac{k_1(p)}{D_1(p)} \quad we \qquad W_2(p) = \frac{k_2(p)}{D_2(p)} \qquad (13.8.)$$

onda (5) deňleme aşakdaky ýaly hem ýazylyp biliner :

$$W(p) = \frac{k_1(p) \cdot D_2(p)}{k_1(p) \cdot k_2(p) + D_1(p) \cdot D_2(p)} \qquad (13.9.)$$

Bu deňlemeden aşakdaky netijä 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 bar hem bolsa, bu birikdirmede ulgam durnukly bolup biler.

Girýän signal garmoniki bolanda güýçlendirmäniň kompleks koeffisiýenti :

$$W(j\omega) = \frac{W_1(j\omega)}{1+W_1(j\omega)\cdot W_2(j\omega)} \qquad (13.10.)$$

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

Eger ters baglanşygyň zynjyry differensirleýji zweno bolsa, onda ters baglanşyga çeýe ýa-da differensirleýji diýilýär.

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

## 14. Awtomatiki sazlanýan ulgamlaryň durnuklylygy

Meseläniň goýluşy

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

Durnukly däl obýekt durnukly awtomatiki dolandyrylýan 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

$$W_Y(p) = \frac{k(p)}{D(p)} \quad , \qquad (14.1.)$$

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

$$D(p) = 0 \qquad (14.2.)$$

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

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

$$W_Y d(p) = \frac{W_Y(p)}{1 + W_Y(p)} \qquad (14.3.)$$

(1) deňlemäni (3) goýup taparys :

$$W_Y d(p) = \frac{k(p)}{D(p) + k(p)} \qquad (14.4.)$$

Ýazdyrylmadyk ulgamyň durnuklylygyň şerti aşakdaky deňlemeden tapylýar :

$$D(p) + k(p) = 0 \qquad (14.5.)$$

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 ýerleşýändigi 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 däldigini 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) Naýkwistoň

Algebraiki kriteriler.

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

## 15. Gurwisiň kriterisi

Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesine seredeliň:

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + .... + a_1 p + a_0 = 0 \qquad (15.1.)$$

Bu deňlemäniň koeffisiýentlerinden aşakdaky tablisany düzeliň :

$$
\begin{array}{llll}
a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \ldots\ldots\ldots\ldots & \\
a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \\
0 & a_n & a_{n-2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \\
0 & 0 & a_{n-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \\
 & & \vdots & \\
0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots a_4 \;\; a_2 & a_0
\end{array}
$$

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 elementinde 2- ýazyp setirleri doldurýarys. Baş diagonaldan sag tarapa setirleri her indiki elementiň indiksini 2-ä köpeldip, setirleri doldurýarys. Eger deňlemäniň derejesi n bolsa, onda n-den uly indeksli elementiň we θ-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:

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

$$
\Delta_{n-1} \rangle 0; \qquad \Delta_n \rangle 0
$$

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

## 15.1. Mihaýlowyň kriterisi

Ýygylyk kriterileriniň esasynda funksiýalar teoriýasynda belli bolan argument prinsipi ýatyr.

Goý, hakyky koeffisiýentli : algebraik deňleme berlen bolsun :

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + ......... + a_1 p + a_0 = 0 \qquad (15.1.1.)$$

Bu köpçleni aşakdaky görnüşde ýazyp bolar :

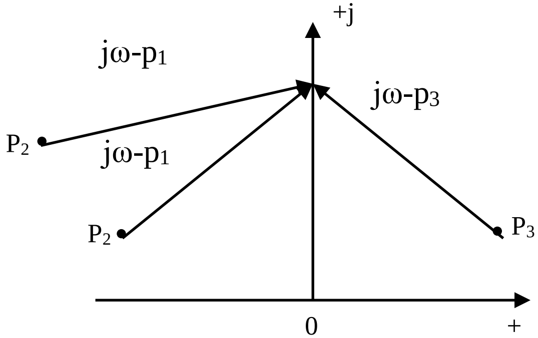
$$A(p) = a_n (p - p_1)(p - p_2)......(p - p_n) \qquad (15.1.2)$$

bu ýerde $P_1, P_2.....,P_n$ - (1) deňlemäniň kökleri.

$P=j\omega$ diýip çalşalyň, onda

$$A(j\omega) = a_n (j\omega - p_1)(j\omega - p_2).......(j\omega - p_n) \qquad (15.1.3.)$$

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 :

$$\arg A(j\omega) = \sum_{i=1}^{n} \arg(j\omega - p_i) \qquad (15.1.4.)$$

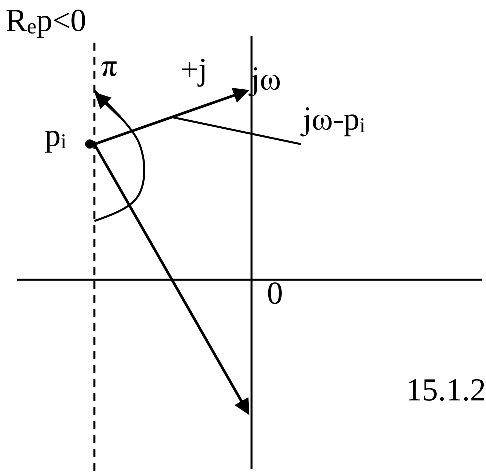
ω sanyň – ∞ – deň + ∞ – e çenli üýtgäninde argumentiň üýtgemesi

$$\Delta \arg A(j\omega) = \sum_{i=1}^{n} \arg(j\omega - p_i) \qquad (15.1.5.)$$

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

Iki ýagdaýa seredeliň :

1. $p_i$ kök çep ýarym tekizlikde ýerleşen.

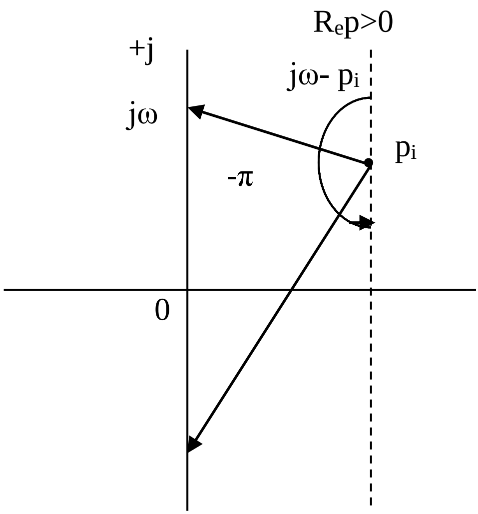



15.1.2-nji çyzgy.

Ýygylyk $\omega$ $-\infty$ – 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 $180^0$ aýlanýar. Bu ýagdaýda argumentiň üýtgemesi :

$$\underset{-\infty<\omega<+\infty}{\Delta \arg}(j\omega - p_i) = +\pi \qquad (15.1.6.)$$

2. $P_i$ kök sag ýarym tekizlikde ýerleşen .




15.1.3.-nji çyzgy.

Öňkä görä q

$$\underset{-\infty<\omega<+\infty}{\Delta \arg}(j\omega - p_i) = -\pi \qquad (15.1.7.)$$

Bu ýagdaýda ($j\omega$-$p_i$) wektoryň soňy ýokardan aşak typyp gidýär.Sol bir wagt-da ol sagat strelkasynyň aýlanmagynyň tersine $180^0$ aýlanýar.

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

$$\Delta \arg A(j\omega) = \pi(\ell - m) = (n - 2m)\pi \qquad (15.1.8)$$

(15.1.8.) deňlemä argumentler prinsipini düzýär : ω ýygylyk – ∞ < - den + ∞ < çenli üýtgese argumentiň üýtgemesi **ℓ** we **m** kökleriň tapawudyny π sana köneltmäge deňdir.

Mihaýlowyň kriterisi argumentler prinsipiniň geometriki interpritasiýasy bolýar.

Goý, diýeli, ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi berlen diýeliň :

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + ...... + a_1 p + a_0 = 0 \qquad (15.1.9.)$$

A(p) polinoma häsiýetlendiriji polinom diýilýar. Bu ulgamyň durnuklylygy üçin hemme kökler çep ýarymtekizlikde ýerleşmeli, ýagny m=0 (8) deňlemä görä bu ýagdaýda

$$\Delta \arg A(j\omega) = n\pi$$
$$-\infty < \omega < +\infty \qquad (15.1.10.)$$

Bu deňlemä görä ulgamyň durnuklylygy üçin A(P)=0 deňlemäniň ähli kökleri çep ýarymtekizlikde ýerleşmeli.

-∞ < ω <+ ∞ üýtgände A(jω) wektoryň soňynyň çyzýan çyzygyna Mihaýlowyň godografy diýilýar. Mihaýlowyň godografy aşakdaky deňleme bilen ýazylýar :

$$A(j\omega) = a_n (j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + ...... + a_1 j\omega + a_0 = u(\omega) + jV(\omega) \qquad (15.1.11.)$$

bu ýerde hakyky we haýaly bölekleri aşakdaky ýaly bolýarlar :

$$u(\omega) = a_0 - a_2\omega^2 + a_4 \cdot \omega^4 + .....; \qquad (15.1.12.)$$

$$V(\omega) = a_1\omega - a_3 \cdot \omega_3 + a_5 \cdot \omega^5 + ..... \qquad (15.1.13.)$$

(4) we (5) aňlatmalardan görnüşi ýaly A(jω) hakyky bölegi ω-den jübüt funksiýa

$$u(-\omega) = u(+\omega), \qquad (15.1.14.)$$

haýaly bölegi bolsa täk funksiýa bolýar :

$$V(-\omega) = -V(\omega) \qquad (15.1.15.)$$

Şeýlelikde :

$$A(-j\omega) = u(\omega) - jV(\omega) \qquad (15.1.16.)$$

ýagny A(jω) we A(–jω) çatyrymly kompleks ululyklar bolýarlar. Olaryň argumentleri

$$\underset{-\infty\langle\omega\langle 0}{\Delta \arg A(j\omega)} = \underset{0\langle\omega\langle+\infty}{\Delta \arg A(j\omega)} \qquad (15.1.17.)$$

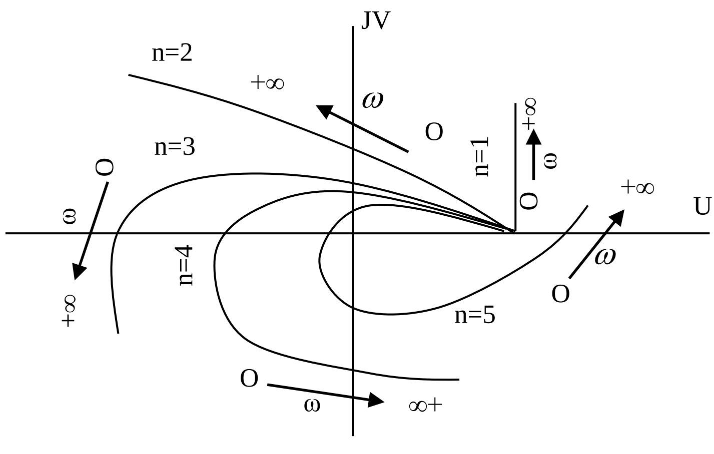
(9) deňligi hasaba almak bilen :

$$\underset{0\langle\,\omega\langle+\infty}{\Delta \arg A(j\omega)} = n\frac{\pi}{2} \qquad (15.1.18.)$$

(10) deňlige görä Mihaýlowyň kriterisini aşakdaky ýaly aňladyp bolar. Eger **ω**

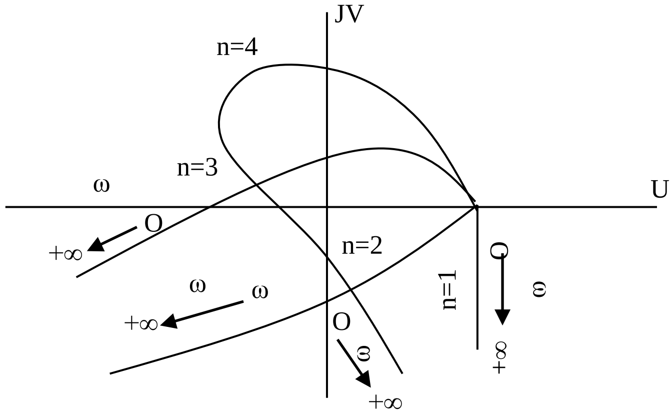
0 – dan + ∞ - e çenli üýtgände A(jω) wektor $n\frac{\pi}{2}$ burça aýlansa, onda awtomatiki dolandyrylýan ulgam durnukly bolýar. Bu ýerde **n** häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesi.

Bu kriterini başgaça hem aňladyp bolaýr: **ω** 0 – den +∞ -e çenli üýtgände A(jω) godograt hakyky okdan başlap, sagat strelkasynyň aýlanşynyň tersine yzygiderli **n** kwadranty kesip geçse, onda ulgam durnukly hasap edilýär.




15.1.4-nji çyzgy.

Bu ýagdaý deňlemäniň derejesi 5 çenli bolanda godografyň durnukly ýagdaýlar üçin üýtgeýşi görkezilen. (15.1.4-nji çyzgy).




15.1.5-nji çyzgy

15.1.5-nji çyzgyda bolsa durnukly däl ulgam üçin godografyň üýtgeýşi görkezilen.

## 16. Dolandyrma prosesiniň hili we ony derňewligiň göni usullary

Awtomatiki dolandyryjy ulgamyň durnyklylygy gerekli, emme ýetirlik däl şertdir. Sebäbi durnukly ulgam dürli täsirleri işlände ýetirlik takyk bolmaýar, geçiş prosesleri haýal sönýär, talap edilýän çykan ululyk endigan üýtgemeýär. Umuman awtomatiki dolandyrma gowy ýerine ýetmeýär.

Ulgamyň özüni alyp barşyny durnukly we köşeşen düzgünlerde häsiýetlendirýän talaplaryň toplumyna dolandyrma prosesiniň hili hökmünde seredýärler.

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

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

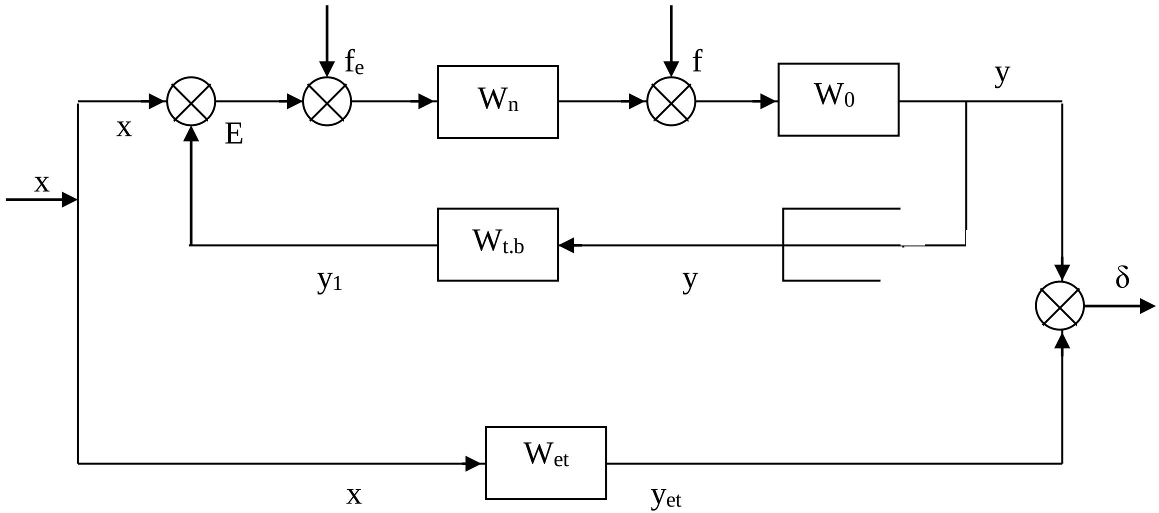
Durnukly ulgamda dolandyrma prosesine seredeliň. Durmuşda duş gelýän ýa-da ulgamyň düzgünini uly bozýan täsirleri öňünden belli düzgünler bilen çalşalyň.Şonuň üçin täsirleri tipli (kysymly) diýip atlandyralyň.

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

Bu standart ýagdaýlar üçin geçiş proseseleriniň 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 $W_П$ 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 δ(t) boýunça bahalanýar δ signal real ulgamyň çykalgasy bilen haýsam bolsa bir ideal etalon ulgamyň $W_{et}$ çykalgasynyň arasyndaky ýalňyşlyk.

$$\delta = y_{et} - y \qquad (16.1.)$$

16-1-nji çyzgy görä

$$\Delta(p) = W_{et}\cdot x\cdot W_3\cdot x - W_f\cdot F = \left[W_{et} - \frac{W_П\cdot W_0}{1+W_П\cdot W_0\cdot W_{t\cdot 1}}\right]\cdot x - \frac{W_0}{1+W_П\cdot W_0\cdot W_{t\cdot b}}F =$$
$$= W_\delta\cdot x - W_f\cdot F \qquad (16.2.)$$

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=ε=0, şonuň üçin x(t)=f(t).

Ulgama beýle ýokarlandyrylan talaplar mydama amala aşyryp bolmajak netijä getirýär.Sebäbi beýle talapda W(p)→1 we tükeniksiz kuwwatly ulgam döretmek talap edilýär.Şeýle düşünjeler etalon ulgamy optimal ulgam bilen çalyşmaklyga getirýär.

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

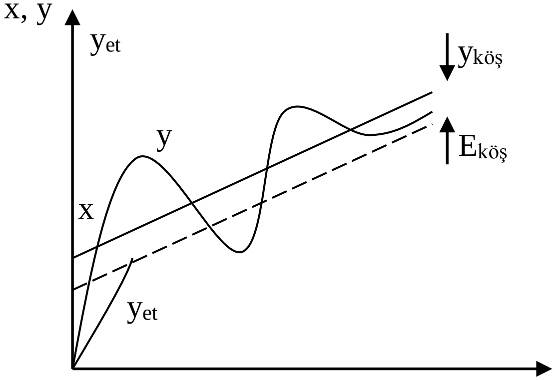
$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t) \qquad (16.3.)$$

16-1-nji çyzgyda laýyklykda

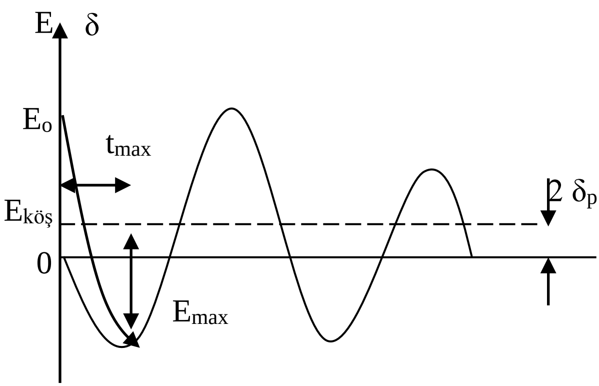
$$E(p) = [1 - W_e] \cdot x - W_f \cdot F = (1 - \frac{W_{П} \cdot W_0}{1 + W_{П} \cdot W_0 \cdot W_{t.b}} x - \frac{W_0}{1 + W_{П} \cdot W_0 \cdot W_{t.b}} F =$$

$$= W_{\Sigma} \cdot x - W_f F \qquad (16.4.)$$

16-2-nji a,b, çyzgylarda ideal we real ulgamlar tarapyndan x(t) signaly we δ(t) ýa-da ε(t) signallary işlemek görkezilen y(t) hökmünde tekiz funksiýa kabul edilen.




16-2-nji a, çyzgy.




16-2-nji b, çyzgy.

Bu prosesiň esasy görkezijileri :

1. Köşeşen ýalňyşlyk prosesiň takyklygyny kesgitleýär

$$\varepsilon_{köş}(t) = \underset{t\to\infty}{e_{Om}}\ \varepsilon(t) \qquad (16.5.)$$

Görkezilen ýagaýda $\varepsilon_{köş}$=const

2. Sazlama wagty $t_p$ aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$\left|\varepsilon(t) - \varepsilon_{köş}\right| \le \delta_p\ ,\ t \ge t_p \qquad (16.6.)$$

bu ýerde $\delta_p$ – öňden belli baha, ol ulgamyň takyklygy bilen kesgitlenýär.

3. Maksimal täzeden sazlanma $\varepsilon_M$ ; ol 4 we 5 punktlar bilen sazlamanyň endiganlygyny kesgitleýär.Ol y(t) signalyň iň uly bahasy bilen kesgitlenýär (2, b çyzgya seret). Köplenç onuň otnositel bahasyny ulanýarlar :

$$\delta = \frac{\varepsilon_m}{y_0} 100\% \qquad (16.7.)$$

bu ýerde $y_0$ – haýsam bolsa bir faza bahasy.

4. Gaýtadan sazlamagyň maksimal wagty $t_m$

$$\varepsilon(t_M) = \varepsilon_m \qquad (16.8.)$$

5. Gaýtadan sazlamagyň sany N $0<t<t_p$ öte yrgyldylar bilen kesgitlenýär :

$$\varepsilon_{köş} - \varepsilon_m \rangle \delta \rangle 0 \qquad (16.9.)$$

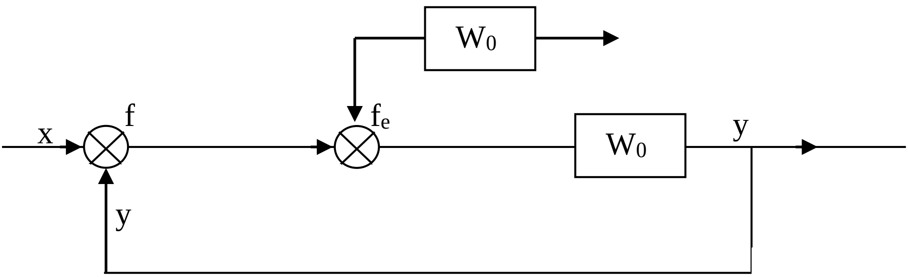
Birinji üç görkeziji ulgamyň sazlanýan döwri çykýan we gerýän signallaryň tapawudynyň zonasyny görkezýär. Bu zonanyň araçäkleri çyzgyda ştrihlenendir.

Şu hili görkezijiler bilen ulgamyň çykalgasynyň y(t) boýunça hilini ýa-da ýalnyşlyk δ(t) boýunça hilini kesgitläp bolýar.

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

$$\varepsilon(t) = \delta(t) \qquad (16.10.)$$

ulgamyň ýalňyşy onuň gabat gelmezligi bilen gabat gelýär we 1 çyzgydaky shema 3-çyzgydaky shema bilen aňladylyp biliner.Şonuň üçin köplenç ýalňyşlyk gabat gelmezlik bilen çalşylýar.




16-3-nji çyzgy.

$W_P(p)=W_П(N).W_0(p)$ – ýazdyrylan ulgamyň beriş funksiýasy ; $f_e$ – ekwiwalent bozulma, ol ulgamyň göni traktynyň girelgesine getirilendir.

1-çyzgydan çalşyrylma düzgünine laýyklykda

$$F_e(p) = W_e(p)\cdot F(p) = \frac{1}{W_p(p)}\cdot F(p) \qquad (16.11.)$$

we

$$W_e(p) = \frac{1}{W_0(p)} \qquad (16.12.)$$

Şu sebäbe görä dolandyrma prosesiniň göni görkezijiler boýunça bahalanyşyny ulansak, onda ýa-da bu prosesi gurmaly ýa-da bahalanýan prosesi eksperoment boýunça registrirlemeli.

Derňelýän prosesiň gös-göni 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 ýazdyrylmadyk ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesini işlemeklik kyn bolýar.

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

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

Iň soňky usul-bu dolandyryjy ulgamyň modelleşdirilen deňlemelerini çözmek.

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

1. Maksimal ýalňyşlyk :

$$\delta_M = \left|\delta_M(t)\right|_M \qquad (16.13.)$$

2.Orta kwadratiki ýalňyşlyk

$$\delta_{or/kw} = \lim_{T\to\infty}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left|\delta_m^2(t)dt\right|} = \sqrt{\overline{\delta^2}} \qquad (16.14.)$$

## 17. Standart täsirlerde sazlamagyň hili geçiş funksiýasy we statiki ýalňyşlyk

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

Geçiş funksiýalaryň dürliligini üçe bölüp bolar :

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

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

Dolandyryjy täsir boýunça statiki ýalňyşlyk.

2 formula boýunça dolandyryjy signal boýunça ýalňyşlyk :

$$\delta_x H1 = L^{-1}\left\{W_\delta(p)\frac{A_0}{p}\right\} \qquad (17.1.)$$

we çäk bahasy teoremasy boýunça statiki ýalňyşlyk

$$\Delta xst = \lim_{t\to\infty} \delta x(t) = \lim_{p\to\infty}\left[ pW_\delta(p)\frac{A_0}{p}\right] = W_\delta(0)\cdot A_0 \qquad (17.2.)$$

(3)-den

$$W_\delta(0) = \lim_{p\to\infty}\left[W_{et}(p) - W_3(p)\right] = 0 \qquad (17.3.)$$

Bu häsiýetli ulgama berlen dolandyryjy täsir boýunça astatiki dolandyrma diýilýär.

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

ADU-da

$$\Delta x_{s1} = \varepsilon_{st} = \left[t - w_3(0)\right]A_0 = \frac{1}{1+k}A_0 \qquad (17.4.)$$

bu ýerde k – ýazdyrylan ulgamyň güýçlendiriş koeffisiýenti :

## 17.1. Bozulma boýunça statiki ýalňyşlyk

(2) we (10) boýunça

$$\delta_f(t) = L^{-1}\left\{W_з(p)\frac{1}{W_p(p)}\cdot\frac{A_0}{p}\right\} \qquad (17.1.1)$$

bu ýerde $W_П(p) = \dfrac{K_П(p)}{D_П(p)}$ - dolandyryjy girelge bilen bozulmanyň girelgesiniň arasyndaky beriş funksiýa.

Statiki ýalňyşlyk

$$\Delta_{fst} = \lim_{t\to\infty} \delta_A(t) = \lim_{p\to\infty}\left[ p w_з(p) \frac{1}{w_П(p)} \cdot \frac{A_0}{p} \right] = \frac{w_з(t)}{w_П(p)} A_0 \quad (17.1.2.)$$

Bozulma boýunça astatiki ulgam üçin

$$\frac{W_з(p)}{W_П(p)} = \lim_{p\to\infty} \frac{W_з(p)}{W_П(p)} = 0 \qquad (17.1.3.)$$

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

$$\lim_{p\to 0} \frac{1}{W_П(p)} = 0 \qquad (17.1.4.)$$

Eger (18) şert ýerine ýetmese, onda ulgamy bozulma boýunça statiki diýýärler we statiki ýalnyşlygy aşakdaky formula boýunça kesgitleýärler.

$$f_{st} = W_3(0)\frac{1}{KП} A_0, \qquad (17.1.5.)$$

bu ýerde $K_П + W_П(0)$

1 struktura shemdan görnüşi ýaly $W_П$ 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 ulaltman geçiş prosesleriň hili boýunça aşakdaky ýaly çäklenen :

$$\boldsymbol{k = k_0 \cdot k_П < k_{çäk}} \qquad (17.1.6.)$$

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

## 18. Impuls geçiş funksiýasy

Impuls geçiş funksiýany ω(t) derňemek üçin ulgamyň bozulmasyny kesgitlemek ýeterlikdir.

Durnukly ýazdyrylmadyk ulgam üçin agram funksiýanyň üýtgemesi (statiki):

$$w_{durn} = \lim_{t \to \infty} w(t) = 0 \qquad (18.1.)$$

Bu şertiň bozulmasy integrirleýji ulgamy häsiýetlendirýär, ýagny :

$$A(p) = p \cdot A_1(p) \qquad (18.2.)$$

(34) deňleme aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner :

$$w(t) = \frac{B(0)}{A_1(0)} + \sum_{i-1}^{n-1} \frac{B(pi)}{p_i A_1'(p_i)} e^{p_i - t} \qquad (18.3.)$$

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

### 18.1.Kinetiki ýalňyşlyk

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

$$X(t) = A_1 t \cdot l_0(t) \qquad (18.1.1.)$$

bu ýerde

$$x(p) = \frac{1}{p^2} A_1 \qquad (18.1.2.)$$

Şu şertlerde köşeşen ýalňyşlygy kinetiki $\Delta_{kin}$ ýalňyşlyk diýip kabul edýärler.

Kinetiki ýalňyşlyk dolandyryjy signal boýunça $\Delta_{xkin}$ köp awtomatiki ulgamlaryň häsiýetlendiriji takyklygyny kesgitleýär, mysal üçin izolirleýji ulgamyň.

(3) we (24) deňlemelerden

$$\delta(t) = L^{-1}\left\{ w_\delta(p) \frac{A_1}{p^2} \right\} \qquad (18.1.3.)$$

Çäk bahasy teoriýasy boýunça kinetiki ýalňyşlyk

$$\Delta_{xkin} = \lim_{p\to\infty} \delta(t) = \lim_{p\to\infty} \left[ p w_\delta(p) \frac{A_1}{p^2} \right] = \lim_{p\to\infty} \frac{w_\delta(p)}{p} \Delta 1 \qquad (18.1.4.)$$

Astatiki ulgam seredilýäni üçin $w_\delta(p) \to 0, p \to 0$. Lopital boýunça kesgitsizligi alsak :

$$\Delta_{xkin} w'_\delta(0) \cdot A_1 \;, \qquad (18.1.5.)$$

bu ýerde

$$w'_\delta(0) = \frac{d}{dp} w_\delta(p) \int_{p=0} \qquad (18.1.6.)$$

Awtomatiki dolandyrmagyň astatiki ulgamyna $w_{ef}=l_1$

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

bu ýerde:

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

*we* (18.1.7.)

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

p derejeli polinomlar, m ≤ n

Beriş funksiýa

$$w_\delta(p) = w_\varepsilon(p) = 1 - w_3(p) = \frac{D(p)}{k(p) + D(p)} \quad (18.1.8.)$$

Aşakdaky ýerine ýetirýär

$$w'_\varepsilon(0) = \frac{D_1(0)}{K_0} = \frac{d_1}{K_0} = \frac{1}{K_{as}} \quad (18.1.9.)$$

bu ýerde $K_{as} = \frac{K}{T_П} sek^{-1}$ - ýazdyrylan astatiki ulgamyň güýçlendiriş koeffisiýenti, başgaça onuň dobrotnylygy (26)-dan

$$\Delta_{kin} = \frac{1}{K_{as}} A_1 \quad (18.1.10.)$$

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

## 18.2. Dinamiki ýalňyşlyk

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

$$\boldsymbol{x\,(t)=A\,,\sin\omega_1 t\cdot l_0(t)} \qquad (18.2.1.)$$

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

$$\gamma(j\omega_1)=W(j\omega_1)\cdot A_1 \qquad (18.2.2.)$$

bu ýerde W(j$\omega_1$) – $\omega_1$ ýygylykdaky ulgamyň kompleks güýçlendiriş koeffisiýenti . (18.2.2) formuladan gönüşi ýaly dolandyryjy täsirden dinamiki ýalňyşlyk

$$\Delta xdin(j\omega_1)=W_\delta(j\omega_1)A_1=\Delta_{xdin}(\omega_1)^{e^{j\varphi\delta(\omega_1)}} \qquad (18.2.3.)$$

bu ýerde modul

$$\Delta_{xdin}(\omega_1)=\left[\Delta x_{din}(j\omega)\right]=\left|w_\delta(j\omega_1)\cdot A_1=\Delta_{xm}(\omega_1)\right| \qquad (18.2.4)$$

dinamiki ýalňyşlygyň amplitudasyna deňdir, argument bolsa

$$\varphi_\delta(j\omega_1)=\arg\Delta(j\omega_1)=\arg w_\delta(j\omega_1) \qquad (18.2.5.)$$

- dinamiki ýalňyşlyk bilen ulgamyň girelgesindäki yrgyldylaryň arasyndaky faza süýşmesi
  Wagt funksiýasyndaky ýalňyşlyk :

$$\delta_{xdin}(t)=\Delta_{xm}(\omega_1)\sin\left[\omega_1 t+\varphi_\delta(\omega_1)\right] \qquad (18.2.6.)$$

Bozulmadan dinamiki ýalňyşlyk W$\delta$(j$\omega_1$) – i $-\dfrac{W_з(j\omega_f)}{W_П(j\omega_f)}-e$ çalyşmak arkaly tapylýar, onda

$$E_{fdin}(j\omega_f) = \frac{W_3(j\omega_f)}{W_{\Pi}(j\omega_f)} \cdot A_f \qquad (18.2.7.)$$

bu ýerde $A_f$ – sinosoidal bozulmanyň amplitudaky

$$\Delta_{fdin}(\omega_f) = \left| \frac{W_з(i\omega_f)}{W_{\Pi}(j\omega_f)} \right| A_f = \Delta_{fm}(\omega_f) \qquad (18.2.8.)$$

$$\varphi_\delta(\omega_f = \arg w_3(j\omega_1) - \arg w_{\Pi}(j\omega_f); \qquad (18.2.9.)$$

*we*

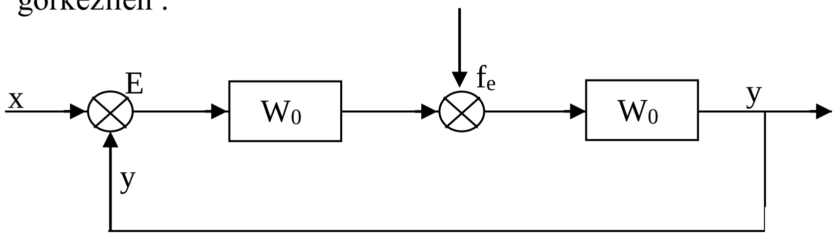
$$\delta_{fdin}(t) = \Delta_{fm}(\omega_f)\sin\left[\omega_f \cdot t + \varphi_\delta(\omega_f)\right] \qquad (18.2.10.)$$

Sinusoidal yrgyldylar seredilýär şonuň üçin orta kwadratiki ýalňyşlyk ýa-da onuň effektiw bahasy

$$\Delta_{or.kw} = \Delta = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \Delta m \qquad (18.2.11.)$$

Awtomatiki dolandyrmagyň dinamiki durnuklygy barada durup geçeliň, onuň üçin $w_\delta(j\omega)+w_\varepsilon(j\omega)$.

Bu ulgamyň struktura shemasy aşakdaky görnüşde görkezilen :




18-2-1-nji çyzgy.

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

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

Ýygylygyň işçi diapozonynda

$$\left|W_p(j\omega)\right| \geq 1 \qquad 0 \langle \omega \langle \omega d, \qquad (18.2.12)$$

bu ýerde $w_d$ – ýazdyrylmadyk ulgamyň gyradeň geçirişiniň araçäk ýygylygy. Ol goýberip bolýan amplituda üýtgemeleriniň ýa-da aşakdaky deňlemäniň iň kiçi : položitel köki hökmünde kabul edilip biliner

$$\frac{\left|1 - w_3(\omega)\right|}{w_3(o)} = \delta_p \qquad (18.2.13.)$$

$\delta_p$ bahasy öňünden berlen bolmaly.

Köplenç $\delta_p$=(0,05÷0,1)

(17) deňsizlik ýazdyrymady ulgamyň ýygylyk häsiýetnamasynyň dinamiki takyklygynyň takmynan bahasy hökmünde ýazdyrylan ulgamyň häsiýetnamasy esasynda baha berip bolar.Hakykatdan-da

$$\left|w_\delta(j\omega)\right| = \frac{1}{\left|1 + w_y(i\omega)\right|} \approx \frac{1}{\left|w_y(i\omega)\right|} \qquad (18.2.14.)$$

(19) goýup alarys :

$$\Delta_{xm} \approx \frac{A_1}{\left|W_y(\omega_1)\right|} \qquad (18.2.15.)$$

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

Logarifmiki häsiýetnama geçsek, olary :

$$\boldsymbol{20\ lg\Delta_{xm} \approx 20\ lgA_1 - <(\omega_1)} \qquad (18.2.16.)$$

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

$$\Delta_{fm} \approx \frac{A_f}{|W_y(\omega_f)|} \qquad (18.2.17.)$$

(20) we (22) görnüşi ýaly sazlaýjy ulgamyň takyklygy işçi diapozonda kompleks güýçlendiriş koeffisiýent ters baglanşyk boýunça näçe uly boldugyça 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 kesgitlenýär :

$$\delta_M(t) = \sum_{k=1}^{n} \frac{k(p_x)N(p_k)}{D(p_k)M'(p_k)} \cdot e^{p_k t} \qquad (19.1.)$$

Gaýtalanýan kök bolsa, onda ol çylşyrymly hasaplamany talap edýär.

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

Eger x(t) täsir polinum bilen çalşylsa

$$x(t) = \left[ A_0 + A_1 t + .... + \frac{A_i}{i} t^2 \right] l_0(t) \qquad (19.2.)$$

onda

$$x(p) = A_0 \frac{1}{p} + A_1 \frac{1}{p^2} + ... + A_i \frac{1}{p+1} = \frac{N(p)}{p^{i+1}} \qquad (19.3.)$$

*bu ýerde*

$$N(p) = \sum_{k=0}^{i} A_k p^{i-1}$$

diňe bir gaýtalanýan kök saklaýar (polýus) p=0

Ýalňyşlygyň şekili

$$\Delta(p) = W(p) \sum_{0}^{i} A_k \frac{1}{p^{k+1}} = W(p) \frac{N(p)}{p^{i+1}} \qquad (19.4.)$$

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

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

$$W(p) = \frac{W_3(p)}{W_\Pi(p)} \qquad (19.5.)$$

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

$$\frac{W(p)}{p^{l+1}} = \frac{C_0}{p^{i+1}} + \frac{C_1}{p^i} + ... + \frac{C_i}{p} + s(p) \qquad (19.6.)$$

Bu ýerde $C_0$, $C_1$…, $C_i$ – dargatmanyň näbelli koeffisiýentleri, s(p) – w(p)-niň dargatmasynyň polýuslar bilen bagly bölegi. Şunda w(p) p=0 we w(p)≠∞ polýus saklanok diýip düşünilýär.

C koeffisiýentleri kesgitlemek üçin (5) aşakdaky görnüşde ýazýarys:

$$W(p) = C_0 + C_i p + ... + C_i p^i + s(p) p^{i+1} \qquad (19.7.)$$

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

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

$$C_k = \frac{1}{k^1}\left[\frac{d^k w}{dp^k}\right] p = 0;...;C_i = \frac{1}{i}\left[\frac{d^i w}{d_p i}\right] p = 0 \qquad (19.8.)$$

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

$$\Delta_{П}(p) = s(p) N(p) \qquad (19.9.)$$

Bu düzüji wagtyň geçmegi bilen sönýär.Mejbury düzüji

$$\Delta_M(p) = \left[C_0 + C_1 p + C_2 p^2 + ... + C_i p^i\right] x(p), \qquad (19.10.)$$

bu ýerde :

$$C_k = \frac{1}{k'} \cdot \left| \frac{d^k w(p)}{dp^k} \right| p = 0, \quad k = 0,1,2,... \qquad (19.11.)$$

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

$$C_k \frac{d^k x(t)}{dt^k} = C_k x^{(k)}(t) \qquad (19.12.)$$

Şonuň üçin mejbury düzüjiniň formulasyny aşakdaky ýaly ýazyp bolýar :

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

$$ýa - da$$

$$\delta_M(t) = \sum_{k=0}^{i} C_k x^{(k)}(t) \qquad (19.13.)$$

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

$C_k$ koeffisiýentleri (19.14.) formula boýunça tapmak örän kyn. Ony W(p) beriş funksiýany p-kiň derejelerine dargadyp tapmaklyk aňsat :

$$w(p) = \frac{b_o + b_1 p + b_2 p^2 + ...b_m p^m}{a_0 + a_1 p + ...a_n p^n} =$$

$$= C_0 + C_1 p + C_2 p^2 + ... = \sum_0^{\infty} C_k p^k \qquad (19.14.)$$

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

$$b_0 = c_0 a_0 ;$$
$$b_1 = c_1 a_0 + c_0 a_1 ;$$
$$b_2 = c_2 a_0 + c_1 a_1 + c_0 a_0$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$bm = c_m a_0 + c_{m-1} a_1 + \dots + c_0 a_{m+1}$$
$$0 = c_{m+1} a_0 + c_m a_1 + \dots + c_0 a_{m+1}$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots$$

Bu ýerden aşakdaky rekurent formula gelip çykýar :

$$C_k = \frac{1}{a_0}\left\{ b_k - \sum_{r=1}^{k} C_{k-r} \cdot a_r \right\} \qquad (19.16.)$$

eger k > n $a_r \equiv 0$

## Edebiýat


1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. 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» gazeti, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. Учебник для вузов. М., Энергоиздат, 1985.

11. Рей У. Методы управления технологическими процессами. Перевод с английского . М., Мир, 1983.
12. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Учебное пособие для вузов. М., Машиностроение, 1985.
13. Теория автоматического управления. Учебник для вузов в 2-х ч. /Под редакцией А.А Воронова , М., Высшая школа, 1986.
14. Теория автоматического управления. Учебник для вузов. Под редакцией А.В. Нетушила . М., Высшая школа, 1976.
15. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику. Учебное пособие - М., Наука, 1986.

## Mazmuny