

D. Şamyýew

AWTOMATIK DOLANDYRYŞYŇ NAZARY ESASLARY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi
tarapyndan hödürlenildi*

Aşgabat
“Ylym” neşirýaty
2020

Şamyýew D.

§ 22 **Awtomatik dolandyryşyň nazary esaslary.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: Ýlym, 2020. – 212 sah.

Kitapda awtomatiki dolandyrmagyň esasy nazary maglumatlary beýan edilendir. Bu ýerde dolandyryjy ulgamlar baradaky umumy maglumatlar we olaryň modelleri, seljermesi we derňewi özleşdirilýär, elektrik energiýasynyň önümçiligindäki arakesmeli we arakesmesiz ulgamlaryň dolandyrylyşynyň usullary, matematiki modelleri, düzüm shemalarynyň özgerdilişiniň aýratynlyklary açylyp görkezilýär.

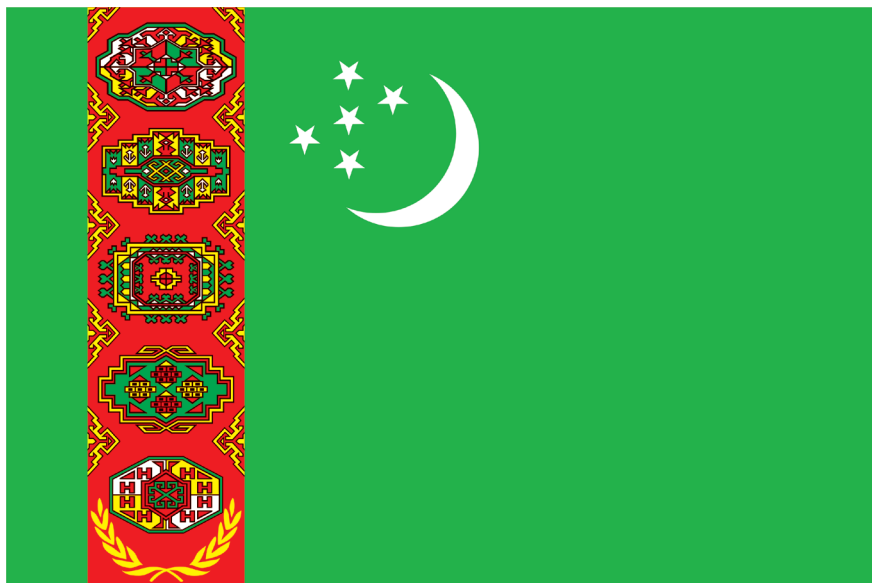
Kitap awtomatiki we tehniki ulgamlarda dolandyryş (energetika) hünäri ugrundan bilim alýan talyplar we energetika önümçiliginde işleýän hünärmenler üçin niýetlenilendir.



**TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,
Baýdagyň belentdir dünýäň öňünde.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

GIRIŞ

Awtomatiki sazlamagyň nazary esaslary boýunça ilkinji işler J. Uattyň bug maşynlarynyň durnukly işiniň awtomatiki sazlaýjy ulgamlarynyň meseleleri bilen baglanyşykly ýagdaýda XIX asyryň ikinji ýarymynda alymlar J.K. Makswell we I.A. Wyşnegradskiý tarapyndan teklipl edilýär, ýöne häzirki zaman awtomatiki sazlamagyň nazary esaslary ylmyň özbaşdak bölegi bolup, has soň, ýagny Ikinji Jahan urşy wagtynda *serwomehanizleriň, yzarlaýjy ulgamlaryň nazary esaslary* ady bilen emele gelýär. Munuň özi şol wagtda gämileriň we uçarlaryň mehanizmleriň we ş.m. dolandyrmak üçin niýetlenilipdir. Yzarlaýjy mehanizmleriň nazaryýeti boýunça peýda bolan ilkinji makalalarda hem bu nazary maglumatlardan tehnikanyň beýleki ugurlaryndaky awtomatiki sazlanýlan ulgamlar üçin hem peýdalanylýp boljakdygy barada aýdylyp geçilýär. Soňky ýyllarda “yzarlaýjy mehanizmler” we “awtomatiki sazlanýlan ulgamlar” diýen düşüňjeler “awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar” ady bilen seredilip başlanýlar. Awtomatiki dolandyrylýan ulgam edil yzarlaýjy mehanizmler ýaly dolandyrylýan obýektden, gözegçilik ediji we dolandyryjy enjamlardan durýar. Gözegçilik ediji enjamyň önünde durýan mesele hem obýektiň dolandyrylýan ululygynyň üýtgemesini şol ululygyň berlen bahasynyň üýtgemesine gabat getirmekden ybaratdyr. Bu ýagdaý gözegçilik ediji enjam tarapyndan ýüze çykarylýan dolandyryjy duýduryşyň (signalyň) obýekte täsir etmegi arkaly amala aşyrylýar. Munuň üçin bolsa gözegçilik ediji enjam arakesmesiz ýagdaýda dolandyrylýan ululygyň bar bolan bahasy bilen bolmaly bahasynyň arasyndaky aratapawudy (dolandyrmagyň ýalňyşlygyny) barlap durýar. Aýdylarlardan görnüşi ýaly, dolandyrylýan ulgam hem, serwomehanizm hem özi üçin utgaşdyrylan öwranlaýyn baglanyşykly ýapyk ulgam görnüşinde bolýarlar. Bu bolsa olaryň nazaryýetiniň birleşdirilmesi üçin esas bolup durýar, ýöne görkezilen birleşmede tehnologik obýektleriň serwomehanizimli obýektlerden birnäçe tapawutlarynyň bardygy ünsden düşürilipdir. Bu tapawutlar bolsa dolandyrylýan ulgamlar işlenilip taýýarlanylanda olaryň usulyýetine täsir etmän bilmez. Awtomatiki dolandyrmagyň nazaryýeti boýunça bar bolan gollanmalara ýüzlenilende awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň işlenilip taýýarlanylmagynyň esasy meselelerini aşakdaky görnüşde teklipl etmek mümkindir. Ulgam tiplýin berlen (adatça, basgançak görnüşli) täsir bilen ýüze çykarylan dolandyrylýan obýektiň matematiki

modeli we dolandyrylýan ululygyň üýtgeme prosesiniň hiline edilýän talaplar berlen ýagdaýynda şu talaplaryň ýerine ýetmesini üpjün edýän gözegçilik ediji enjamyň hereket etmesiniň algoritmini kesgitlemelidir. Ýokarky teswirlemäniň hususy aýratynlygy – bu ýerde ulgama bolan talaplar barada gürrüň gitmän, eýsem ulgamyň çykyşyndaky emele gelen prosese bildirilýän talaplar barada aýdylýar. Bu bolsa öwranlaýyn baglanyşygy bolan ulgamyň işe ukyplylygynyň esasy görkezijisi hasaplanylýan durnuklylygynyň ätiýaçlygynyň barlagynyň aradan aýrylmagyna getirip biler. Dogrusy, serwomehanizmler üçin şeýle barlag önümçilik nukdaýnazarýndan galdyryldy, sebäbi serwomehanizmler özleşdirilende, adatyça, oňa berlen bahanyň üýtgedilmesi bilen emele getirilýän dolandyrylýan ululygyň üýtgemesine seredilip geçilýär. Şu ýagdaýda dolandyrylýan ululyk ulgamyň ýapyk sudury üçin çykyş ululygy bolup durýar, ýöne suduryň ulgamda bolmagy şol ulgamyň durnuksyzlygyny ýüze çykaryp biler, ulgamyň çykyş ululygynyň yrgyldysynyň barlagy ol ulgamyň durnuklylyk ätiýaçlygynyň barlagy barada maglumat berýär. Mundan başga-da ýagdaýlar dolandyrylýan tehnologiýa proseslere mahsusdyr (aýratyn hem, arakesmesiz dolandyrylýan prosesler, sebäbi ol ýerde dolandyrylýan ululygyň berlen bahalary hiç hili üýtgemän bilýärler). Şeýle ulgamlardaky obýektler oýandyryjy täsirleriň köplügi astynda bolýarlar, şeýle hem olar özleşdirilende dolandyrylýan ululygyň berlen bahasy üýtgedilende onuň bar bolan bahasynyň üýtgemesi däl-de, eýsem oýandyryjy täsirleriň täsiri bilen döredilýän üýtgemeler gyzyklanma döredýär. Has takygy, obýektiň ýüküniň üýtgemesindeki bolup geçýän hadysalar özleşdirilmäge mynasypdyr. Dolandyrylýan obýektleriň şeýle oýandyryjy täsirlere berýän üýtgemeleri biri-birinden tapawutly bolýarlar. Şeýlelikde, ulgamyň durnuklylygynyň ätiýaçlygynyň san bahasy kesgitlenilende takyk ululyk barada belli zat aýdyp bolmaýar. Hadysalaryň yrgyldyly hereketi hem näbelli bolup galýar, sebäbi olar hasaba alynmadyk we barlaga boýun egmeýän oýandyryjy täsirler bilen ýüze çykarylýar (olaryň bolmagy bolsa tehnologiýa obýektleriň aýratynlygynyň biri hasaplanylýar). Getirilen teswirlemelerden görnüşi ýaly, özleşdirilýän obýektiň modelini almak meselesi awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslarynyň meselesi çäginde daşary çykýar (sebäbi model öňünden berlen bolmaly). Serwomehanizmler işlenilip taýýarlanylanda şeýle öňden teklipe edilmeleri görer göze goýberip bolýar. Şu ýagdaýda deňeşdirilip alnanda ykjam mehanizmler barada gürrüň gidýär, sebäbi olar köplenç ýagdaýlarda bir önümçilik kärhanasynda taýýarlanylýan, analitiki modelini almak mümkinçiligi hem bardyr. Köpçülikleýin öndürilende bolsa olaryň fiziki modelinde barlap görmek ýagdaýy döredilýär. Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar işlenilip taýýarlanylanda bolsa ýagdaý gönüden-göni garşylyklaýyn görnüşli bolýar. Analitiki modeller gaty ygtybarly bolmaýar. Şonuň üçin hem şeýle maglumatlary diňe hereket edýän obýektlerde tejribe geçirmek arkaly alyp bolar. Şu ýagdaý üçin ýörite işlenilip taýýarlanylýan identifikasiýa nazaryýeti ulanylýar, ýöne obýektleriň identifikasiýasynyň meselesi ony bar bolan ýagdaýyn-

da ulanmak mümkinçiligini aradan aýyrýar. Identifikasiýa nazaryýeti baradaky golýazmalarda *obýektiň özüniň we onuň modeliniň girişine şol bir oýandyryjy täsir berlende, olaryň çykyşyndaky ululyklaryň arasyndaky aratapawut ýeterlik derejede kiçi bolan ýagdaýynda obýektiň modeli edilýän talaplary kanagatlandyrýar diýlip ýazylýar*. Şeýle-de bolsa obýekt bilen onuň modeliniň ýakynlaşdyrylma kriterisi baradaky sorag açyklygyna galýar. Mundan başga hem identifikasiýanyň ýalňyşlygy diňe obýektiň häsiýetlerine däl-de, eýsem ony dolandyryan awtomatiki gurluşyň (gözegçilik ediji enjamyň) häsiýetine hem bagly bolýar, sebäbi gözegçilik ediji enjamyň hereketiniň algoritmini saýlamak üçin hem hökman obýektiň modeli gerek bolýar. Degişlilikde, obýektler taslanylanda olaryň netijeleriniň takyklygyna uly üns berilmeli. Eger-de şol bir giriş ululyklary amatly algoritimli hereket edýän gözegçilik ediji enjamly real dolandyrylýan we onuň modeli bilen işleýän ulgamly obýekte berilse, iki ulgamyň hem çykyş ululyklarynyň arasyndaky aratapawut ýeterlik derejede kiçi bolanda obýektiň modelini kanagatlanarly diýip kabul edip bolýar. Şeýle teswirlemeden gelip çykyşy ýaly, awtomatiki dolandyrylýan ulgamyň işlenilip taýýarlanylmasy onuň taslanylmagy bilen tamamlanmaýar. Ony real ýagdaýda bar bolan obýekte täsir etmegi bilen barlap görmek zerurdyr. Munuň üçin bolsa awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň matematiki üpjünçiligi özüniň düzüminde *adaptasiýa algoritmini* saklamalydyr. Bu algoritmleri ulgamyň indiki işleri üçin saklamak maksadalaýykdyr, sebäbi bu maglumatlary ulgamyň işini sazlamak üçin geljekde hem ulanyp bolýar. Şeýlelikde, awtomatiki sazlanýlýan ulgamlar stationar (gozganmaýan) tehnologik obýektler üçin hem *adaptiw* görnüşde taslanýlsa maksadalaýyk bolýar. Real ýagdaýda işleýän adaptasiýa algoritmi gollanmalarda özleşdirilýän adaptiw ulgamlardan has tapawutlanmalydyr. Ol ýerde obýektiň modeli baradaky maglumaty almak üçin gözegçilik ediji enjamy sazlamaga gerek bolan bahalar obýektiň ýagdaýyny passiw görnüşde yzarlamak arkaly alnyp barylýar, ýagny obýektiň dolandyrylýan ululygynyň we dolandyryjy täsiriň bahasy adaty iş düzgününde gözegçilik edilip alnýar, ýöne obýektiň modelini almak üçin zerur bolan dolandyryjy täsire oňositellikde dolandyryjy ulgamyň geljekde sazlanýlma mümkinçiliginiň bolmagy göz önünde tutulsa, onda ol dolandyryjy täsir hem daşky oýandyryjy täsirlere baglylykda galýandyr (bu ýagdaýy bolsa identifikasiýanyň nazaryýeti talap edýär). Şeýle baglanyşygyň bolsa hiç hili gerek bolmadyk netijelere getirmegi mümkindir. Şeýlelikde, *adaptasiýa işjeň tejribeleri goýmagy talap edýändir. Ol bolsa kesgitlenilen ölçegde tehnologik prosesiniň adaty akyp geçmesiniň düzgünlerini bozýar. Şonuň üçin hem şeýle algoritmler işlenilip taýýarlanylanda olary optimallaşdyrmak zerurlygy ýüze çykýar*. Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary boýunça gollanmalarda gözegçilik ediji enjamyň işi ýerine ýetirmesiniň algoritmi işlenilip taýýarlanylanda, adatça, obýektiň modeliniň adaty differensial deňlemeleriniň ulgamy bilen ýazylmagy teklip edilýär. Bu ýagdaý, önümçilikden görnüşü ýaly, serwomehanizmler işlenilip taýýarlanylanda energiýanyň ýa-da mate-

riýanyň akumulýasiýasynyň bir gapda bolup geçýänligi bilen düşündirilýär, şeýle hem dolandyrmagyň tehnologik obýektleriniň elmydama yza galmasy we paýlanylan parametrleri bolýar. Dolandyrmagyň algoritmini ýerine ýetirmegiň öz aýratynlygyny häzirki zaman sanlaýyn hereket edýän tehnikalara hem talap edýärler. ADU-laryň işi şu ýagdaýda signallaryň kwantlaşdyrylmasynyň kiçi interwalynda bolup geçýär. Şol wagt hem sanlaýyn gözegçilik ediji enjamlar dinamiki tarapdan seredilende özlerini analog häsiýetli alyp barýarlar. Sanlaýyn gözegçilik ediji enjamly ulgamlarda goşmaça sazlanýan parametr, ýagny analog signallary diskret sanlaryň zygiderliligine özgerdilenäki kwantlaşdyrmagyň interwaly ýüze çykýar. Tehnologik obýektleri awtomatiki dolandyryan ulgamlaryň seredilip geçilen aýratynlyklary hasaba alynmak bilen şu kitap taýýarlanyldy. Ýazylyp beýan edilen nazary maglumatlar ýylylyk energetikasy pudagyndan alnan meseleler bilen bile alnyp barylýar. Parametrleriň şeýle saýlanylmasy ýylylyk energetikasynyň halk hojalygyndaky wajyplygyny talap edýär. Bu bolsa ýylylyk energetikasyndaky obýektleri dolandyrmak üçin ulanylýan awtomatiki ulgamlary has çylşyrymly awtomatiki ulgamlara degişli edýär. Bu ýagdaý bolsa elektrik energiýasyny bir ýere jemläp saklap bolmaýanlygy bilen şertlenendir. Netijede, awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar sarp edijiler bilen gönüden-göni arakesmesiz ýagdaýda baglanyşykda we tötänleýin täsirleriň täsiri astynda bolýarlar.

Kitabyň takyk mazmuny Türkmenistanyň Döwlet energetika institutynyň Tehniki ulgamlaryň awtomatikasy kafedrasyndaky awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary dersinde berilýän maglumatlara esaslanýar.

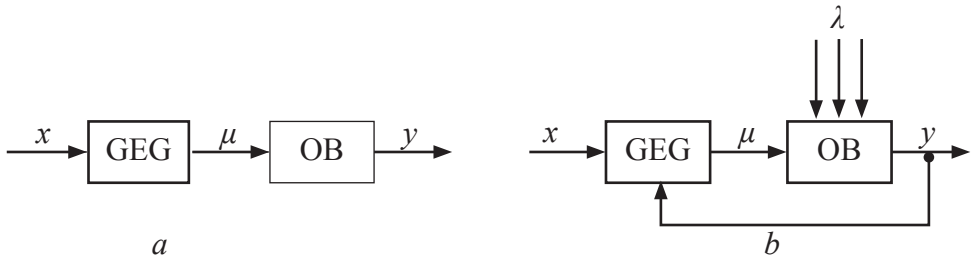
I BAP

AWTOMATIKI DOLANDYRMAK WE SAZLAMAK

1.1. Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar baradaky esasy düşüňjeler

Tehnologik obýekti dolandyrmak diýlip öňünden çäklendirmeleri we şertleşdirilen talaplary ýerine ýetirmek bilen şol obýektiň ýagdaýyny maksada ugrukdyrylan görnüşde üýtgedilmegi üçin gerek bolan täsiri ýüze çykarmaga düşünilýär. Ýylylyk elektrik bekediniň (ÝEB-niň) energiýa desgalaryny dolandyrmak wagtyň her bir pursadynda talap edilýän elektrik energiýasynyň mukdaryny tehnologik prosesiniň normal şertlerde (buguň basyşynyň we temperaturasynyň turbinanyň öňünde bolmaly bahalaryny saklamak bilen) talaplaryny ýerine ýetirmek arkaly öndürmegi üpjün etmekden ybaratdyr. Elektrik energiýasynyň mukdary bolsa elektrik ulgamynyň işiniň režiminiň öňünden görülmedik üýtgemeleri netijesinde gözgeçiniň tertibine baglylykda üýtgäp bilýär. Obýektiň ýagdaýy dolandyrmagyň maksadyna baglylykda birnäçe gezek barlanylýp durulýan üýtgeýän ululyklaryň bar bolan bahalary bilen kesgitlenilýär, olary obýektiň *dolandyrylýan ululyklary* diýip hem atlandyrýarlar. Energiýa desgalary dolandyrylanda dolandyrylýan ululyklara energiýa desgalarynyň öndürýän kuwwaty, gazan agregatynyň bug-suw we gaz-howa ýollaryndaky temperaturalar we basyşlar we ş.m. degişli bolup bilerler. Obýektiň daşky gurşawdan alýan we dolandyrylýan ululyklaryň islenilmeýän üýtgemelerine getirýän ululyklara **oýandyryjy täsirler** diýilýär. Elektrik beketleriniň desgalary üçin oýandyryjy täsirler bolup tötänleýin ýagdaýda ýangyjyň hiliniň üýtgemesi, beýleki elektrik beketleri tarapyndan elektrik ulgamyna berilýän kuwwatyň üýtgemesi we elektrik ulgamyna birleşdirilen elektrik energiýasyny sarp edijileriň sarp edýän kuwwatynyň üýtgemesi we ş.m gulluk edip bilerler. Sanalyp geçilen oýandyryjy täsirleriň soňkusy energetiki desgalara mahsusdyr, sebäbi (beýleki tehnologik obýektlerden tapawutlylykda) elektrik energiýasyny bir ýerde ammarlara ýygnap bolmaýar. Oýandyryjy täsirler wagta baglylykda tötänleýin funksiýa bolup durýarlar, ýagny olaryň geljekde üýtgemesini adaty düşüňjede öňünden aýdyp bolmaýar. Dolandyrmagyň maksadyna laýyklykda dolandyrylýan ululygyň üýtgemesi obýekte ýörite gurnalan *dolandyrylýan täsirleri* bermek arkaly ýerine ýetirilýär. Şu dolandyrylýan täsirleri ýerine ýetirmek üçin islendik obýekt ýörite öňünden göz öňünde tutulan *dolandyryjy organlar* bilen üpjün edilýär. Energiýa desgalaryny dolandyrmak üçin onuň konstruksiýasynda iýmitlendiriji suwuň we gazan enjamy tarapyndan öndürilýän buguň geçiriji turbalarynda ýörite klapanalary, ýangyjy bermegiň tizligini sazlaýjy ýangyç beriji enjamlary hem-de howa beriji we tüsse sorujy gurnawlaryň ugrukdyryjy enjamlaryny goýýarlar. Degişlilikde, dolandyryjy täsirler hökmünde ýangyjyň we howanyň ýangyjyň ýakylýan ýerine berilmesiniň,

gazana suw bermegiň we turbina berilýän buguň mukdarynyň üýtgemeleri gulluk edip bilerler. Adamyň gatnaşmazlygy bilen amala aşyrylýan dolandyрма **awtomatiki dolandyрма**, şu ýagdaýda dolandyрма funksiýasyny ýerine ýetirýän gurluşlara **awtomatiki dolandyryjy gurluşlar** ýa-da **gözegçilik ediji gurluşlar** diýilýär. Dolandyrylýan obýekt we gözegçilik ediji gurluş biri-biri bilen özara baglanyşykda bolup, *awtomatiki dolandyrylýan ulgamy* (ADU-ny) emele getirýärler. Gözegçilik ediji gurluş iş prosesinde dolandyrmagyň maksady baradaky şol wagt pursatyndaky maglumaty, şeýle hem obýektiň ýagdaýy we onuň işläp durmagy üçin gerek bolan parametrleriň bahalaryny (işçi parametrleri) alýar we dolandyrmagyň maksadyna ýetmek üçin gerek bolan dolandyryjy täsiri ýüze çykarýar. Ulgamyň aýratyn elementleriniň şekili (adatça, gönüburçluk görnüşinde) we olaryň biri-birine täsiri peýkamlar görnüşde, şeýle hem onuň işlemegi üçin daşky gurşawdan kabul edýän täsirleriniň şekiline **şol ulgamyň gurluş shemasy** diýilýär. Ulgamyň aýratyn elementleriniň detallara bölünmeginiň derejesi, şeýle hem ulgamdan onuň elementlerini bölüp çykarmagyň esaslary dürli-dürli bolup biler. Ulgamyň elementleriniň ýerine ýetirýän funksiýalaryna baglylykda islendik görnüşdäki dolandyrylýan ulgam iki sany esasy elementden durmalydyr: *dolandyrylýan desgadan* (bu ýerde dolandyrylmaga niýetlenilen proses akyp geçýär) we *gözegçilik ediji gurluşdan* (bu gurluş bolsa şol prosesi dolandyrmak funksiýasyny amala aşyrýar) durýandyr.



1.1-nji çyzgy. Dolandyrmagyň ýönekeý gurluş shemasy

Bu çyzgyda dolandyrmagyň ýönekeý struktura shemasy görkezilen (1.1-nji (a) çyzgy). Bu ýerde *gözegçilik ediji gurluş* (GEG) dolandyrmagyň maksady baradaky maglumaty t -wagta baglylykda üýtgeýän signaly $x(t)$ görnüşde berlen baha hökmünde alyp, $\mu(t)$ görnüşli dolandyryjy signaly emele getirip, dolandyrylýan ululyk obýekte $x(t)$ täsiriň üýtgemesinde dolandyrmagyň maksadyna ýetmek üçin üýtgär ýaly täsir edýär.

$$y(t) = E(t) \tag{1.1}$$

Görnüşi ýaly, şeýle dolandyrylýan ulgamlar real şertlerde diňe $\mu(t)$ – ululygyň üýtgemesi bilen ýüze çykan $y(t)$ – ululygyň üýtgemesiniň arasynda açyk-aýdyň gabat gelmek ýüze çykanda işläp biler. Bu gabat gelme obýektiň *matematiki mo-*

delinde görünyär. Bu bolsa öňünden belli diýlip göz önüne getirilýär we *gözegçilik ediji gurluşyň* işiniň algoritmini (dolandyrmagyň algoritmi) kesgitlemekde ulanylýp bilner. Bu algoritmi bolsa (1.1) formuladaky dolandyrmagyň maksadyna ýetmek üçin $x(t)$ ululygyň üýtgemesine baglylykda dolandyryjy täsir bolan $\mu(t)$ -niň nähili üýtgemelidigini kesgitleýär. Gözegçilik ediji gurluşyň işini ýerine ýetirmegiň algoritmini taslamak üçin gerek bolan obýektiň matematiki modeli baradaky maglumat **dolandyryýan obýekt barada bar bolan maglumat** diýlip atlandyrylýar. Önümçilik nukdaýnazardan seredilende dolandyryýan ulgamyň düzümi diňe indiki wajyp şertler ýerine ýetirilen ýagdaýynda işläp biler: dolandyrylýan obýekte hiç hili oýandyryjy täsirler täsir etmeýär; obýektiň matematiki modeli wagtyň islendik pursady üçin ýeterlik takyklyk bilen belli bolmaly; talap edilýän dolandyrmagyň algoritmi gözegçilik ediji gurluş bilen ýokary takyklygyň ýeterlik derejesinde amala aşyrylmaly. Şu şertleriň, iň bolmanda, biriniň bozulmasy dolandyrylýan ululygyň islenilýän bahasynda özbaşdak, barlap bolmaýan üýtgemelere getirýär, şeýle hem wagtyň geçmegi bilen bu ululyk goýberip bolmaýan bahalarda ulalýar. Şu ýagdaýda dolandyrylýan ulgamyň düzümine goşmaça kanal girizmeli bolýar. Ol kanal boýunça bolsa gözegçilik ediji gurluş wagtyň her pursadında dolandyrylýan ululygyň hakyky bahasy barada maglumat almaly. Bu ýagdaý bolsa gözegçilik ediji gurluşda üýtgemäniň islenilýän bahasyndan tapawudy dörän ýagdaýynda (haýsy näsazlyk tarapyndan gelenligine garamazdan) şol aratapawudy aradan aýyrmak üçin obýektiň dolandyryjy täsirine goşmaça täsir etmäge mümkinçilik döredýär. Şu ýagdaýa gabat gelýän ulgamyň düzümi 1.1-nji (b) çyzgyda görkezilen. Ulgamyň çykyşyndan dolandyrylýan ululygyň üýtgeýänligi baradaky maglumaty gözegçilik ediji gurluşyň girişine berilýän kanala “**öwranlaýyn baglanyşygyň kanaly** ýa-da **öwranlaýyn baglanyşyk**” diýilýär. Şu shemada obýekte täsir edýän $\mu(t)$ görnüşli dolandyryjy täsirden başga-da $\lambda(t)$ görnüşli oýandyryjy täsir hem görkezilendir. Olaryň sany barada aýdylanda bolsa, olar kesgitlenilmedik ýagdaýda köp bolup biler. Olaryň içinde käbirleri barlanylmaga elýeterli däl. Öwranlaýyn baglanyşykly ulgamda (1.1-nji (b) çyzgy) signallaryň aýlanmagy üçin ýapyk sudur hem bolup bilýär. Şonuň üçin hem şeýle ulgamlar *dolandyrmagyň ýapyk sudurlary* diýen ady aldylar. Degişlilikde, öwranlaýyn baglanyşyksyz dolandyrylýan ulgamlar bolsa (1.1-nji (a) çyzgy) **açyk ulgamlar** diýlip atlandyrylýar. Önümçilikde tehnologik prosesler dolandyrylanda ýokarda teswirlenen şertde açyk dolandyrylýan ulgamlar ýerine ýetirilmeyär. Real şertlerde energetika pudagynda, adatyça, dolandyrylýan ulgamlar ýapyk görnüşinde bolýarlar. Bolmaly bahanyň we dolandyryjy ululygyň üýtgemesinden (ýa-da ol üýtgemeleriň önümlerinden we integrallaryndan) arakesmesiz baglanyşykda gözegçilik ediji gurluş tarapyndan dolandyryjy täsiri arakesmesiz amala aşyrylýan üýtgedilmä **arakesmesiz dolandyrylma** diýilýär. Diskret görnüşli dolandyrmada dolandyryjy täsir käbir mümkin bo-

lan bahalaryň haýsy hem bolsa birini kabul edýär (diňe mümkin bolan iki bahanyň çäklerinde) ýa-da diskret wagt pursatlarynda emele gelýär.

Hususy ýagdaýda diskret görnüşli dolandyрма dolandyrmagyň algoritmi logiki şertleriň häsiýetini özünde saklaýan bolsa ulanylýar. Şu ýagdaýda ol logiki diýlip atlandyrylýar. *Logiki dolandyrmada*, köplenç, obýektiň işe goýberiliş düzgüni ulanylýar, ýagny haçan-da kesgitlenilen zygiderlikde aýratyn hereketlendirijiler, mehanizmler herekete getirilende we ş.m. ulanmak maslahat berilýär. Adatça, önümçilikde çylşyrymly tehnologik desgalar dolandyrylanda *arakesmesiz we diskret dolandyrylma* bilelikde ulanylýar. Mysal üçin, energiýa desgalary tarapyndan öndürilýän buguň temperaturasy temperaturany sazlamak üçin berilýän suwuň liniýasynda duran klapanyň ýagdaýy arakesmesiz üýtgetmek ýoly bilen dolandyrylýar, ýöne ýüküň güýçli üýtgemelerinde mundan başga-da iýmitlendiriji suw ýollarynyň ulgamlaryny üýtgetmegiň hem gerek bolmagy mümkindir. Egerde dolandyrylýan desganyň diňe bir dolandyrylýan ululygy bar bolsa, onda oňa **birölçeqli desga** diýilýär. Değişlilikde, obýekti dolandyryan ulgam hem birölçeqli bolýar. Real şertlerde dolandyrylýan tehnologik desgalar dolandyrylýan ululyklaryň örän köp sanyny özünde saklaýar we değişlilikde, dolandyryjy täsirleriň sany hem şonuň ýaly bolýar. Şeýle obýektler we dolandyryjy ulgamlar bolsa *köpölçeqli* diýlip atlandyrylýar. Dolandyrylýan köpölçeqli ulgamlaryň düzümi ýene-de 1.1-nji çyzykdaky ýaly şekillendiriler, ýöne bolmaly bahany beriji täsiri, dolandyryjy täsiri we dolandyrylýan ululygy *wektor* diýip kabul etmelidir.

1.2. Dolandyrylýan ulgamlaryň meseleleriniň we düzümleriniň dekompozisiýasy

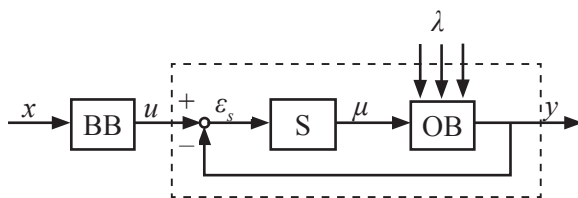
Dolandyrylýan ulgamlaryň işlemeginiň takyklygynyň meseleleri, önümçilikde dolandyrmagyň meselesi, düzgün bolşy ýaly, birnäçe özara baglanyşykly şol bir wagtyň özünde hem özbaşdak meselelere bölünýärler. Ol bolsa, öz gezeginde, dolandyrylýan ulgamyň uly ulgama boýun egýän has kiçi ulgamlara bölünmegine getirýär. Meseleleri we dolandyrylýan ulgamlary özara sazlaşykly böleklere bölmek işi *dolandyrylýan ulgamlaryň we meseleleriň dekompozisiýasy* ady bilen ulanylyp başlanyldy. Düzgün boýunça, dolandyrmagyň umumy meselesinden dolandyrmagyň maksadyna ýetmek üçin obýekte täsir edýän zyýanly, barlagda saklap bolmaýan täsirleri, şeýle hem obýektiň modelindäki barlagda saklap bolmaýan berlen bahanyň takyklygynyň ýalňyşlygyny aradan aýyrmak (ýa-da bolmanda şol ululyklary minimum baha ýetirmek) meselesi orta çykýar, ýagny 1.1-nji (b) çyzygyda görkezilen ýapyk dolandyrylýan ulgamlaryň düzümindäki gözegçilik ediji gurluşyň öwranlaýyn baglanyşygynyň kanaly boýunça alýan işçi maglumatynyň esasynda çözülýän mesele ýüze çykýar. Bu ýagdaý oňositellikde seredilende dolandyrmagyň özbaşdak meselesi bolup, *obýekti sazlamagyň meselesi* adyny alýar. Şu meseläni ýerine ýetirýän dolandyryjy ulgamyň bölegine bolsa **ulgamasty sazlamak** diýilýär.

Dolandyrmagyň meselesiniň şeýle dokompozisiýasy netijesinde gözegçilik ediji gurluş iki sany biri-biri bilen baglanyşykly enjamlara bölünýärler.

1. *Sazlaýjy enjam*. Bu blok sazlamak funksiýasyny ýerine ýetirýär. Enjama, adatça, **awtomatiki sazlaýjy** ýa-da **ýöne sazlaýjy** diýilýär.

2. *Buýruk beriji enjam*. Bu enjam sazlaýja buýruk beriji täsiri dolandyryş maksadyna ýeter ýaly ýagdaýda ýüze çykarýar.

Şu ýagdaýda dolandyrmagyň düzümi 1.2-nji çyzgydaky ýaly görnüşe eýe bolýar. Buýruk beriji (BB) tarapyndan ýüze çykarylýan buýruk beriji täsir bolan $u(t)$ täsir ulgamasty sazlamanyň girişine berilýär (shemada ol ştrihlenen çyzyk (zolak) bilen görkezilen). Ol ýerde buýruk beriji täsirden tapawutlylykda ýüze çykarylýan *dolandyryjy täsiriň* üýtgemesi $\varepsilon_s(t) = u(t) - y(t)$ esasynda sazlaýjy $\mu(t)$ görnüşli dolandyryjy täsiri ýüze çykarýar. $\varepsilon_s(t)$ üýtgemäniň ýüze çykarylması jemleýji elementde bolup geçýär. Ol shemada töwerek görnüşinde şekillendirilýär. Jemleýji elemente girýän degişli oklaryň ahyrynda bolsa her bir düzüjiniň häsiýeti görkezilýär.



1.2-nji çyzgy. Dolandyrmagyň düzüm shemasy

Şeýle ulgamasty sazlamanyň üsti bilen dolandyrmagyň manysy-oýandyryjy täsirleriň we beýleki hasaba alynmadyk faktorlaryň täsiri bilen ýüze çykarylýan dolandyrylýan ululygyň bolmaly bahasyndan üýtgemesini sazlaýjy ýeterlik derejede netijeli görnüşde aradan aýyrýar. Şonuň üçin hem şeýle dolandyryjy ulgamy oýandyryjy täsiri bolmadyk desgalarda seredip geçmek bolar (1.2-nji çyzgy). Onuň funksiýasyny bolsa indi ulgamasty sazlama tutuşlygyna ýerine ýetirýär.

Seredilip geçilen dolandyryjy ulgamy 1.2-nji çyzgydaky ýaly *iki derejeli* diýip kabul etmek bolar: **birinji (aşaky) derejäni** ulgamasty sazlama emele getirýär, **ikinji derejäni** bolsa 1.1-nji (a) çyzgydaky görkezilen düzümlü dolandyryjy ulgam emele getirýär. Onuň düzümindäki gözegçilik ediji gurluş (GEG) buýruk beriji (BB) gurluş hökmünde işi ýerine ýetirýär, (D) hökmünde bolsa ulgamasty sazlama gulluk edýär. Şeýle görnüşli iki derejeli (umumy görnüşde *köpderejeli*) dolandyrylýan ulgamlaryň düzümi aşakda durýan buýruk beriji funksiýalary ýerine ýetirýän derejeli düzümlere baglylykda ýokary derejeli buýruk beriji funksiýalary ýerine ýetirýärler. Olara *ýe-rarhiki düzümler* diýlip at berilýär. Dolandyrylýan ulgamy onuň tabynlygyndaky dolandyrylýan derejelere bölmek dolandyrmagyň umumy meselesini çözmegi ýeňil-leşdirýär, sebäbi kiçi derejeli dolandyrmaly meselelerde otositellikde alnanda has ýönekeý meseleler çözülýär. Ol bolsa dolandyrmagyň netijeliligini ýokarlandyrýar.

Adatça, iýerarhiki düzümi özünde saklaýan dolandyryjy ulgamlaryň işlemesiniň algoritmi saýlanylanda, ilki bilen, 1.2-nji çyzgyda şekillendirilen, sazlaýjynyň işlemesiniň algoritmi kesgitlenilýär, şeýle hem bu saýlaw çaklama bilen ýerine ýetirilýär, dolandyryjy täsir $u(t)$ bolmaýar we dolandyrylýan desga diňe $\lambda(t)$ oýandyryjy täsiriň astynda bolýar. Taslamanyň şu tapgyrynda dolandyrylýan ululyk, adatça, *sazlanylýan ululyk* diýlip atlandyrylýar, dolandyryjy täsir *sazlaýjy täsir*, dolandyrylýan desga bolsa *sazlanylýan desga* diýlip atlandyrylýar. Indiki tapgyrda buýruk beriji desganyň işlemeginiň algoritmi ulgamasty sazlamanyň matematiki modeli boýunça kesgitlenilýär. Başgaça aýdylanda, aýyk ýagdaýdaky dolandyrylýan ulgamyň düzümindäki gözegçilik ediji gurluşyň işlemesiniň algoritmi kesgitlenilýär. Ol bolsa 1.1-nji (a) suratda teklipl edilendir. Bu ýerde *gözegçilik ediji gurluş* diýlip ulgamyň buýruk beriji desgasyňa, desga diýlip bolsa ulgamdaky ulgamasty sazlama düşünilýär. Bu ýagdaýlar 1.2-nji çyzgyda görkezilendir. Käbir halatlarda bolmaly bahany beriji $x(t)$ ululygyň talap edilýän üýtgemesini sistema daşyndan alman, eýsem özi özbaşdak emele getirmeli ýagdaýy hem bolýar, ýagny obýektiň işlemegi üçin öňünden berlen käbir *hil görkezijisi* mümkin bolan iň uly we iň kiçi bahany kabul etmeli. Şeýle görkezijileriň biri hem ÝEB-däki ulanylýan ýangyjyň udel mukdary bolup biler. Ol bolsa elmydama minimum bahada saklanylmalydyr. Berlen dolandyrylýan x ululygyň operatiw hasaplanylmasý desganyň işiniň ýöriteleşdirilen optimizasiýa blogunda ýerine ýetirilýärler. Real dolandyrylýan ulgamlarda (1.1) formula bilen kesgitlenilýän dolandyrmagyň maksady hiç haçan hem takyk ýerine ýetmeýär. Şonuň üçin hem *dolandyrylýan ulgamyň işlemeginiň takyklygynyň görkezijisini* ululyk görnüşinde girizmeli bolýar. Bu görkeziji dolandyrylýan ululygyň berlen bahasyndan üýtgemesini kesgitleýär. Oňa başgaça *dolandyrmagyň ýalňyşlygy* hem diýilýär:

$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t), \quad (1.2)$$

ýagny şu formula bilen dolandyrylýan ululygyň islenilýän bahasyndan üýtgemesi kesgitlenilýär, ýöne dolandyrmagyň ýalňyşlygy umumy görnüşde wagta baglylykda üýtgeýän funksiýa görnüşinde bolýar, ýagny wagtyň dürli pursatlarynda dürli bahalara eýe bolýar. Dolandyrmagyň takyklygynyň görkezijisi bolsa dolandyrmagyň ýalňyşlygynyň käbir funksionalyny teklipl etmelidir. Berlen takyk şertlerde şu funksionalyň iň kiçi bahasyny üpjün edýän dolandyryjy ulgam *optimal dolandyryjy ulgam* diýlip atlandyrylýar.

Şu ýerde bellemeli zatlaryň ýene-de biri – ol hem dolandyrmagyň ýalňyşlygynyň minimuma getirilmesi dolandyrylýan ulgamyň işe ukyplylygyna doly güwä geçmeýär, sebäbi dolandyrmagyň mümkin bolan minimal ýalňyşlygynyň tehnologik reglament boýunça çäkli goýberip bolýan bahasyndan geçýän bolmagy mümkindir.

Şonuň üçin hem optimal ulgam düşüňjesi bilen bir hatarda ulgamyň *tehnologik işe ukyplylygy* diýen düşüňjani hem girizmek gerek bolýar, ýagny tehnologik nukdaýnazardan seredilende dolandyrmagyň ýalňyşlygy *çäkli goýberip bolýan ba-*

hasyndan geçmeýän ulgamlar düşünjesini girizýär. Dolandyrmagyň ýalňyşlygynyň ýüze çykmasy indiki esasy sebäpler bilen şertlendirilendir.

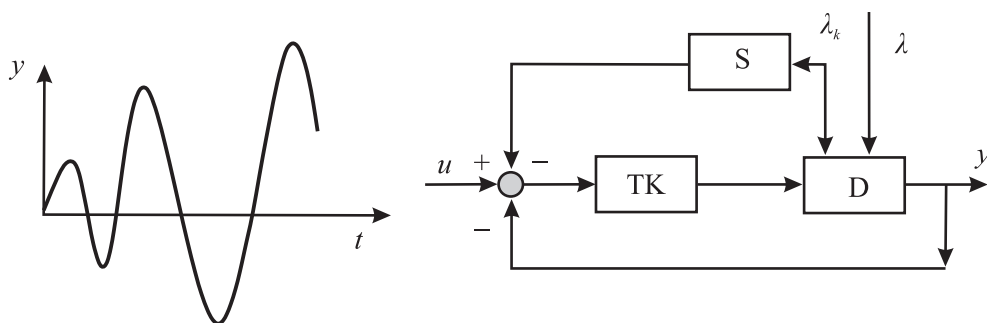
1. Dolandyrylýan ululyk dolandyryjy täsiri duýanda ýüze çykýan inersiýa we yzagalma ululyklary, şeýle hem tehnik çäklendirmeler bilen onuň mümkin bolan üýtgeме diapazonynyň ululygy.

2. Obýektiň modeli baradaky aprioriki maglumatlaryň takyk bolmadyk ýagdaýda berilmesinde hem-de olaryň esasynda hem dolandyrylýan ulgamlaryň taslamasynyň amala aşyrylmagy.

3. Taslamada kabul edilen kämil bolmadyk ulgamy dolandyrmagyň we sazlamagyň algoritmleri.

4. Ýapyk görnüşli dolandyrylýan we sazlanýlýan ulgamlarda olaryň işiniň *durnukly bolmadyk düzgünleriniň* ýüze çykma mümkinçiligi.

Durnukly bolmadyk effektiň daşky görnüşde ýüze çykmasy obýekte sazlaýjy utgaşdyrylanda hiç hili sebäpsiz sazlaýjy organy ilki bir tarapa, soňra başga tarapa aýlap başlamasy bilen düşünilýär, şeýle hem her gezek ýagdaý gaýtalananda uludan uly gerimli hereketler ýüze çykýar. Bu bolsa ösýän amplitudaly yrgyldyly hadysanyň ýüze çykmagyna getirýär. Şeýle proseslere mysal edip 1.3-nji çyzgydaky ýagdaýlary görkezmek bolar.



1.3-nji we 1.4-nji çyzgylar. Ýapyk görnüşli dolandyrylýan we sazlanýlýan ulgamlaryň häsiýetnamasy we düzümi

Bu ýerde:

TK – täsiri kompensirleýji;

S – sazlaýjy;

D – desga.

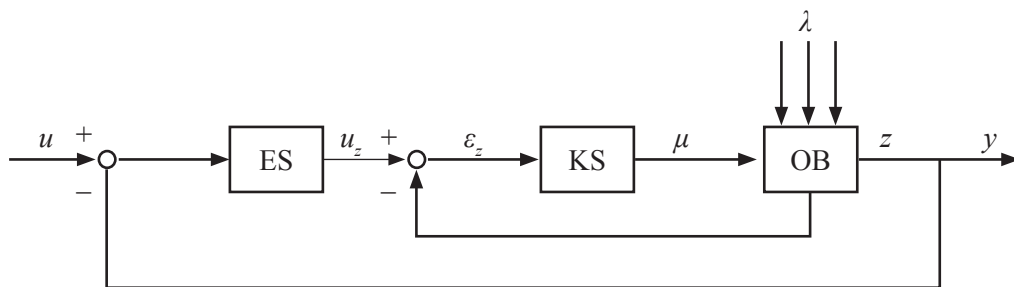
5. Sazlaýjynyň dolandyrylýan obýektiniň häzirki wagtyndaky ýagdaýy baradaky aýlan işçi maglumatynyň doly dälligi bilen şertlenilýär.

Şunuň bilen bilelikde dolandyrmagyň hilini ýokarlandyrmagyň indiki ýollaryny görkezmek mümkin bolar. Dolandyrylýan ulgamlaryň özara ylaşylyan ýagdaýdaky taslamalaryny işläp taýýarlamak we tehnologik desgalaryň awtomatlaşdyrylmasynyň doly hem-de dogry ýagdaýyny kesgitlemek, şu ýagdaýlarda hem dolandyrmak meselesinde ulanmaga ýerlikli ýagdaýlary (dolandyryjy agzalaryň süýşmesiniň ýeterlik

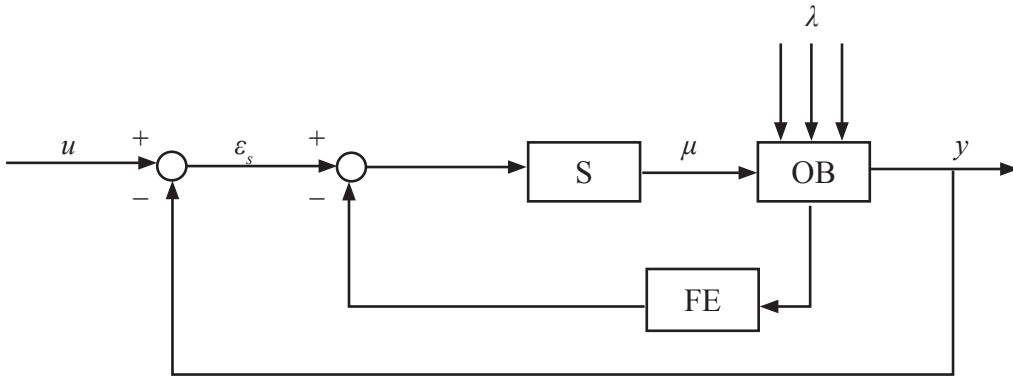
diapazonyny, dolandyrylýan ululyklaryň dolandyryjy täsirlere berýän reaksiýasyny we ş. m.) üpjün etmeli. Dolandyrylýan obýektiň has taky modelini işläp taýýarlamak mümkinçiligi, şeýle hem dolandyrylýan ulgamyň düzümine *deň hasap ediji we uýgunlaşdyryjy* ulgamasty kiçi ulgamlary girizmegi amala aşyrmaly.

Gözegçilik ediji gurluşyň işini ýerine ýetirmegiň optimal algoritmine ýakyn bolan dolandyryjy ulgamlary ulanmaly. Ol algoritmler, degişlilikde, bar bolan çäklendirmelerde ulgamyň işiniň kabul edilen optimallık kriterisiniň minimumyny üpjün etmelidir, ilki bilen hem ulgamdaky prosesleriň durnuklylygyna goýlan çäklendirmeleri üpjün etmelidir. Desga bilen sazlaýjynyň arasyndaky baglanyşygyň ulanyp boljak *maglumat düzümini* saýlamaly. Bu bolsa obýektiň seredilýän wagtyndaky ýagdaýy baradaky ýeterlik derejede doly maglumaty sazlaýjynyň alyp bilmegini üpjün etmeli. Ýokarda seredilip geçilen obýektiň ýagdaýy baradaky maglumat arabaglanyşygynyň işçi maglumatynyň fiziki taýdan doly dälligi 1.1-nji (b) we 1.2-nji çyzylardaky ýaly sazlaýjynyň diňe obýekte täsir edýän täsiriň ahyrky netijesini gözegçilikde saklaýanlygy bilen şertlendirilendir. Bu täsirlere bolsa dolandyrylýan ululygyň islenilmeýän üýtgemelerini ýüze çykarýar. Haýsy hem bolsa bir täsiriň ýüze çykmasy bilen we şol täsiriň täsiri bilen dolandyrylýan ululygyň üýtgemesiniň başlamagy üçin gerek bolan wagt aralygynda sazlaýjy hereket etmeýär. Şol bir wagtda hem obýektiň ýagdaýy üýtgäp başlaýar. Şonuň üçin hem işçi maglumatyň doly dälliginiň täsirini operatiw ýagdaýda gönüden-göni barlagda saklamak arkaly belli bir mukdarda azaldyp bolar. Şeýle ulgamyň düzümi 1.4-nji çyzyda getirilendir. Şu ýerde sazlaýjy $\lambda_k(t)$ görnüşli oýandyryjy täsir barada goşmaça maglumaty alýar. Degişlilikde hem kompensirleýji desgada (KB-de) özgerdilen görnüşde maglumatly bolýar. Şeýle ulgamlar bolsa *oýandyryjy täsirlere kompensirleýji sazlaýan ulgamlar* adyny aldylar. Oýandyryjy täsirleriň barlagynyň ýerine ýygnaýan kömekçi ululyklaryň barlagyny amala aşyrmak mümkindir. Olar, degişlilikde, obýektiň seredilýän wagtyndaky ýagdaýynyň üýtgemesini häsiýetlendirýärler. Şeýle sazlanýan ulgamlaryň düzüminiň iki görnüşi 1.5-nji çyzyda getirilip görkezilendir.

Teklip edilýän kaskad görnüşli sazlama 1.5-nji (a) çyzyda görkezilip, ol iki sany özara biri-birine tabynlykdaky sazlaýjylar bilen amala aşyrylýar.



1.5-nji (a) çyzy. Oýandyryjy täsirlere kompensirleýji sazlaýan ulgamlar



1.5-nji (b) çyzgy. Oýandyryjy täsirleri kompensirleýän sazlaýjy ulgamlar

Olaryň birisi 1.5-nji (a) çyzgyda görkezilen esasy sazlaýjy (ES), beýlekisi bolsa kömekçi sazlaýjydyr (KS-dir). Birinji sazlaýjy $y(t)$ esasy sazlanýlýan ululygy barlagda saklaýar we ikinji üçin $u_z(t)$ görnüşli buýruk beriji täsiri formulirleýär. Ikinji sazlaýjy bolsa, öz gezeginde, obýektiň kömekçi sazlanýlýan $z(t)$ ululygynyň ululykdan üýtgesimini barlagda saklamagyň esasynda $\mu(t)$ görnüşli sazlanýlýan täsiri ýüze çykarýar. 1.5-nji (b) çyzgyda teklipl edilgen shemada bolsa sazlama bir sazlaýjy (S) bilen amala aşyrylýar, ýöne bu sazlaýjynyň girişine $y(t)$ görnüşli esasy sazlanýlýan ululygyň üýtgesiminden başga-da $z(t)$ görnüşli kömekçi sazlanýlýan ululygyň üýtgesimi barada hem duýduruş berilýär. Ol bolsa deslapky ýagdaýda FD formulirleýji enjamda FE-de gerekli görnüşde formulirleýärler. Kömekçi sazlanýlýan ululyklary barlaýan ulgamly obýektleriň täsirleri kompensirleýji ulgamly obýektlerden tapawudy – her bir kömekçi sazlanýlýan ululygyň barlagy ulgamyň düzümine goşmaça ýapyk kontur goşýar, sebäbi onuň üýtgesimine diňe täsir özüniň täsirini ýetirmän, eýsem sazlaýjy täsir hem täsir edýär. Birnäçe ýapyk sudurly ulgamlar *köp sudurly ulgamlar* diýlip atlandyrylýar. Ulgamyň birnäçe kömekçi sazlanýlýan ululykly maglumat düzümi ozalky ýaly 1.5-nji çyzgyda şekillendirilen görnüşde teklipl edilip bilner, ýöne $z(t)$ ululygy şu ýagdaýda wektor diýip hasap etmeli, ýöne her bir takyk seredilýän ýagdaýda dolandyrylýan ulgamyň düzüminiň maksadalaýyk dereje sanynyň bolýandygyna üns bermelidir. Hususy ýagdaýda dolandyrmagyň zerur hilini buýruk beriji desganyň bolmadyk ýagdaýynda hem gazanyp bolýar, ýagny haçan-da $x(t) = u(t)$ bolanda agzalyan ýagdaý ýerine ýetýär.

1.3. Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň tehniki we matematiki üpjünçiligi

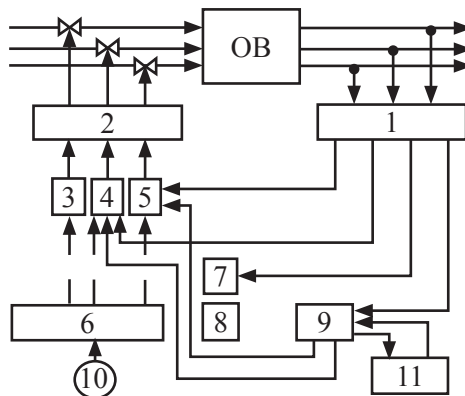
Awtomatiki enjamlar olary dolandyryýan işçiniň (operatoryň) desgany dolandyrmak boýunça akyl ýetirip bilijilik ukybyny çalyşýarlar. Dolandyryjy işçi, özüniň hereketlerinde kesgitlenilen düzgünnamalara salgylanýanlygyna görä, islendik dolandyryjy enjamlara, ilki bilen, ýöriteleşdirilen hasaplaýjy maşyn görnüşinde se-

retmelidir. Ol maşynlar bolsa, degişlilikde, saýlanylýan dolandyryşyň algoritmini ýerine ýetirýärler. Ulgamyň önünde goýlan maksadyny ýerine ýetirmek üçin talap edilen takyklygy üpjün edýän ulgamyň dolandyryjy bölegine goýlan algoritmleriň köpçüligi *dolandyrylýan ulgamyň algoritmiki we matematiki üpjünçiligi* diýlip atlandyrylýar. Dolandyrylýan ulgamyň dolandyryjy bölegini gurnaýan tehniki enjamlaryň köpçüligi bolsa *tehniki üpjünçilik* diýlip atlandyrylýar. Dolandyrylýan ulgamyň algoritmleriň üpjünçiliginiň görümi we düzümi, ilki bilen, onuň funksional düzümi bilen kesgitlenilýär. Ol algoritmlere indiki algoritmler girýär: *obýektiň deň hasap etme (identifikasiýa) we uýgunlaşma (adaptasiýa) algoritmi, hususy dolandyrmagyň algoritmi (sazlama we buýruk beriji täsirleri emele getirmek), desganyň işiniň hiliniň oňaýly (optimal) görkezijisiniň algoritmi we şol görkezijiniň deň hasap etme algoritmi*. Tehnologik prosesleri dolandyryjy ulgamlaryň düzüminde işleýän dolandyryjy hasaplaýjy maşynlar köptaraply (uniwersal) hasaplaýjy maşynlardan (mysal üçin, hasaplaýjy merkezlerde goýulýan maşynlar) iki aýratynlygy bilen tapawutlanýarlar. Dolandyryjy maşynlar tehnologik prosesleriň akyp geçişi bilen sinhron ýagdaýda işlemeli (başgaça aýdylanda, real wagt düzüminde işlemeli); dolandyryjy hasaplaýjy maşyn hasaplamalar üçin gerek bolan giriş maglumaty dolandyrylýan desgadan signal görnüşinde almaly. Degişlilikde bolsa hasaplamalaryň netijesi gaýragoýulmasyz ýagdaýda obýekte täsir eder ýaly fiziki ululyk görnüşinde ýerine ýetirilmedi. Tehnologik desgalar dolandyrylanda dolandyryjy täsirler, adatça, dolandyryjy agzalaryň mehaniki süýşmesi görnüşinde bolýarlar (klapanýň ştogunyň, şiberiň, üýtgeýän garşylygyň hereketlendirijisiniň süýşmesi we ş m). Şonuň üçin hem dolandyryjy maşynlaryň çykyşynda ýeterlik derejede kuwwatly ýerine ýetiriji mehanizmler ýerleşdirilýär, elektrik, pneumatiki ýa-da gidrawliki rewersli hereket edýän hereketlendirijiler desganyň dolandyryjy agzasy bilen birleşdirilen ýagdaýynda goýulýar. Islendik hasaplaýjy maşynlar ýaly gözegçilik ediji gurluşlar we sazlaýjylar hem *analogly we sanlaýyn* täsir ediji görnüşde bolýarlar. Häzirki wagtda mikroprocessorly sanlaýyn gözegçilik ediji gurluş we personal EHM-ler artykmaçlykly ýaýradylmaga mümkinçilik aldylar. Analog sazlaýjylary, mysal üçin, partlama howply we ýangyn howply desgalarda ulanmaly bolýar. Obýektleriň matematiki üpjünçiligine hususy dolandyрма algoritminden başga-da obýektiň matematiki modeline baha beriji (deň hasap etme - identifikasiýa algoritmi) we gözegçilik ediji gurluşyň parametrlerini koreksiýa ediji algoritmler (uýgunlaşma algoritmi) hem girýär. Olar dolandyryjy ulgamlary herekete girizmezden önürti dolandyrmagyň algoritmleriniň amatly parametrlerini gutarnykly kesgitlemek üçin zerurdyr. Bu bolsa tehnologik dolandyrylýan desganyň şertleşdirilmedik (determinirlenmedik) häsiýetleri bilen şertleşdirilendir. Degişlilikde, ulgamyň doly sintezini taslamalar ýerine ýetirilýän tapgyrlarynda amala aşyrmaga mümkinçilik bermeýär. Bulardan başga-da ulgam ulanylýan döwründe desganyň häsiýetnamalary wagta baglylykda ýuwaşlyk bilen üýtgäp başlaýar. Netijede bolsa gözegçilik ediji gurluşyň parametrlerini dessin (operatiw ýagdaýda) düzetmeli bolýar, şeýle hem matematiki üpjünçiligiň düzümine diskret (bölek-bölek) dolandyрма algoritmleri gi-

rip bilýär. Olar desganyň täze bir düzgüne geçen ýagdaýynda düzüminiň üýtgemesi bilen baglanyşykly bolýar. Bularan başga-da tehnologik bozulmalar ýagdaýynda gorag algoritmleri we ş.m. degişli edilýär.

Häzirki zaman kuwwatly tehnologik desgalary dolandyryjy ulgamlar, şol sanda elektrik beketleri enjamlary tehnologik prosesleri awtomatlaşdyrylan dolandyryjy ulgamlaryň (TPADU) düzüminde işleýärler. *Awtomatlaşdyrylan ulgam adam-maşyn* ulgamydyr.

Umumy ýagdaýda ADU-lar bular adam-maşyn ulgamy bolup adam işiniň dürli-dürli ugurlarynda dolandyrmagyň optimallylygynyň (iň amatlylygynyň) zerurlygy üçin gerek bolan maglumaty ýygnamakdan we özleşdirmekden durýandyr. TPADU-lar ADU-laryň dürli görnüşleriniň biri bolup durýar we bu ýerde dolandyrylýan obýekt bolup tehnologik proses gulluk edýär.



1.6-njy çyzgy. TPADU-laryň tehnologik düzümi

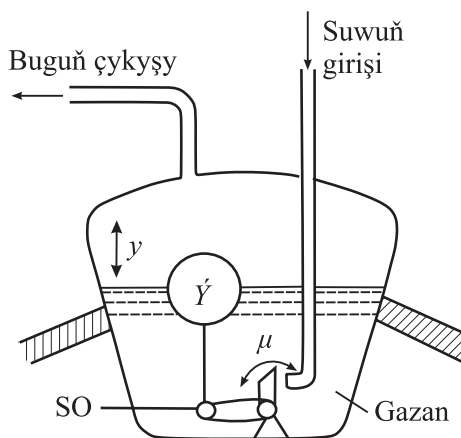
Dolandyryjy ulgamyň düzüminde adam-operatoryň birnäçe sebäpler bilen şertlenen bolmagy mümkindir. Tehnologik dolandyrylýan desgalar çylşyrymlydyr we az öwrenilendir. Bu bolsa matematiki modeli ýeterlik derejede almaga mümkinçilik bermeýär. Degişlilikde, formal görnüşde dolandyrmagyň algoritmini işläp taýýarlap bolmaýar. Doly göwrümde dolandyрма funksiyasyny ýerine ýetirmek üçin zerur bolan tehniki serişdeleriň ýetmezçilik etmegi, tehniki-ykdysady maksadalaýyklygy muňa sebäp bolup biler.

Şeýlelikde, TPADU-larda operatoryň wezipesine entäk doly awtomatlaşdyrylmadyk operasiýalary dolandyrmak funksiyasy hem-de umumylykda tehnologik proseslere gözegçilik etmek galýar. Degişlilikde, TPADU-da onuň maglumat beriji bölegi uly göwrümde ösmäge mümkinçilik alýar. Onuň meselesine bolsa operatora gerek bolan ähli maglumaty ýetirmek girýär. EHM-ler şu maglumatlary ulanmak üçin amatly görnüşde teklipl etmäge mümkinçilik berýär. Mysal üçin, kompýuteriň ýüzünde desganyň aýratyn bölekleriniň tehnologik shemalaryny pursat görnüşinde teklipl edip bilýär. Tehnologik prosesleriň gidişine operatoryň girişmegine mümkinçilik döretmek üçin ähli dolandyryjy agzalar operatoryň gözegçilik edýän noka-

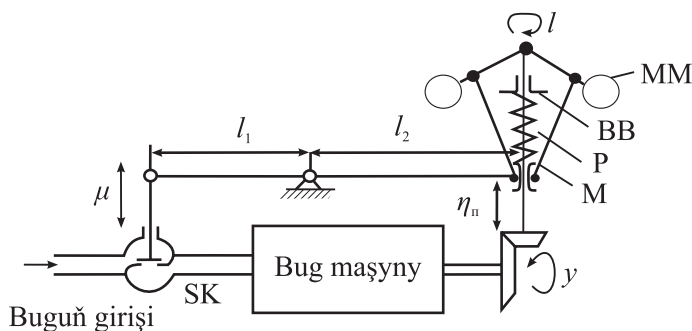
dynda aralykdan dolandyryp bolýan ýerine ýetiriji hereketlendirijiler bilen üpjün edilýär. TPADU-laryň tehnologik düzümi 1.6-njy çyzgyda getirilip görkezilendir. Schema öz içine indiki elementleri alýar: OB dolandyrylýan desga, ilkinji ölçeýji abzallar (1); ýerine ýetiriji mehanizmler (2); aralykdan dolandyrmagyň ulgamasty enjamlary (3); logiki dolandyrmagyň ulgamasty enjamlary (4); awtomatiki sazlamagyň ulgamasty enjamlary (5); operatoryň dolandyryjy nokady (puly) (6); özbaşdak ikinji ölçeýji abzallar (7); maglumat görkeziji enjamlar (8); hasaplaýjy kompleksler (EHM) (9); adam-operator (10); ýokary derejede duran ADU (11). Ol ýerden özleşdirilen TPADU-lar maglumatlar bilen özara alyş-çalşy amala aşyrýarlar.

1.4. Tehnologik prosesleri awtomatiki dolandyrmagyň tehnikasynyň we nazaryýetiniň emele gelşi we ösüşi

Önümçilikde awtomatiki dolandyryjy enjamyň ilkinji nusgalyk görnüşini – bug gazanynda ulanylan derejäni awtomatiki sazlaýjyny rus mehanigi **I. I. Polzunow** teklipl edýär. Bu sazlaýjy ilkinji bug maşynlaryny bug bilen üpjün edýär (1765 ý.). Bu sazlaýjy bilen sazlanýlýan ulgamyň shemasy 1.7-nji çyzgyda görkezilendir.



1.7-nji çyzgy Bug gazanynda ulanylan derejäni awtomatiki sazlaýjynyň shemasy



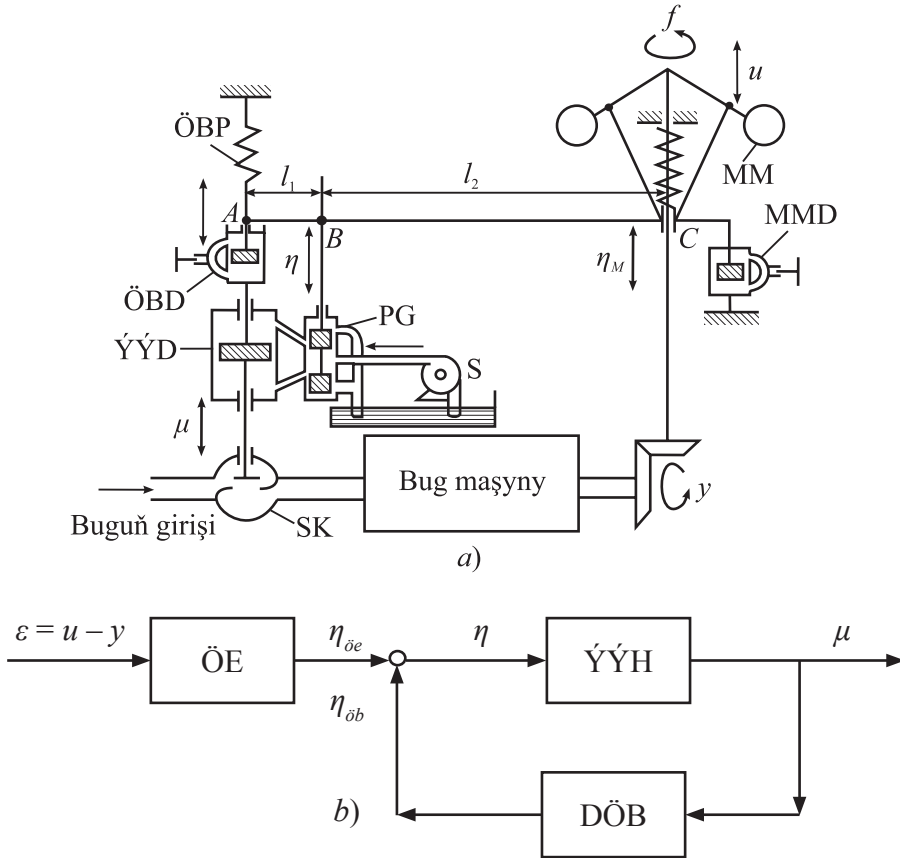
1.8-nji çyzgy. Bug maşynynyň walynyň aýlaw ýygylgyny sazlaýjynyň shemasy

Şu ýerde sazlanýlýan obýekt bolup bug gazany gulluk edýär. Sazlamagyň maksady bolsa suwuň derejesi bolan $\gamma(t)$ ululygy hemişelikde saklamakdyr. Sazlaýjy indiki elementlerden durýar: ýüzgüç (γ). Ol üýtgeýän suwuň derejesi bilen süýşüp, sazlaýjy agzanyň (SA-nyň) gapajygynyň açylma derejesini gazana suw geçiriji turbadaky $\mu(t)$ ululygyny üýtgedýär. Ýüzgüç bilen gapajygynyň birleşdirilmesi indiki tertipde ýerine ýetirilen, ýagny suwuň derejesiniň ýokarlanmasynda gapajyk ýapylýar, suwuň derejesiniň peselmesinde bolsa gapajyk açylýar we oýandyryjy täsirleriň netijesinde suwuň derejesi berlen bahanyň töwereginde durnuklaşdyrylýar (ýagny suwuň mukdarynyň öz-özünden üýtgemesinde gazandan bugy almagyň mukdarynyň üýtgemesine getirmez, degişlilikde bolsa sokma kiltiň (zadwiżkanyň) öňündäki suwuň basyşynyň hem-de gazandaky buguň basyşynyň üýtgemesine getirýär.

Takmynan, ýigrimi ýyl geçenden soňra bolsa inlis alymy **J. Uatt** özüniň bug maşynynda 1.8-nji çyzykdaky ýaly walyň aýlaw ýygylgyny merkezden gaçýan prinsipinde işleýän sazlaýjyny oturdýar. Sazlaýjynyň işleýiş prinsipi I. I. Polzunowyň sazlaýjysyndan tapawutlanmaýar, ýöne konstruksiýasy boýunça başgaça taýýarlanylýar. Bu sazlaýjyda walyň aýlaw ýygylgynyň üýtgemesi merkezden daşlaşýan maýatnik (MDM) bilen kabul edilýär. Maýatnigiň aýlanmasynda ösýän merkezden daşlaşýan güýçler maýatnigiň yükjagazlaryny aýlaýarlar. Olar bolsa, öz gezeginde, muftany ýokarlygyna çekip başlaýarlar. Çekilme hadysasy pružiniň gysylma güýji bilen ösýän güýçler deňagramlaşýança dowam edýär. Görnüşi ýaly, aýlaw ýygylgy näçe uly bolsa, şonça-da mufta ýokarlygyna süýşer. Ol, öz gezeginde, obýektiň sazlaýjy agzasynyň ştoguny ryçagyň kömegi bilen maşyna bug berilýän liniýadaky sazlaýjy klapana birleşdirýär. Birleşdirme bolsa aýlaw ýygylgynyň köpelmesinde klapanyň ýapylar ýaly, kiçelmesinde bolsa açylar ýaly ýagdaýda ýerine ýetirilendir. Walyň aýlaw ýygylgynyň bolmaly bahasy kesgitleýji gurluşyň kömegi bilen pružiniň başlangyç ýagdaýda gysylmasy netijesinde goýlup bilner. Seredilip geçilen iki sazlaýjy hem ýerine ýetiriji hereketlendirijini saklamaýar. Sazlanýlýan ululygyň üýtgemesi bilen gönüden-göni baglanyşykda sazlaýjy agzanyň süýşmesi amala aşyrylýar (ýüzgüç, merkezden daşlaşýan maýatnik). Şu görnüşli sazlaýjylar *göni täsirli sazlaýjylar* diýlip atlandyrylýar. Bug maşynlarynyň kuwwatynyň ösmegi bilen göni täsirli merkezden daşlaşýan tipli sazlaýjylaryň ulanylmagy uly kynçylyklary ýüze çykardy, sebäbi agramy agyr bolan sazlaýjy klapanylary süýşürmek üçin merkezden daşlaşýan maýatnigiň yükleriniň agramynyň gitdigiçe ulaldylmagy talap edilýär. Bir wagtyň özünde hem seredilýän sazlaýjylaryň beýleki bir ýetmezçiligi ýüze çykyp başlaýar, ýagny obýektiň yüküniň üýtgemesinde sazlanýlýan ululyk berlen bahasyny takyk saklap bilmeýär. Bu ýagdaý bolsa *sazlamanyň deňölçegsizligi* diýen ady alýar ýa-da başgaça *statiki ýalňyşlyk* diýlip atlandyrylýar. Hakykatdan hem, obýekt täze bir ýüki çekmeli bolanda onuň sazlaýjy klapanyň täze bir ýagdaýa süýşürmeli bolýar (ýük näçe uly bolsa, sazlaýjy klapanyň hem şonça köp açylmaly), ýöne seredilýän sazlaýjylaryň

gurluşlarynda sazlaýjy guralyň ýagdaýy sazlanýlýan ululygyň üýtgemesini kabul edýän elementi bilen gaty görnüşde baglanyşdyrylan. Sazlaýjy guralyň dürli-dürli kadalaşan ýagdaýlarynda sazlanýlýan ululygyň dürli bahalary kadaly ýagdaýa gelmeli. Bug maşynynyň aýlaw ýygylygynyň sazlaýjysy sazlaýjy guraly merkezden daşlaşýan maýatnigiň muftasynyň ýagdaýyny üýtgetmek arkaly täze bir ýagdaýa süýşürüp biler. Bu bolsa diňe maşynyň walynyň aýlaw ýygylygynyň täze bahasynda mümkin bolar. Sazlamanyň deňölçeýsizligini azaltmaga ymtylmagy (munuň üçin 1.8-nji çyzgyda şekillendirilen sazlaýjyda ryçagyň egniniň L_1/L_2 gatnaşygyny köpeltmeli) şol wagtlar üçin garaşylmadyk hadysa sazlanýlýan ulgamyň durnuklylygynyň ýitmesine getirýär, ýagny 1.3-nji çyzgyda görkezilen sazlanýlýan ululygyň dargaýan yrgyldylarynyň ýüze çykmasyna getirýär. Şeýle ýüze çykmany aradan aýyrmakda arassa gurluş (konstruktiv) ölçegleri bilen, ilki bilen, sazlaýjynyň birleşmelerinde sürtülme güýjüni azaltmak üçin edilen synanyşyklar netije bermeyär. Netijede, geçen ýüzýyllygyň (XX asyryň) ortalaryna bug maşynlarynyň ösüşinde hereketsizlik ýüze çykýar (olar walyň aýlaw ýygylygynyň sazlaýjysy bolmasa işläp bilmeýärler) we “sazlaýjylaryň gurluşygynda ýetmezçilik döwri” emele gelýär. Mesele şeýle bir zerur bolup, ol mesele bilen şol wagtyň görnükli alymlary işleri hem alyp bardylar. Ulamlaryň durnuklylygy boýunça meseleleriň çözgüdine dogry barýan ilkinji işler 1868-nji ýylda **D.K. Makswell** we 1876-njy ýylda bolsa **I.A. Wysnegradskiý** tarapyndan çap edilýär. Şu işler hem Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary dersiniň esasy goýýar. Uly kuwwatly bug maşynlarynyň durnukly we galdyrylmaýan deňölçeýsizlikli sazlanlyşynyň meselesiniň düýpli çözülişi geçen asyryň (XX asyryň) soňky çäýeginde sazlaýjynyň düzümine ýerine ýetiriji hereketlendirijini we düzeldiji (korreksiýa beriji) öwranlaýyn baglanyşygy girizmek bilen amala aşyrylýar. Şeýle sazlaýjylara **göni däl täsirli sazlaýjylar** diýilýär. Dolandyrylýan ulgamyň energiýa çeşmesine görä daşky energiýa çeşmesinden energiýa alýan, sazlaýjy klapanyň süýşürilmesini amala aşyran ýerine ýetiriji hereketlendirijini ulanmak merkezden daşlaşýan maýatnigiň işini dolulygyna ýüksüzlendirdi. Korrektirleýji öwranlaýyn baglanyşygy ulanmak bolsa sazlaýjynyň ulanmaga amatly hereket etme algoritmini döretmäge mümkinçilik berdi. Göni däl täsirli hereket edýän sazlaýjynyň alnan shemasy 1.9-njy (a) çyzgyda teklipe edilendir. Ol shema indiki esasy elementlerden durýar (olar häzirki wagtda hem goýberilýän sazlaýjylar üçin häsiýetli bolmagynda galýarlar): ölçeýji elementi—merkezden daşlaşýan maýatnigi (MDM-i), ol element sazlanýlýan ululygyň berlen bahasyndan üýtgemesini ýüze çykarmagy amala aşyran, paýlaýjy gurluşly (PG) gidrawliki görnüşde bolan ýerine ýetiriji hereketlendiriji (ÝÝH), dogrulaýjy öwranlaýyn baglanyşyklar. Olar öwranlaýyn baglanyşygyň pružininden (ÖBP) we öwranlaýyn baglanyşygyň dempferinden (ÖBD) (yrgyldylary ýatyryjydan) durýarlar. Olaryň kömegi bilen bolsa sazlaýjynyň işiniň algoritminiň emele gelmesi amala aşyrylýar. Bu ýerde göni täsirli sazlaýjylardan tapawutlylykda merkezden daşlaşýan maýatnik

diňe ýerine ýetiriji hereketlendirijiniň porşeniniň süýşmesini dolandyrýar, ýagny sorujy bilen döredilýän ýagyň basyşyny gatlaýjy ýerine ýetiriji hereketlendirijiniň ol ýa-da beýleki giňişligine ugrukdyrýar. Ýüksülendirilen maýatnikde ýüze çykýan yrgyldylary söndürmek üçin merkezden daşlaşýan maýatnikiň (MDM-iň) yrgyldylaryny ýatyryjy enjam ulanylýar. Sazlaýjynyň funksional elementleriniň özara gatnaşygynyň häsiýeti 1.9-njy (b) çyzgyda getirilen düzüm shemasynda aýdyň görkezilýär. Bu ýerde: ÖE – ölçeýji element; ÝÝH – paýlaýjy gurluşly ýerine ýetiriji hereketlendiriji; DÖB – dogrulaýjy öwranlaýyn baglanyşyk; $\eta_{\text{öe}}$ we $\eta_{\text{öb}}$ ölçeýji elementiň hereketi bilen şertlenen paýlaýjy gurluşyň ştogunyň süýşmesiniň we dogrulaýjy öwranlaýyn baglanyşygyň degişlilikdäki düzüjileri; $\eta = \eta_{\text{öe}} - \eta_{\text{öb}}$.



1.9-njy çyzgy. Sazlaýjynyň funksional we düzüm shemalary

Sazlaýjynyň işi umumy çäklerde alnanda indiki tertipde bolup geçýär. Maşynyň walynyň aýlaw ýygylgynyň berlen durnuklaşan bahasynda maýatnikiň muf-tasy bilen paýlaýjy gurluşy birleşdirýän ryçag gorizonta ýagdaýda ýatýar. Paýlaýjy gurluşdan ýerine ýetiriji hereketlendirijä gidýän turbajyklaryň ikisiniň hem öňi ýa- pyk ýagdaýda bolýar, hereketlendirijiniň porşenleri hereket etmeýärler, öwranlaýyn

baglanyşygyň pružini bolsa gowşadylan ýagdaýda. Goý, indi bolsa maşynyň walynyň aýlaw ýygylgy üýtgesin, mysal üçin, köpelsin. Onda merkezden daşlaşýan maýatnigiň muftasynyň ryçagy A nokadyň daşyndan aýlanmak bilen ýokarlygyna gider. Bu bolsa B nokadyň ýokarlygyna gitmegine getirer. Şeýle bolanda paýlaýjy gurluşyň ýerine ýetiriji tarapynda ýerleşen turbajyklaryň ýokarkysynyň açylmagyna, aşakysynyň bolsa ýapylmagyna getirer. Ýag bolsa, öz gezeginde, ýerine ýetiriji hereketlendirijiniň ýokarky giňişligine baryp başlar, hereketlendirijiniň porşeni aşaklygyna hereket edip maşyna bug berilýän liniýadaky sazlaýjy klapany ýapar. Şol bir wagtyň özünde hem öwranlaýyn baglanyşygyň dempferiniň (dempfer–yrgyldylary ýatyryjy) gapjagazy aşak hereket edip başlar. Ol bolsa, öz gezeginde, özünde ýerleşdirilen porşeni zyzy bilen alyp gaýdyp, B nokady aşaklygyna süýşürmäge ymtylar, ýagny merkezden daşlaşýan maýatnigiň muftasynyň hereketi bilen ýüze çykarylan hereketiň garşysyna hereket etmäge başlar. Adatça, korrektirleýji öwranlaýyn baglanyşygyň hereketi gaty güýçli ýagdaýda saýlanylýar, ýagny sazlama hadysasynda paýlaýjy gurluşyň ştoгы ortaky ýagdaýyndan diňe sähelçe üýtgän ýagdaýynda hereket edýär. Degişlilikde, iş hadysasynda sazlaýjynyň ryçagy bolsa B nokada baglylykda uly bolmadyk yrgyldylary ýerine ýetirýär. Şonuň üçin hem öwranlaýyn baglanyşygyň porşeni wagtyň islendik pursatynda merkezden daşlaşýan maýatnigiň muftasynyň süýşmesine amaly taýdan proporsional ýagdaýda deň hereket eder (ryçagyň eginleriniň L_1/L_2 gatnaşygyna deň bolan k_p proporsionallyk koeffisiýenti bilen). Şu şertlerde sazlaýjy agzanyň $\mu(t)$ ýagdaýy bilen merkezden daşlaşýan maýatnigiň muftasynyň ýagdaýynyň (bu ululyk $\varepsilon(t)$ sazlanýlan ululygyň berlen bahasyndan üýtgemesini kesgitleýär) arasyndaky baglanyşygy wagtyň islendik pursadynda indiki formula bilen ýazylýanlygyny görkezmek bolar (bu meselä biz indiki bablarda gaýdyp geleris):

$$\mu(t) = k_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt \right]. \quad (1.3)$$

Bu formula bolsa sazlaýjynyň ýerine ýetirýän funksiýasynyň *algoritmini* aňladýar. Şu formuladan görnüşi ýaly, *sazlaýjy täsir* wagtyň her pursadynda sazlanýlan ululygyň üýtgemesi bilen şol bir wagtyň özünde hem sazlaýjynyň işe utgaşdyrylan pursatyndan başlap hasaplanylýan üýtgemäniň integralynyň jemine deňdir. Sazlaýjynyň ýerine ýetirýän funksiýasynyň şeýle algoritmi geljekde *proporsional-integral algoritmi* adyny aldy (gysgaça PI-algoritmi). Bu formuladaky umumy proporsionallyk koeffisiýenti bolan k_p **ululyk sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti** diýlip atlandyrylýar. Seredilip geçilýän sazlaýjynyň gurluşynda onuň ululygy hususy ýagdaýda ryçagyň eginleriniň L_1/L_2 gatnaşygyna bagly bolýar. Gatnaşyk näçe uly bolsa, k_p ululyk hem şonça uly bolýar. PI-sazlaýjynyň integrally düzüjisiniň agramy T_i koeffisiýent bilen kesgitlenilýär. Ol *sazlaýjynyň integrirleme hemişeligi* diýlip atlandyrylýar. Onuň islenilýän ululygyny öwranlaýyn baglanyşygyň demp-

feriniň şuntirleýji turbajygynyň gidrawliki garşylygyny üýtgetmek arkaly goýup bolýar. Onuň üçin bolsa turbajyk iňňe görnüşli wentil bilen enjamlaşdyrylýar.

Sazlama prosesi tamamlanylandan soňra seredilip geçilen öwranlaýyn baglanyşygyň täsir etme effekti ýok bolup gidýär (öwranlaýyn baglanyşygyň pružini gowşadylan ýagdaýa gaýdyp gelyär). Şonuň üçin hem şeýle öwranlaýyn baglanyşyk *ýok bolup gidýän ýa-da çeyje baglanyşyk* adyny alýar. Sazlama prosesiniň ahyrynda öwranlaýyn baglanyşygyň ýok bolup gitmesi merkezden daşlaşýan maýatnigiň muftasy diňe başlangyç ýagdaýyna gelenden soňra paýlaýjy gurluşyň özüniň ortaky ýagdaýyna gelip bilýänligine şaýatlyk edýär, ýagny seredilip geçilen sazlaýjy galýan deňölçegsizlikli işleýär. Eger-de öwranlaýyn baglanyşygyň dempferiniň şuntirleýji turbajygy dolulygyna ýapylsa, onda onuň porşeni gapjagazy bilen gaty baglanyşykda bolar we ryçagyň A nokadynyň süýşmesi sazlaýjy agzanyň süýşmesi bilen gabat geler. Şeýle dogrulaýjy öwranlaýyn baglanyşyk *gaty öwranlaýyn baglanyşyk* diýlip atlandyrylýar. Gaty öwranlaýyn baglanyşykly sazlaýjynyň ýerine ýetirýän funksiýasynyň algoritimi $\mu(t) \approx 0$ bolan öňki şertlerde aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$\mu(t) = k_p \varepsilon(t), \quad (1.4)$$

ýagny sazlaýjy agzanyň süýşmesi sazlanýlan ululygyň üýtgemesine proporsionaldyr. Alnan algoritm *proporsional ýa-da P-algoritm* diýip atlandyrylýar. Bu ýagdaý 1.3-nji formuladaky $T_i \rightarrow \infty$ ymtylanda PI algoritmiň hususy ýagdaýy, hakykatdan hem, P – sazlaýjy sazlamany galdyrylýan deňölçegsizlikli amala aşyrýar. Beýleki bir gyraky ýagdaýda, ýagny öwranlaýyn baglanyşygyň dempferiniň şuntirleýji turbajygy dolulygyna açyk ýagdaýynda dempferiň gapjagazynyň süýşmesi onuň porşeniniň ýagdaýyna hiç hili täsir etmeýär. Sazlaýjy dogrulaýjy öwranlaýyn baglanyşyksyz galýar we ryçagyň A nokady elmydama üýtgemeyän ýagdaýda bolýar. Ýerine ýetiriji hereketlendirijiniň porşeniniň hereketiniň tizligini paýlaýjy gurluşyň ştogunyň hereketine proporsional diýip hasap edip bolar (sebäbi bu süýşmäniň ululygy o diýen uly bolmaýar), onda sazlaýjynyň işiniň algoritmi indiki görnüşde ýazylyp bilner:

$$\mu'(t) = k_i \varepsilon(t) \quad (1.5)$$

ýa-da bu formulanyň çep we sag taraplary integrirlenilenden soňra alarys:

$$\mu(t) = k_i \int_0^t \varepsilon(t) dt. \quad (1.6)$$

Bu ýerde k_i – integral sazlaýjy diýlip atlandyrylýan sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti.

Şeýle sazlaýjy bilen sazlanýlan täsir sazlaýjynyň işe utgaşdyrylan pursadandan başlap hasaplanylýan sazlanýlan ululygyň üýtgemesiniň integralyna proporsio-

nal görnüşde amala aşyrylýar. Görnüşi ýaly, I – sazlaýjy sazlamany galdyrylýan deňölçeşsizlikli ýerine ýetirýär, ýöne bug maşynlarynda sazlama geçirmek üçin ulanmak synanyşygy elmydama şowsuzlyk bilen gutarýar, sebäbi sazlama ulgamy durnuksyz ýagdaýda bolýar.

Şeýlelikde, korrektirleýji öwranlaýyn baglanyşyk sazlamagyň başdaky düýbünden kanagatlanarsyz I algoritmini talap edilýän ugra ugrukdyrmak, ýagny P we PI algoritmleri almak üçin hyzmat edýär. Şu ýerde bellemeli zatlaryň ýene-de biri ol hem *sazlamagyň algoritmi* diýen düşünjani girizmekden has ön (P, I, PI-algoritmler düşünjeleri diňe 50 ýyl mundan ön adaty ýagdaýda ulanmaga girizildi), gidrawliki sazlaýjylarda arassa has gowy ýol bilen dolandyrmagyň algoritmini ýerine ýetirýärler, ol bolsa häzirki wagtda hem sazlamagyň tipleýin algoritmlerine degişli edilip has kämilleşdirilen algoritmleriniň hatarynda göz önünde tutulyp mikroelektron tehnikasynyň binýadynda in gowy gözegçilik ediji enjamda ulanylýar. Bu aýratyn hadysanyň ähtimallyk sebäbini PI-algoritm tehnologik desgalaryň sazlamasyny eli bilen ýerine ýetirýän operatoryň işini gaty oňaýly görnüşde modelirleýänligi bilen düşündirip bolar. Hakykatdan hem, (1.3) aňlatmany differensirlemek bilen PI-algoritminiň başgaça formasyny alarys:

$$\mu'(t) = k_p \left[\varepsilon'(t) + \frac{1}{T_i} \varepsilon(t) \right], \quad (1.7)$$

ýagny sazlaýjy täsiriň tizligi şol bir wagt pursadynda sazlanýlýan ululygyň üýtgemesiniň ululygynyň we onuň üýtgame tizliginiň jemine proporsionaldyr. Operator hem, takmynan, şeýle hereket edýär:

Sazlanýlýan ululygyň üýtgemesi ýüze çykanda operator sazlanýlýan ululygyň üýtgemesiniň uly tizliginde obýekte täsir eden täsiriň ululygyny göz önünde tutup üýtgemäniň ösme tizligi näçe uly bolsa, şonça-da sazlaýjy agzany çaltlyk bilen süýşürüp başlaýar. Mundan başga-da operator sazlanýlýan ululygyň üýtgemesiniň ösme ölçeginde sazlaýjy agzanyň süýşmesiniň tizliginiň gaty uly bahasy ýüze çykamaz ýaly ýagdaýda şol süýşmäni köpeldip başlaýar. Sazlanýlýan ululygyň üýtgemesi ösmesini bes edenden we azaldyp başlanýlandan soňra operator sazlaýjy täsiriň tizligini azaldyp başlaýar. Käbir wagt pursadynda entäk sazlanýlýan ululygyň üýtgemesi bar bolup we çaltlyk bilen azalyp hem başlasa, sazlaýjy agzany garşylykdaky ugra tarap süýşürüp başlaýar. Onuň şeýle hereketi etmesiniň sebäbi sazlanýlýan ululyk eýýäm berlen bahasyna tarap ymtlyp başlaýar. Şonuň üçin hem onuň tizliginiň haýalladylmagynyň zerurlygy ýüze çykyp başlaýar. Şeýle edilmedik ýagdaýynda ol ululygyň inersiýa boýunça garşylykly tarapa hem süýşmegi mümkindir. XIX asyryň ahyrlarynda bug maşynlarynyň tizligini sazlaýjylar tehniki taýdan kämilleşdirilip başlanýar. Merkezden daşlaşýan maýatnik ykjam tekiz görnüşli walyň aýlaw tizligini ölçeýji bilen çalşylýar. Şeýle sazlaýjy garaşlymadyk ýagdaýda has takyk sazlamany görkezýär. Bu hadysanyň sebäbiniň öwrenilmeginiň

netijesinde, şeýle tekiz ölçeýji sazlanýlan ululygyň üýtgemesiniň tizlenmesine-de reaksiýa berýär. Başgaça aýdylanda, täze sazlaýjy sazlaýjy agzany üç sany ululyga proporsionalykda süýşürýär: sazlanýlan ululygyň üýtgemesine, onuň üýtgeme tizligine we üýtgemäniň tizlenmesine baglylykda hereket edýär. Şeýle ýagdaýda hem sazlanýlan ululygyň önüminden goşmaça duýduryş (signal) alyp sazlaýan PI-sazlaýjy peýda bolýar, oňa gysgaça *PID-sazlaýjy* diýlip at berilýär (*PID* inlis dilindäki söz bolup, soňundaky *D* harpy *derivative* – “önüm” manysyny aňladýar. Şeýle sazlaýjynyň deňlemesi aşakdaky görnüşde bolýar:

$$\mu'(t) = k_p \left[\frac{1}{T_i} \varepsilon(t) + \varepsilon'(t) + T_D \varepsilon''(t) \right], \quad (1.8)$$

ýa-da

$$\mu(t) = k_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\xi) d\xi + T_D \varepsilon'(t) \right]. \quad (1.9)$$

Bu ýerde T_D – differensirlemegiň wagt hemişeligi.

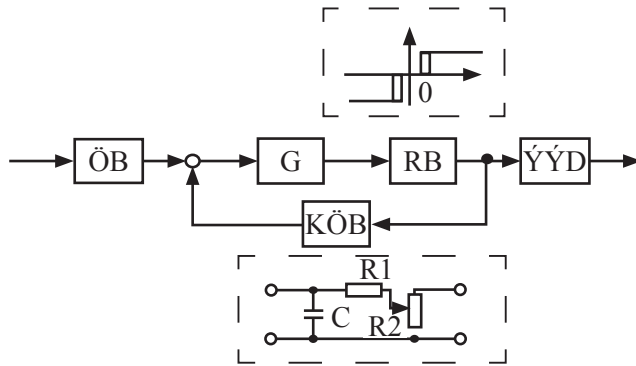
Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslarynyň ösüşi geçen ýüzýyllygyň (XX asyryň) 30-njy ýyllaryna çenli önümçilikdäki bug maşynlarynyň orta atýan meselelerini çözmäge esaslandyrylýar. Şu meseleleriň içinde aýratyn bellemelileriň biri hem *köpbaglanyşykly obýektleriň sazlama meselesidir*. Bu mesele ýylylyk bug maşynlarynyň ulanylyp başlanlymagy bilen ýüze çykýar. Olarda birnäçe sazlanýlan ululyklar bolýar. Olar: *rotoryň aýlaw ýygylgy*, *bug alynýan nokatlardaky buguň basyşy* we ş.m. 1934-nji ýylda şu meseläniň çözülmegi rus alymy **I.A. Woznesenskiniň** köpbaglanyşykly dolandyrylýan ulgamlaryň taslamasynda düýpleýin prinsipleriň birini açmagyna getirýär. Bu prinsip bolsa *awtonomlyk prinsipi* diýlip atlandyrylýar. Şu prinsipiň esasynda köpölçegli obýektleriň aýratyn sazlaýjylary tarapyndan goýlan ýörite saýlanylýan baglanyşyklylygyň kömegi bilen desganyň sazlanýlan ululyklaryň arasyndaky içki baglanyşyklarynyň kompensirilenmegi goýlandyr. Netijede, köpölçegli sazlanýlan ulgam birölçegli özbaşdak (awtonom) ulgamlaryň degişli sany görnüşinde seredilip bilner. Bug maşynlaryndan tapawutlylykda ilkinji ýeterlik derejede kämilleşdirilen bug gazanlaryny awtomatiki dolandyryjy ulgamlar ýigriminji ýüzýyllygyň (XX asyryň) 30-njy ýyllarynda önümçilikde peýda bolýar. Şol wagta çenli gazanlaryň awtomatlaşdyrylyşy gowy bolanda göni hereket edýän barabandaky suwuň derejesini sazlaýjylary ulanmak bilen çäklendirilýärdi. Ol sazlaýjylar rus alymy I.I. Polzunowyň sazlaýjysyna meňzeş bolup, diňe kämilleşdirilen görnüşde teklipe edilýär. Ýüzgüjiň ýerine termostat turbajyk ulanylýar. Bu ýagdaý bolsa sazlaýjyny gazanyň içinden daşky çäklere çykarmaga mümkinçilik döredýär. Gazan enjamlarynyň awtomatlaşdyrylyşynyň turbinalaryň awtomatlaşdyrylyşyndan galmasy birnäçe obýektiw sebäpler bilen düşündirilýär. Olaryň içinde has zerurlary aşakdakylardyr. Gazanlaryň tehnolo-

logik taýýarlygynyň awtomatiki dolandyrylmaga ýeterlik dälligi, hususan hem, gazanlaryň ýangyjy ýakylýan ýerinde ýangyjy ýakmak prosesiniň kämilleşdirilmedik ýagdaýda bolmagydyr.

Öň bar bolan eliň kömegi bilen üstünlikli dolandyrylýan gazanlaryň görnüşlerinde sazlama prosesleriniň deňeşdirilip alnanda haýal häsiýetli akyp geçmesi. Bug maşynlarynyň sazlamasyndan gazanlaryň dolandyrylmasyna geçilmegi awtomatlaşdyrylmagyň hil taýdan täze tapgyryna geçilmegini häsiýetlendirýär, sebäbi gürrüň deňeşdirilip alnanda ýönekeý obýektleriň sazlanylmasyndan çylşyrymly tehnologik prosesleriň awtomatiki dolandyrylmasyna geçilmesi barada gidýär. Şeýle prosesleriň ýagdaýy köpsanly sazlanylýan we dolandyrylýan ululyklar bilen häsiýetlendirilýär. Ol ululyklar bolsa dürli-dürli fiziki tebigatly bolup, barlagda saklap bolmaýan tötänleýin täsirleriň täsiri bilen hemişe üýtgäp durýarlar. Diňe XX asyryň 30-njy ýyllarynda ÝEB-de gazanlaryň awtomatlaşdyrylmagyna obýektiw höweslenme we real mümkinçilikler peýda bolýar. Şu garaýyşlara aýratyn güýçli itergi berilmegine göni akymly gazanlaryň peýda bolmagydyr. Olar bolsa, öz gezeginde, ýangyjyň we suwuň gazana berilmesiniň berk sinhronlaşdyrylmasy bolmadyk ýagdaýynda işläp bilmeýärler; şeýle gazanlary sazlamak üçin F. E. Dzeržinskiý adyndaky ýylylyk tehniki institutynda rus alymy **S. G. Gerasimow** ýolbaşçylygynda ilkinji hemişelik tizlikli ýerine ýetiriji elektrik sazlaýjysy döredilýär. Sazlaýjy agzanyň süýşmesiniň üýtgeýän tizligini almak üçin hereketlendiriji üýtgeýän dowamlylykly gysga impulsar bilen dolandyrylýar. Munuň üçin bolsa kontaktly galwanometr ulanylýar. Elektrik signallaryny (maglumat äkidiji görnüşde) we impulsly düzgünde işleýän hemişelik tizlikli elektrik ýerine ýetiriji hereketlendirijileri ulanmak ÝEB-de ulanylýan kömekçi enjamlaryň we bug gazanlarynyň sazlaýjylarynyň geljekki ähli konstruksiýalarynyň häsiýetli aýratynlygy bolup durýar. Öňki Soýuz çäklerinde ilkinji köpçülikleýin goýberilýän ÝEB-lerde ulanylýan kömekçi enjamlary we gazanlary bilelikde sazlaýjy ulgamlar 1946-njy ýylda peýda bolýar. Bu ulgam N. I. Polzunow adyndaky Merkezi gazan-turbina institutynyň taýýarlaýan elektrik mehaniki sazlaýjylarynyň ulgamy bolýar. Elektrik mehaniki ulgamlary çalyşmaga 1948-nji ýylda Ýylylyk tehniki institutynda alymlar **Ý. P. Stefani**, **W. D. Mironow** we **N. I. Dawydow** tarapyndan işlenip taýýarlanylýan elektron sazlaýjylar gelýärler. Ýylylyk energetikasyndaky awtomatiki sazlamagyň soňky ösmesi şu original ulgamyň ösdürilmesi bilen baglanyşykly bolýar: ýylylyk emissiýaly elektron çyralardan ýarymgeçirijilere, soňra bolsa integral mikroelektron shemalara geçmek amala aşyrylýar. Elektron sazlaýjylaryň düzüm shemasy 1.10-njy suratda görkezilendir. Ol shema indiki elementlerden durýar:

ÖB-ölçeýji blok. Onuň girişine birnäçe ilkinji ölçeýji enjamlardan, sazlanylýan ululygyň özgerdijilerinden oýandyryjy täsirlər, şeýle hem berlen bahanyň signallary signal görnüşinde berlip bilner. Ol G-elektron güýçlendirijiden; RB – üç pozisiýaly elektron releden durýar (onuň häsiýetnamasy 1.10-njy çyzgyda esasy shema-

nyň üstünde ştrihlenen gönüburçlugyň içinde görkezilendir. KÖB – korrektirleýji öwränlaýyn baglanyşyk (KÖB-niň ýönekeýleşdirilen shemasy esasy shemanyň aşagynda ştrihlenen gönüburçlugyň içinde şekillendirilendir). ÝÝH-asinhron tipli reduktorly ýerine ýetiriji hereketlendiriji.



1.10-njy çyzy. Elektron sazlaýjylaryň düzüm shemasy

Elektron sazlaýjynyň işi indiki tertipde bolup geçýär. Durnuklaşan düzgünde hemme funksional desgalaryň girişinde naprýaženiýe bolmaýar. C-kondensator zarýadsyzlanan ýagdaýda hereketlendiriji hereket etmeýär. Sazlanylýan ululygyň üýtgemesi peýda bolanda güýçlendirijiniň girişinde käbir e-naprýaženiýe peýda bolýar. Bu bolsa elektron releni işledip, releniň çykyşynda e_{RB} – naprýaženiýäniň ýüze çykmagyna getirýär we hereketlendirijini işe ugrukdyrýar. Ol, öz gezeginde, sazlanýan ululygyň üýtgemesiniň ýok bolmagyna zerur bolan tarapa sazlaýjy organy süýşürýär. Şol bir wagtyň özünde hem e_{RB} – naprýaženiýe öwränlaýyn baglanyşygyň girişine hem berilýär. Bu hem kondensatoryň ýuwaşlyk bilen zarýadlanmasyna we öwränlaýyn baglanyşygyň naprýaženiýesi bolan $e_{KÖB}$ – ululygyň ösmesine getirýär. Netijede, güýçlendirijiniň girişindäki e – naprýaženiýäniň kiçelmesine getirilýär. Sazlaýjynyň işiniň kadaly impulsly (pulsirleýji) düzgününde korrektirleýji öwränlaýyn baglanyşygyň naprýaženiýesiniň üýtgame tizligi ölçeýji enjamyň $e_{ÖB}$ – naprýaženiýesiniň mümkin bolan üýtgame tizliginden birnäçe esse ýokary bolýar. Şonuň üçin hem az wagt geçenden soňra $e_{KÖB}$ – naprýaženiýe $e_{ÖB}$ – naprýaženiýäniň yzundan ýetýär. Haçan-da güýçlendirijiniň girişinde naprýaženiýe has kiçelende rele toksuzlanýar, releni enjamyň çykyşyndaky e_{RB} – naprýaženiýesi gutarmak bilen ýerine ýetiriji hereketlendiriji saklanýar. Çaltlyk bilen C – kondensatoryň zarýadsyzlanmasy başlaýar we hereketlendirijiniň gaýtadan işe utgaşmasy bolup geçýär. Kondensatoryň goşmaça zarýadlanmasynyň ýüze çykmasy täzeden reläni öçürýär. Şeýlelikde, sazlanýan ululyk özüniň berlen bahasyna ýetýänçä hereketlendirijä impulsalaryň iberilmesi dowam edýär. Sazlaýjynyň iş hadysasynda güýçlendirijiniň girişindäki e – naprýaženiýe noldan gaty tapawutlanmaýar. Bu ýagdaý bolsa ölçeýji enjamyň $e_{ÖB}$ – naprýaženiýesi bilen öwränlaýyn baglanyşygyň naprýaženiýesiniň

gaty ýakyn ýagdaýda gabat gelmesine getirýär. Netijede bolsa sazlaýjy PI-sazlama algoritmini ýerine ýetirýär. Tehnologik, hususan hem, ýylylyk energetiki proseslerdäki awtomatiki sazlamagyň nazary esaslary boýunça işler (S. G. Gerasimow, Ý. G. Dudnikow, V. L. Losiýewskiý, Ý. G. Kornilow) XX asyryň 30-njy ýyllarynyň ahyryna we 40-njy ýyllarynyň başlaryna degişli edilýär. Hakykatda bu işlerdäki sazlama prosesleriniň özleşdirilmesi obýektiň matematiki modeline otositellikde gaty güýçli ýönekeýleşdirilen çaklamalarda alnyp barylýar. Bu ýagdaýyň hil taýdan üýtgemesi rus alymy **Ý. G. Dudnikow** tarapyndan 1949-njy ýylda tehnologik prosesleriň sazlanýlan ulgamlarynyň ýygylyk usulyýeti bilen hasaplamasynyň tejribesi girizilmek bilen bolup geçýär. Bu hasaplamalar şol wagta çenli eýýäm elektrik hereketlendirijileriniň yzarlaýjy ulgamynda we ş.m. desgalarda korrektirleýji elementleri saýlamakda ulanylyp başlanýar (sazlanýlan ulgamlaryň özleşdirilmeginde ýygylyk usulyýetini ulanmagyň mümkinçiliklerini, ilki bilen, 1938-nji ýylda rus alymy **A. W. Mihaýlow** görkezýär). Ýygylyk usulyýetini ulanmak uly ölçeglerde desgalaryň matematiki modelini saýlamakdaky çylşyrymly çäklendirmeleri aradan aýyrmaga mümkinçilik döredýär. Netijede, ýylylyk energetikasynda we beýleki tehnologik proseslerde ulanylyan sazlaýjy ulgamlaryň hasaplamalarynda we taslamalarynda giňişleýin ulanmak üçin usulyýetler peýda bolýar (işler MEI-de, ÝEI-de ýerine ýetirilýär). Şu usulyýetleriň artykmaçlygy ýygylyk häsiýetnamalarynyň ulanylmagyndan alynýan matematiki modeller baradaky maglumatlar, synag-derňew ýoly bilen alnan modeller bilen deňeşdirilende, has ýönekeýleşýär we olaryň hasaplamalary bolsa ýönekeý hem-de çyzgylaryň häsiýetnamalary tarapyndan aňsat özleşdirilýär. Tehnologik prosesleriň awtomatlaşdyrylmasynda dolandyrylyan ulgamlaryň işläp taýýarlanylşyndaky häsiýetli aýratynlyk diňe optimal dolandyрма algoritmi bolan gözegçilik ediji gurluşlary we sazlaýjylary gözlemek bilen çäklenmän, eýsem dolandyrylyan ulgamlaryň optimal maglumat düzümini gözlemegiň hem zerurdygyny görkezýär. Obýektlerden signallaryň alynýan nokatlarynyň ýerleşşi we obýekt bilen gözegçilik ediji gurluşlaryň arasyndaky arabaglanyşyk kanallarynyň sanyny saýlamak dolandyryjy ulgamlaryň ýerine ýetirýän funksiýasynyň hiline esasy ähmiýet berýär. Şunuň bilen baglylykda ilkinji ölçeýji enjamlary işläp düzmek meselesi hem esasy meselelere öwrülýär, ýagny dürli-dürli fiziki tebigaty bolan sazlanýlan ululyklary ölçemek üçin ilkinji ölçeýji enjamlary işläp taýýarlama bolýar. Elbetde, tehnologik prosesleriň awtomatiki dolandyrylmagynyň nazary esaslarynyň ösmegi umumy awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary bilen bir wagtda bolup geçýär. Şu ýerde esasy işler rus alymlary A. A. Andronowa, L. S. Goldfarba (gönüçyzyksyz ulgamlaryň nazaryýeti), W. S. Kulebakine, B. N. Petrowa (inwariantlyk nazaryýeti), A. M. Letowa, A. A. Feldbauma, Ý. Z. Sypkina (optimal, adaptiw we diskret ulgamlar), W. S. Pugaçew, W. W. Solodownikow (dolandyrylyan ulgamlarda tötänleýin hadysalar nazaryýeti) dagylar tarapyndan alnyp barylýar.

Häzirki zaman dolandyрма nazaryýetiniň emele gelmegi üçin düýpli başlangyçlary görnükli matematikler N. M. Krylowyň, N. N. Bogolýubowyň, B. W. Bulgakowyň, A. N. Kolmogorowyň we L. S. Pontrýaginiň işlerinde görmek bolýar.

1.5. Tehnologik desgalary awtomatiki dolandyryýan ulgamlaryň matematiki üpjünçiligini işläp taýýarlamagyň aýratynlyklary

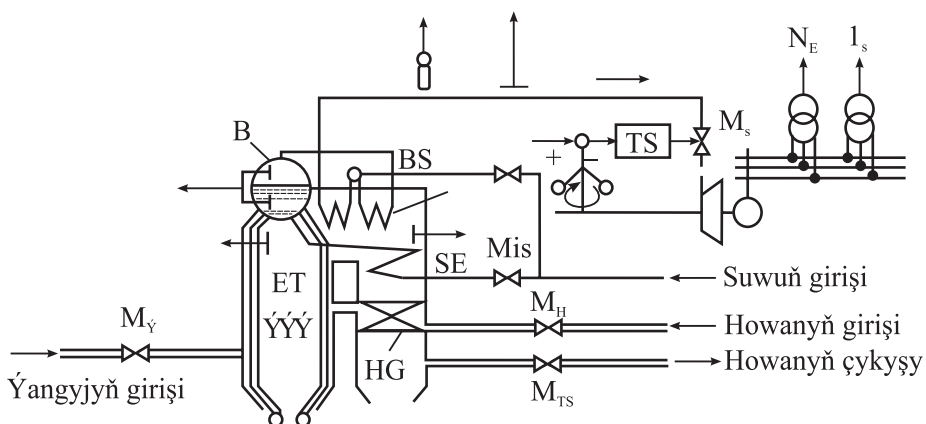
Dolandyrylýan ulgamlaryň matematiki üpjünçiligini işläp taýýarlamak awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary dersiniň özeni bolup durýar. Şu ýerde iki sany çözülmese mümkin bolan mesele tapawutlandyrylýar: Bu meseleler *dolandyrylýan ulgamlaryň özleşdirilişi we sintezidir*. **Özleşdirmek** diýlip eýýäm belli bolan dolandyrylýan ulgamyň ol ýa-da beýleki häsiýetnamalaryny kesgitlemäge düşünilýär. **Sintez** diýlip bolsa onuň öňünde goýlan talaplara ýerine ýetiriliş nukdaýnazaryndan seredilende dolandyrylýan ulgamyň düzümini we onuň ýerine ýetirýän işiniň algoritmini kesgitlemäge düşünilýär. *Özleşdirmegiň we sinteziň* meselelerini çözmek üçin talap edilýän çäklendirmeleri ýerine ýetirmek bilen dolandyrylýan ulgamyň işiniň takyklyk kriterisi (tehnologik işe ukyplylygy) berlen bolmaly, agzalýan çäklendirmeler, ilki bilen, ýeterlik derejede durnuklylyga goýlan ýagdaýda bolmalydyr. Sinteziň meselesiniň şeýle ýagdaýda gönüden-göni çözülmese mümkin däldir. Şonuň üçin hem ony iki tapgyra bölýärler. Ilki bilen, gönüden-göni bolmadyk kriteriý bilen ulgamyň sintezi ýerine ýetirilýär, soňra bolsa onuň talap edilýän işe ukyplylyk kriterisini kanagatlandyryýanlygy barlanylýar. “Häzirki zaman awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslarynyň” ösüşine aýratyn güýçli impulsy Ikinji Jahan urşy berýär. Şol wagt howa hüjümine garşy enjamlary nyşana takyk gönükdirmek üçin uçarlary, gämileri dolandyryýan, çalt we takyk hereket edýän awtomatiki guruluşlar gerek bolýar. Şeýle ulgamlar **yzarlaýjy ulgamlar** adyny alýar. Olaryň obýektleri hökmündäki dürli görnüşli hereketlendirijiler ýokarda görkezilen tehniki enjamlary herekete getirýärler. Şeýle obýektleriň özüni alyp barşy bolsa adaty differensial deňlemeler bilen aňsat ýazylýar. Eýýäm yzarlaýjy ulgamlaýn nazaryýeti boýunça çap edilen ilkinji işlerde olaryň obýektleriň giňeldilen köplüğine, şol sanda tehnologik obýektler üçin ulanmaga amatlydygy bellenilýär. Netijede, yzarlaýjy ulgamlaryň nazaryýeti ýuwaşlyk bilen awtomatiki sazlanýlýan ulgamlaryň nazaryýeti bilen, soňra bolsa awtomatiki dolandyrmagyň nazaryýeti bilen baglanyşyp başlaýar, ýöne ADN-iň esaslary boýunça edebiýatlar-da agalyk edýän takyk usulyýetler bilen tanşylanda olaryň ulanylýan ýerleri edil öňki ýaly adaty differensial deňlemeler bilen ýazylýan obýektler bolup durýarlar. Olaryň ululyklary bolsa dolandyrylýan ululyklaryň we oýandyryjy täsirleriň barlagy üçin düşnükli görnüşde bolýar. Fiziki nukdaýnazardan seredilende bular şertleşilen (*determirlenilen*) görnüşde ahyrky sany belli bolan jemlenen gaply obýekt-

ler bolup, olarda energiýa ýa-da maddalar ýygnanylýar. Önümçilikde ulanylýan dolandyrylýan tehnologik obýektleriň aglaba köpüsiniň şertleşilmedik (determinlenilmedik) ýagdaýda paýlanylýan gaply we dolandyryjy täsirleri geçirilende bolsa yzagalmasý ýüze çykýan görnüşde bolýarlar (diňe bir tötänleýin barlagda saklap bolmaýan päsgelçilikler bolman, käbir esasy tötänleýin oýandyryjy täsirlere duçar edilen). Muňa mysal bolup *ýylylyk elektrik beketleriniň bug gazanlary* gulluk edip biler. Olara, öz gezeginde, giňlikde paýlanylýan ýylylyk çalşyjy görnüşinde seredilip bilner. Bug gazanlaryna, iň bolmanda, iki sany esasy tötänleýin oýandyryjy täsir edýär. Olaryň **birinjisi** bug ýüküniň üýtgemesi, **ikinjisi** bolsa ýakylmaga getirilýän ýangyjyň hili we kynçylykly barlagda saklanylýan mukdarynyň üýtgemesi bolup durýar. Netijede, tehnologik desgalaryň awtomatiki dolandyrylýan ulgamlarynyň sintezinde ulanylýan umumy ADN-iň usulyýetine seresaplyk bilen garamak maslahat berilýär. Umumy ADN-iň esaslarynda ADU-laryň sinteziniň meselesiniň we dolandyrylýan obýektleriň meňzeşliginiň (identifikasiýasynyň) bölünmegi hem jedelli görnüşde galýar. Şeýle bölünme wajyplygy boýunça ADU-laryň sintezine *ulgamlaryň çemeleşmegiň* üns berilmezligine-de şaýatlyk edýär. Netijede, kadaly ýagdaýda ulanylýan obýektleriň özünü alyp barşyna (*işjeň görnüşde synag goýmazdan*) ýönekeý (*passiw*) gözegçilik edilende we mümkinçiliklere görä *adaptirlenen* (uýgunlaşdyrylan) ulgamlar gurnalanda tehnologik desgalaryň biri-birine meňzetme (identifikasiýa) usullary boýunça berilýän maslahatlar amala aşyryp bolmaýan görnüşde peýda bolýarlar. Ýokarda aýdylyp geçilenler bilen baglanyşykda tehnologiýa desgalary ADU-nyň sinteziniň işini (prosedurasyny) formallaşdyrylan usullar bilen bir hatarda güýçli bilermenleriň maslahatlaryny ulanmak arkaly geçirmek gerek bolýar. Adatça, bilermenleriň pikirine salgylanmak sintez meselesiniň başlangyç döwründe, ýagny ulgamlaryň maglumat düzümini saýlamaly bolanda gerek bolýar (gözegçilik ediji enjam bilen desganyň arasyndaky baglanyşyk). Dolandyrmagyň algoritmleri saýlanylýan bolsa desgalaryň parametrleriniň bahalarynyň san taýyny kesgitlemezden bilermenler maslahatlary diňe umumy görnüşde berip bilerler. Şeýle görnüşde alnan dolandyrmagyň algoritmlerine bolsa **ekspert algoritmleri** diýlip at berilýär. Şu algoritmleriň koeffisiýentleriniň san bahalary bolsa formal ýol bilen kesgitlenilýär. Şeýle formallaşdyrylan sintez bolsa **çäklen-dirilen sintez** ýa-da **dolandyrmagyň ekspert algoritmleriniň düzülişiniň parametrlerini hasaplamak** diýlip atlandyrylýar. Şu ýerde belläp geçmeli zatlaryň biri hem ýokarda seredilip geçilen dolandyrmagyň PID algoritmi manysy boýunça-da ekspert algoritmine gabat gelýär. Munuň şeýledigini bolsa olaryň gelip çykma taryhyndan görmek bolýar. Tehnologik desgalaryň ADU-nyň optimallyk kriterileriniň aýratynlygyny hasaba almak bilen, olaryň ulanylmagynyň maksadalaýyklygyny ynamly formal şertlerde subut etmek häzire çenli hem başartmaýar. Umumy kabul edilen nukdaýnazardan seredilende ADU-laryň sintezini deslapky ýagdaýda desganyň matematiki modeli alnandan soňra geçirmek maslahat berilýär. Şonuň

üçin hem eger-de model ýeterlik ölçegde takyk alnan bolsa, sintez hem yhlas bilen ýerine ýetirilen ýagdaýdaky alnan ADU-lar öňde goýlan talaplary kanagatlandyrýar, ýöne determirilenmedik dolandyrylýan sistemalaryň sintezi geçirilende degişli synag-derňew işleriniň kynçylyklary bilen baglanyşykda gözlenilýän model diňe ýakynlaşdyrylan ýagdaýda bolýar. Esasan hem, real obýektlere kanagatlanarly ýakynlaşmagyň kriterisini formulirlemek prinsip esasynda mümkin bolmaýar. Bu hadysa “*dolandyrylýan desganyň ulgamlaryň geň galdyryjy (paradoks) modeli*” adyny alýar. Şonuň üçin sintez prosedurasyny iki sany tapgyryň arasynda paýlamak gerek bolýar. **Birinji tapgyr:** tejribelere esaslanymadyk modeli boýunça *taslama tapgyry*. Bu tapgyr diňe deslapky netijeleri berýär. **Ikinji tapgyr:** hereket edýän obýektde ulgam işe girizilende ýerine ýetirilýän *uýgunlaşma (adaptasiýa) tapgyry*. Uýgunlaşma algoritmi ADU-laryň matematiki üpjünçiliginde we geljekde obýektiň özüni alyp barşynda öňünden görüp bolmaýan ýagdaýlar ýüze çykanda (adaty, bu ýagdaýlar önümçilikde gabat gelip durýarlar) ADU-lary işlemek üçin ulanmak mümkinçiligi bolar ýaly ýagdaýda galdyrylýar. Şu ýagdaýda bolsa dolandyrylýan tehnologik obýektleriň aýratynlygy uýgunlaşma algoritmlerine aýratyn talaplary mälim edýär. Soňky wagtlarda desgalary hiç hili nazary maglumatlara esaslanman, awtomatiki dolandyrmagy üstünlikli amala aşyrmagy başaran gözegçilik ediji operatiw personallardan sorag-jogap alyşylmalara esaslanyp, dolandyrylýan ulgamlaryň algoritmleriniň doly sintezini amala aşyrmak (şol sanda olaryň koeffisiýentleriniň san bahalaryny kesgitlemek) synanyşygy ýüze çykdy. Gözegçilik ediji operatiw personallaryň şu ýagdaýda jogaplarynyň san gönüşinde däl-de, diňe pikirini aýtma görnüşde bolýanlygy sebäpli şeýle pikir aýdymalaryň formallaşdyrylmagy üçin ýörite “düşnüksiz köpçülik” nazaryýetini işläp düzmeli bolýar. Şeýle görnüşde alnan algoritmleriň kömegi bilen ýerine ýetirilýän dolandyрма *fuzzy dolandyрма* adyny alýar (“fuzzy” inlis dilinden terjime edilende, “*yuwlan*”, “*takyk däl*” diýen manyda). Şeýle bolsa-da häzirki wagta çenli ýerine ýetirilen özleşdirmeler şu görnüşli dolandyrmany diňe desgalaryň iş düzgünleriniň durnuklaşan ýagdaýlarynda önümçilikde ulanmaga ugrukdyrýar.

1.6. *Ýylylyk elektrik beketleriniň energiýa desgalarynyň ADU-larynyň mysallary*

YEB-lerde elektrik energiýasyny öndürmek iki sany esasy döwürde bolup geçýär: gazanda ýangyç ýakylýan döwri (netijede, berlen basyşly we temperaturaly bug emele gelyär) we turbogeneratorda buguň energiýasynyň elektrik energiýasyna özgerdiliýän döwri. Häzirki wagtda gazan we turbogenerator, adaty, konstruksiýasy boýunça bir bitewi agregata birleşdirilýär. Oňa bolsa “*gazan-turbina*” *energiýa desgasy* diýlip at berilýär. Barabanly gazan-turbina energiýa desgasyň tehnologik shemasy ýeterlik derejede ýönekeýleşdirilen görnüşde 1.11-nji çyzgyda görkezilendir.



1.11-nji çyzgy. Bug turbinaly energiýa desgasynyň tehnologi shemasy

Gazan enjamynyň ýangyjy ýakylýan ýerine deslapky ýagdaýda howa gyzdryjyda (HG-de) gyzdrylan howa we ýangyç (tebigy gaz) berilýär. Ýangyç ýakylanda bölünip çykýan ýylylyk ekran turbalarynyň (ET-niň) ýylylygy kabul edýän üstleri, bugy aşa gyzdryjylar (BAG) we suw ekonomazyeri bilen kabul edilýär. Netijede, gazana gelýän ýमितlendiriji suw, ilki bilen, doýgunlaşan buga, soňra bolsa θ_{AB} – temperaturaly we P_{AB} – basyşly aşa gyzdrylan buga öwrülýär. Suwuň bugdan aýralaşdyrylmasy gazanyň barabanynda (B-de) bolup geçýär. Ýangyç ýakylanda emele gelýän önümler–gidýän gazlar degişli arassalamak işleri geçirilenden soňra tüsse çykaryjy turbalar arkaly daşky gurşawa çykarylýar. Gazanda alnan aşa gyzdrylan bug turbogeneratore gelýär. Ol ýerde bolsa berlen f_s – ýygyllykly we naprýaženiýeli üç fazaly üýtgeýän toguň elektrik energiýasyna öwrülýär. Her bir wagt pursadynda talap edilýän elektrik energiýasyny öndürmegi üpjün etmek energiýa desgalaryny ekspluasion düzgünlerde dolandyrmagyň maksady bolup durýar. Şu ýagdaýda energiýa desgasynyň ýerine ýetirýän işiniň hiline bildirilýän talaplar hökmany ýagdaýda ýerine ýetirilmeli. Ol talaplar bolsa tehnik howpsuzlyk derejeleriniň ýerine ýetirilişinde we enjamlaryň tehnologik ekspluasion düzgünlerine bildirilýän talaplarynyň hemme görkezijileriniň saklanylmagynda ýangyjyň sarp ediliş mukdarynyň udel ululygyny minimuma getirmekden ybaratdyr. Energiýa desgalarynyň dolandyrylýan ululyklarynyň umumy sany gaty köpdür, ýöne olaryň içinde deňeşdirilip alnanda has wajyplarynyň birnäçesini görkezmek bolar: N_e – elektrik kuwwaty; aşa gyzdrylan buguň P_{AB} – basyşy we θ_{AB} – temperaturasy; barabandaky suwuň h_b – derejesi; ýangyjyň ýakylýan $P_{ýýý}$ – ýerindäki selçeňleme we ýangyjyň ýanma hilini görkezýän haýsy hem bolsa bir parametrdir. Ýokarda görkezilen dolandyrylýan ululyklaryň gözegçilik edilýän pursadyndaky bahalaryna maksadalaýyk täsir etmek mümkinçiligi üçin energiýa desgasy indiki dolandyryjy we sazlaýjy agzalar bilen üpjün edilýär. Turbinanyň rotorynyň aýlaw ýygylgynyň sazlaýjysynyň bolmaly bahasyny berijisine (sinhrohizatora); bu sazlaýja

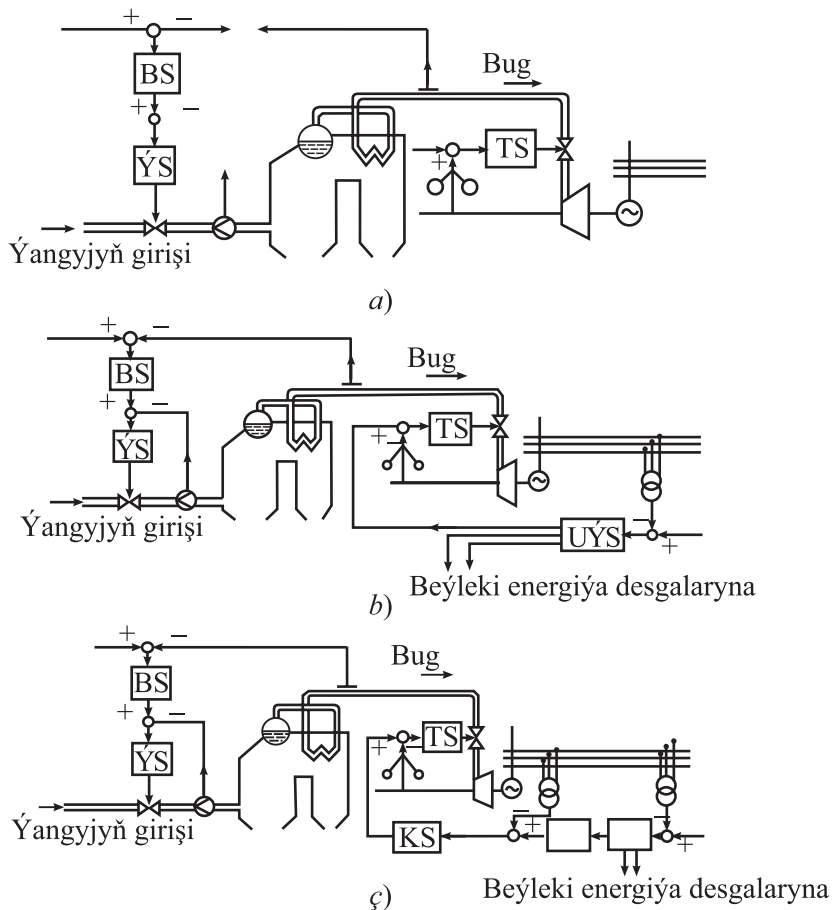
energiya desgasynyň esasy dolandyryjy agzalarynyň biri hökmünde seredilip geçilýär, TS-turbinanyň aýryp bolmaýan konstruktiv elementi bolup durýar we ol 1.11-nji çyzykdaky μ_s täsiri berýär. Üýtgeýän öndürjilikli ýangyç bilen ýmitlendiriji (μ_v – täsir), howa beriji ventilyatorlaryň we tüsse sorujylaryň ugrukdyryjy enjamlary (μ_H we μ_{TS} täsirler). Ýmitlendiriji suwuň klapany (μ_{IS} – täsir). BS – bugy sowadyjlara suwy getirilýän ýerdäki klapany (μ_{SS} – täsir).

Şu ýerde aýratyn üns bermeli zatlaryň biri-de, energiya desgasynyň esasy dolandyrylýan ululyklarynyň sanynda turbinanyň rotorynyň f – aýlaw ýygylgynyň ýa-da edil şonuň ýaly turbogeneratornyň öndürýän üýtgeýän togunyň f_s – ýygylgynyň bolmazlygydyr, sebäbi häzirki zaman elektrik beketleriniň energiya desgalary kuwwatly elektrik ulgamynyň düzümünde işleýärler. Olar bolsa öz içine onlarça (ýylylyk, atom we gidrawliki) elektrik beketlerini alýarlar. Üýtgeýän toguň generatorlarynyň parallel işiniň aýratynlygy bolup, olaryň durnuklaşan düzgünlerde aýlaw ýygylgylary deň bolýar, ýagny sinchron ýagdaýda aýlanýarlar. Bu bolsa ulgamyň islendik nokadynda we islendik generatornyň şinalarynda ýygylgyň şol bir ululykda galmagyna alyp barýar. Şu şertlerde turbina bug bermek bilen energiya desgasynyň kuwwatyny üýtgetmek, ulgamyň elektrik beketleriniň umumy kuwwaty bilen deňeşdirilende, hasaba almasaň hem bolýan kiçi ululykda galýar. Şonuň üçin hem ol ululyk elektrik ulgamynyň ýygylgyna az-kem bellärlikli ýagdaýda hem täsir edip bilmeýär. Değişlilikde, şol turbinanyň rotorynyň aýlaw ýygylgy hem üýtgemän galýar. Şeýlelikde, şu ýerde garaşylmaýan ýagdaý ýüze çykýar, turbinanyň aýlaw ýygylgyny sazlaýjy özüniň adyny ýitirýän ýaly bolýar. Şu ýerden hem iki sany netije gelip çykýar: turbinanyň sazlaýjysynyň işini ýerine ýetirmeginiň algoritminiň düzümünde integrirleýji düzüjisi bolmaly däl, eger-de bar bolan ýagdaýynda seredilse, sinchronizatorda ýygylgyň goýlan bahasyndan sähelçe üýtgän ýagdaýynda turbinanyň klapanyň dolulygyna açylmagyna ýa-da tersine, dolulygyna ýapylmagyna getirer. Adatça, turbinanyň sazlaýjysy proporsional görnüşli berk öwränläýin baglanyşykly işini ýerine ýetirmeginiň algoritmini özünde saklaýar. Hakykatdan hem, ol elektrik ulgamyndaky ýygylgyň üýtgemesine proporsional ýagdaýda bolan turbinanyň klapanyň özboluşly “tutajy” hökmünde gulluk edýär (ýygylgyk näçe kiçi bolsa, klapany hem şonça köp açylýar). Şeýlelikde, sinchronizatora berilýän täsir turbinanyň rotorynyň aýlaw ýygylgyna täsir etmän, diňe turbinaň klapanyna, ýagny energiya desgasy bilen generirlenilýän kuwwata täsir edýär. Turbogeneratornyň rotorynyň aýlaw ýygylgy wajyplygy boýunça aýratyn alnan energiya desgasynyň sazlanýan ululygy bolup durmaýar. Önümçilikde bu sazlanýan ululyk bütin energiya ulgamynyň sazlanýan ululygy bolup gulluk edýär. Ol berlen 50 Gs-e deň bolan derejede ýörite umumy ulgamläýin ýygylgy sazlaýjy bilen saklanýar. Onuň bolmaly bahasy bolsa elektrik ulgamyny dolandyryan nokatlarda goýulýar. Ol bolsa bir wagtda ýeterlik derejede köpsanly energiya desgalaryna täsir edýär.

1.7. Energiya desgasynyň kuwwatyny we buguň basyşyny dolandyryan ulgam

Energiya desgasynyň kuwwatyny we buguň basyşyny dolandyryan in ýönekeý shemalaryň biri 1.12-nji (a) çyzgyda getirilýär. Aşa gyzdyrylan buguň basyşyny sazlamagyň kaskadlaýyn shemasy esasy BS-basyş sazlaýjydan (onuň girişine P_{AB}^B basyşyň berlen bahasy bilen P_{AB}^h hakyky bahasynyň aratapawudy berilýär) we kömekçi ýangyjyň mukdaryny sazlaýjydan (ÝS-den) durýar (onuň girişine bolsa BS-sazlaýjynyň çykyş ululygy bilen ýangyjyň $G_{\dot{y}}$ – mukdary berilýär). Ol ýangyjy berilýän klapana ýa-da başga ýangyç beriji enjama täsir edýär. Kömekçi sazlanýan ululyk bolan $G_{\dot{y}}$ ululygy girizmek esasy sazlanýan ululyk bolan P_{AB} ululyga ýangyç berilýän tarapdan gelýän täsirleri aradan aýyrmak üçin ulanylýar (mysal üçin, ýangyç beriji gurluşlaryň durnuksyz işlemeği bilen ýüze çykýan ýangyjyň mukdarynyň öz-özünden üýtgemesi). Şu shemada energiya desgasynyň kuwwatyny dolandyrmagy turbinany sazlaýjy (TS) ýerine ýetirýär. Ol elektrik ulgamynyň ýygylgynyň nominal bahasynda sinhronizatoryň kömegi bilen goýlan turbinanyň klapanyň ýagdaýyny hemişelikde saklaýar. Degişlilikde, energiya desgasynyň kuwwaty hem hemişelikde galýar. Haçan-da elektrik ulgamynyň ýygylgynyň nominal bahasyndan üýtgemesi ýüze çykanda degişli klapanyň μ_{AB} süýşmesi bolup geçýär. Bu bolsa turbina bug berilmesiniň we onuň kuwwatynyň üýtgemelerine getirýär. Şeýlelikde, energiya desgasy elektrik ulgamynyň ýygylgyny diňe ulgamyň hemme elektrik beketleri bilen umumy ýygylgynyň deňölçegsizligi ýüze çykanda sazlamaga gatnaşyp bilýär (ýagny ýygylk berk hemişelikde saklanylmaýar, elektrik ulgamynyň umumy ýüki üýtgän ýagdaýynda ýygylk azrak üýtgäp bilýär). Eger-de ýygylk özüniň nominal bahasynda gaýdyp gelse, onda energiya desgasy bilen generirlenilýän kuwwat hem önki derejesine geler (ýöne elektrik ulgamyň umumy ýüküniň üýtgemegi mümkindir. Şu ýagdaýda generirlenilýän kuwwatyň üýtgemesini beýleki energiya desgalary öz üstlerine alýarlar). Eger-de energiya desgasy elektrik ulgamynyň ýüküniň üýtgeýän düzüjisini ýapmaga gatnaşmaly edilse we durnuklaşan režimde ýygylgynyň nominal bahasy emele gelen bolsa, onda turbinanyň sazlaýjysy elektrik ulgamynyň ýygylgyny sazlaýja (UÝS-e) 1.12-nji (b) çyzgydaky ýaly birleşdirmelidir. UÝS gurluş bolsa TS-sazlaýjynyň berlen bahasyny üýtgedip durýar (sazlama gatnaşan beýleki energiya desgalarynyň sazlaýjylarynyň hem berlen bahalaryny üýtgedýär). Adatça, shema energiya desgasynyň N_E kuwwatyny gönüden-göni barlagda saklamak üçin enjamlar goşulýar. Netijede, shema 1.12-nji (ç) görnüşi alýar. Bu ýerde beýleki shemalardan tapawutlylykda kuwwat sazlaýjysy (KS-i) we buýruk beriji desga (BBD) shemany has kämilleşdirýär. BBD ulgamyň ýygylgyny sazlaýjydan (UÝS-den) N_E^B talap edilýän kuwwaty bolmaly bahasynda saklamak üçin signal alyp durýar. UÝS-de bolsa elektrik beketleriniň arasyndaky ýükleri paýlamagyň optimallaşdyrylmagy üçin ulgamasty gurluş ulanylýar.

Barabanly gazanlaryň awtomatiki sazlaýjy ulgamlarynyň mysallary.



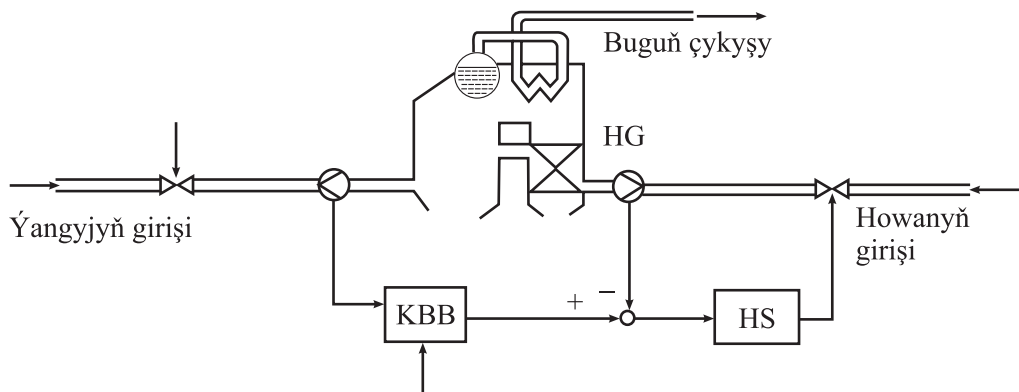
1.12-nji çyzyg. Barabanly gazanlaryň awtomatiki sazlaýjy ulgamlarynyň shemasy

Barabanly bug gazanlarynyň konstruksiýa gurluş aýratynlygy köpölçegli sazlanýan ulgam görnüşinde olary we olaryň düzgünlerini oňositellikde birnäçe garaşsyz ulgamlara bölüp barlamaga mümkinçilik berýär. Ol kiçi ulgamlaryň içinde esasy ähmiýetlilerine ýangyjy ýakmak hadysasynyň hilini optimallaşdyryjy sistemany, barabandaky suwuň derejesini we aşa gyzdyrylan buguň temperaturasyny sazlaýjy ulgamlary degişli edýär.

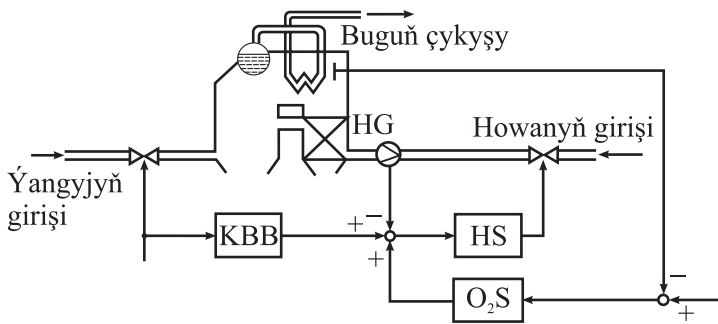
1.8. Ýangyç ýakmagyň hilini sazlaýjy ulgamlar

Şu ulgamyň işini ýerine ýetirmeginiň hil görkezijisi bolup ýangyjyň udel mukdary gulluk edýär. Ol bolsa önümçilikde iň pes (minimum) bahada saklanylmalydyr, ýöne şu görkezijini operatiw ýagdaýda gönüden-göni dolandyrmak mümkin däl, sebäbi bu ululygy hasaplamak energiýa desgasynyň ýüküniň we ýangyjyň mukdarynyň dowamly ýagdaýda integrirlenilmegi bilen baglanyşykda bolýar. Şonuň üçin

köpsanly ikinji derejeli sazlanýlan ululyklaryň gözlegi amala aşyrylýar. Olaryň bolmaly bahalarynda saklanýlmagy belli bir derejede ýangyjyň udel mukdaryny iň pes (minimum) baha ýakynlaşdyrmaga mümkinçilik berýär. Belli bolşy ýaly, ýangyjyň ýokary hilli ýakylmagy diňe ýangyjyň ýakylýan ýerine doly kesgitlenilen ýagdaýda howanyň berilmesi bilen gazanylýar. 1.13-nji çyzgyda ADU-laryň “ýangyç-howa” adyny alan shemasy teklip edilen. Bu shema hem ýokarda bellenen meseläni çözüýär. Ýangyjyň ýakylýan ýerine howany beriji howany sazlaýja (HS-e) howa bermek üçin niýetlenilen sazlaýjy agza täsir edýär. Sazlaýjynyň girişine bolsa howanyň mukdarynyň bar bolan G_H – bahasy bilen G_H^B – bolmaly bahasynyň arasyndaky aratapawudy berilýär. Howanyň bolmaly bahasy buýruk beriji desgada (BBD-de) öňünden düzülen düzgün kartasy boýunça $G_{\dot{y}}$ – ýangyjyň mukdaryna üýtgemesine baglylykda ýüze çykarylýar. Režim kartasy bolsa KBD-gurluşa ∞ – täsiri bermek arkaly korrektirlenilýär. Şu ýerde bellemeli zatlaryň ýene-de biri ol hem ýangyjyň mukdary, 1.12-nji çyzgyda görkezilişi ýaly, buguň basyşynyň sazlaýjysy bilen üýtgedilýär. Getirilen shema ýangyjyň ýanma hilini we buguň basyşyny bir wagtda dolandyryan özbaşdak iki ölçegli ulgamyň bir bölegi görnüşinde seretmek bolar. Ýangyjy ýakmagyň hilini sazlaýan shemanyň başga bir görnüşi ýangyjy ýakmagyň hili bilen ulgamdan gidýän ýakylan gazlardaky kislorodyň mukdarynyň arasyndaky bar bolan kanunalaýyklygy ulanylýar. Şeýle shema 1.14-nji çyzgyda getirilendir. Bu shema kaskad görnüşli bolýar. Bu ýerde esasy sazlaýjy bolup kislorodyň (O_2) düzümini sazlaýan sazlaýjy (S) gulluk edýär. Ol, öz gezeginde, “ýangyç-howa” ulgamynyň düzümünde duran howanyň mukdaryny sazlaýjy (HS) kömekçi gurluşa täsir edýär. Howanyň berlen mukdary ýangyjyň mukdaryna baglylykda bolýar. Ýangyjyň mukdary baradaky signal buýruk beriji desganyň (BBD-niň) üsti bilen howany sazlaýjynyň (HS-iň) girişine howanyň bolmaly bahasy baradaky signal görnüşinde berilýär. Şeýle kaskadly shemanyň ulanylmagy zerurlygy ulgamdan gidýän gazlardaky kislorodyň düzümini barlaýan analizator enjamlaryň, deňşdirilip alnanda, uly yzagalma wagtly bolýanlygy bilen düşündirilýär.



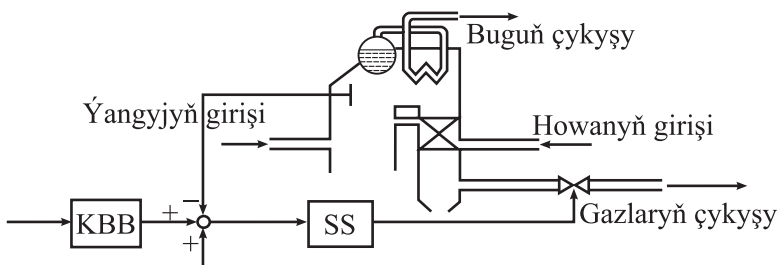
1.13-nji çyzgy. ADU-laryň “ýangyç-howa” shemasy



1.14-nji çyzgy. Ýangyjy ýakmagyň hilini sazlaýan shema

1.9. Gazanyň ýangyjy ýakylýan ýerindäki selçeňlemäni sazlaýjy ulgamlar

Ýangyjy ýakmagyň hilini sazlaýjy ulgamlar gazanyň ýangyjy ýakylýan ýerindäki P_{YY} selçeňlemäni sazlaýjy ulgamlar bilen, 1.15-nji çyzgyda görkezilişi ýaly, ýakyn baglanyşykda bolýarlar. Şu ulgamdaky sazlanýlan obýekt gowy sazlaýjylyk häsiýetli bolýar (kiçi inersiýaly we kiçi yzagalma wagtly). Şonuň üçin hem ulgam adaty bir sudurly ýönekeý görnüşde ýerine ýetirilýär. Selçeňlemäni sazlaýjy (SS) ýangyç ýakylýan ýeriň ýokarky böleginden selçeňleme boýunça duýduryş (signal) alyp gönüden-göni tüsse sorujy enjamlaryň ugrukdyryjy enjamlarynyň ýagdaýyny üýtgediji μ_{TS} – ululyga täsir edýär. Selçeňlemäni sazlaýjy ulgamlar üçin esasy oýandyryjy täsir bolup ýangyjy ýakmagyň hilini sazlaýjy ulgam bilen ýerine ýetirilýän howanyň mukdarynyň üýtgemesi gulluk edýär. Ýangyjyň ýakylýan ýerindäki selçeňlemä howa beriji sazlaýjynyň (HS-iň) hereketiniň täsirini aradan aýyrmak üçin şu sazlaýjynyň täsirini diňe bir howa beriji wentilýatorlaryň gönükdiriji enjamlaryna bermän, mundan başga-da selçeňlemäni sazlaýjynyň (SS-iň) girişinde deslapky ýagdaýda BBD-de degişli görnüşde özgerdilen signal berilýär. BBD bolsa howanyň mukdary baradaky duýduryşy maglumat görnüşinde alýar.



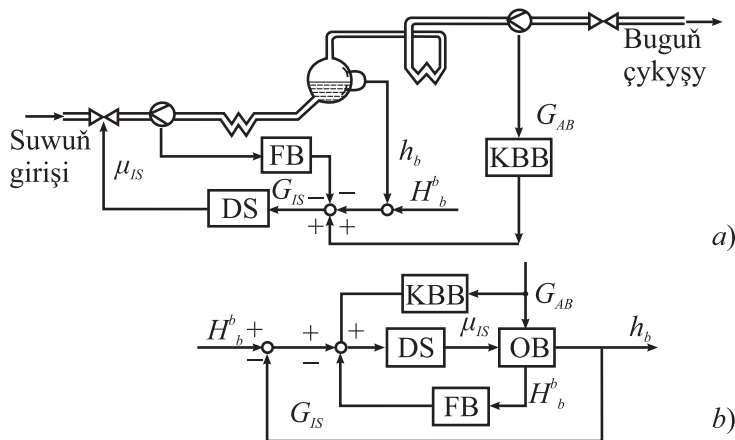
1.15-nji çyzgy. Selçeňlemäni sazlaýjy ulgamyň shemasy

Şu shemadaky howa beriji wentilýatorlaryň gönükdiriji enjamlarynyň ýagdaýynyň üýtgemesi tüsse sorujy gurluşlaryň gönükdiriji enjamlaryna gaýragoýul-

masyz şertde täsir edýär. Netijede bolsa ýangyjyň ýakylýan ýerindäki selçeňleme önümçilik şertlerinde üýtgemän diýen ýaly galýar. Selçeňlemäniň öňünden berlen bahasynyň üýtgemezligi üçin bolsa KBB-den gelýän duýduryş durnuklaşan düzgünlerde ýitip gidýän häsiýetli bolmalydyr.

1.10. Gazanyň barabanyndaky suwuň derejesini sazlaýjy ulgamlar

Häzirki wagtda barabanly gazanlarda ulanylýan suwuň derejesiniň sazlanýlyşynyň shemasy 1.16-njy (a) çyzgyda getirilip görkezilendir. Dereje sazlaýjynyň (DS-iň) girişine barabandaky suwuň h_b derejesiniň üýtgemesinden (esasy sazlanýlan ululyk) başga-da iýmitlendiriji suwuň G_{IS} mukdary boýunça duýduryş (kömekçi sazlanýlan ululyk) bilen gazandan çykýan aşa gyzdyrylan buguň G_{AB} mukdary boýunça alynýan duýduryşyň (oýandyryjy täsiriň) deňeşdirilen jemi görnüşindäki duýduryş berilýär. Suw boýunça duýduryş formulirleýji desgadan (FD-den), bug boýunça duýduryş bolsa buýruk beriji desgadan (BBD-den) gelýär. Şeýlelikde, seredilip geçilen sazlanýlan ulgamyň 1.16-njy (b) çyzgyda teklipl edilýän maglumat düzümi 1.5-nji (b) çyzgyda getirilen kömekçi sazlanýlan ululygyň sazlanýlan ulgamynyň düzümi bilen 1.4-nji çyzgyda görkezilen oýandyryjy täsiriň kompensirleýji ulgamy baglanyşdyrýar.



1.16-njy çyzgy. Suwuň derejesiniň sazlanýlyşynyň shemasy we düzümi

Kömekçi sazlanýlan ululyk tarapyndan gelýän duýduryş iýmitlendiriji klapanyň üýtgemesi bilen ýüze çykýan (iýmitlendiriji ýolda suwuň basyşy bilen şertlenilen iýmitlendiriji suwuň mukdarynyň özbaşdak üýtgemesi) täsirleri aradan aýyrmak üçin, oýandyryjy täsirden gelýän duýduryş bolsa gazanyň bug ýüküniň täsirini aradan aýyrmak üçin niýetlenilýär. Şeýle ulgamyň galdyrylýan deňölçeşsizlik ululykly işlemegi üçin FD-den we BBD-den gelýän agram koeffisiýentleri durnuklaşan

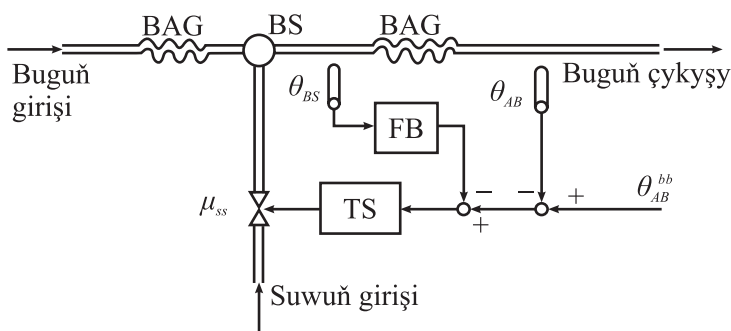
düzgünde $G_{IS} = G_{AB}$ deňligi ýerine ýetirip, biri-birini kompensirlär ýaly saýlanylýar. Başgaça aýdylanda, iýmitlendiriji suwuň mukdary boýunça gelýän duýduryş aşa gyzdyrylan buguň mukdary tarapyndan gelýän duýduryşy kompensirlemeli.

Deňeşdirilip alnanda, çylşyrymly sazlanýlan ulgamyň ulanylmagynyň zerurlygy häzirkî zaman ýokary basyşda işleýän gazanlarda özboluşly derejäniň “gaýnamak” täsiriniň (effektiniň) barlygy bilen düşündirilýär. Bu hadysanyň manysy indikilerden durýar:

Goý, käbir wagt pursadynda turbinanyň sazlaýjysy gazandan alynýan aşa gyzdyrylan buguň G_{AB} mukdaryny köpeltmek üçin turbina bug berilýän klapany açsyn. Bu ýagdaýda gazanyň barabanyndaky suwuň derejesiniň peselmesine getirmeli, emma hakykatda bolsa, ilki bilen, dereje çaltlyk bilen ösýär (“gaýnaýar”) we diňe biraz wagtyň geçmegi bilen “dogry” tarapa üýtgäp başlaýar (azalýar). Bu ýagdaýda ekran turbalarynda we ýokary basyşly gazanlaryň barabanynda diňe suw bolman, bug-suw garyndysy bolýar. Onuň göwrümi bolsa basyşa bagly bolýar. Turbinanyň klapanyň açylyp-ýapylmasy barabanyň bugarma üstündäki basyşyň pese düşmesine getirýär, bug-suw garyndysynyň göwrümi artýar. Bu ýagdaý derejäniň wagtlaýyn ýokarlanmasy bilen ýüze çykýar. Edil şunuň ýaly ýagdaý beýleki ugurda-da turbinanyň klapanyň ýapylma derejesiniň kiçelmesinde hem bolup geçýär. Şeýlelikde, buguň mukdary boýunça signaly sazlaýan ulgamyň bolmadyk ýagdaýynda “gaýnamak” täsiri dereje sazlaýjynyň (DS-iň) ýalan ugurda işe utgaşdyrylmagyna getirer (ýüküň köpeldilmeginde iýmitlendiriji suwuň gelmesini artdyryp başlar we ýüküň azaldylmasynda bolsa, tersine, azaldyp başlar) we biraz wagt geçenden soň “gaýnama” täsiri ýok bolan-da bolsa, ol dogry ugurda işläp başlar, ýöne başdaky ýalňyş işiň täsirini aradan aýryp bilmeýär. Buguň mukdary boýunça kompensirleýji signalyň girizilmegi sazlaýjynyň ýalan hereketiniň ýüze çykmagynyň önüni alýar.

1.11. Aşa gyzdyrylan buguň temperaturasyny sazlaýjy ulgamlar

Bugy aşa gyzdyryjydan (BA-dan) soňky aşa gyzdyrylan buguň θ_{AB} – temperatura-syny sazlaýan ulgamyň shemasy 1.17-nji çyzgyda getirilip görkezilendir. Bu shema bug sowadyjydan (BS-den) soňra θ_{BS} – buguň temperaturasyny sazlaýjy kömekçi ululykly bolýar. Onuň maglumat düzümi 1.5-nji (b) suratda getirilendir. temperatura sazlaýjynyň (TS-iň) berlen bahany goýujysyna signal formulirleýji desga (FD) arkaly edilýän täsir durnuklaşan düzgünden soňra ýitip gidýän görnüşde bolmaly. Goşmaça sazlanýlan ululyk baradaky maglumaty ulanmak esasy sazlanýlan ululygy bug sowadyjy (BS) tarapyndan gelýän täsirlerden halas etmek üçin ulanylýar (bug sowadyjynyň girişindäki buguň temperaturasynyň we sowadyjy suwuň mukdarynyň özbaşdak üýtgemelerinden gelýän täsirler). Şu shemada bug sowadyja berilýän suwuň klapanyň ýagdaýyny üýtgetmek bolsa sazlaýjy täsir bolup durýar. Ol bolsa μ_{SS} – ululyk bilen belgilenilýär.



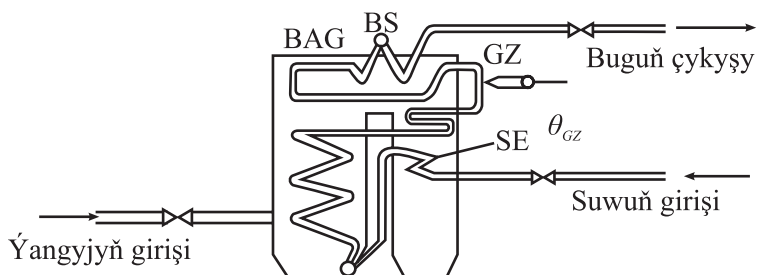
1.17-nji çyzyg. Aşa gyzdyrylan buguň temperaturasyny sazlaýan ulgamyň shemasy

1.12. Göni akymly gazanlaryň awtomatiki sazlanýan ulgamlarynyň aýratynlyklary

Göni akymly gazanlardaky bug önümçiliginiň tehnologik shemasy barabanly gazanlarda bug öndürmegiň shemasyndan barabanyň ýoklugy bilen tapawutlanýar. Ol ýerde bug-suw traktynyň suwuk we bug fazalary bölünýär. Göni akymly gazanyň ýönekeýleşdirilen shemasy 1.18-nji çyzygyda getirilendir (bu ýerde diňe bug-suw traktý görkezilen howa-gaz traktý bolsa barabanly gazanlaryňky ýalydyr). Ýmitlendiriji suw, ilki bilen, suw ekonomazyerinden (SE-den) geçip bugardyjy turbalara barýar. Ol turbalar ýangynyň ýanýan ýerini ekranlaşdyrýar. Geçiş zonasında (GZ-de) suwuň buga öwrülmesi bolup geçýär, soňra bolsa bug budygý aşagyzyryjylarda (BAG-de) talap edilýän temperaturalara çenli aşagyzyrylýar. Barabanly we göni akymly gazanlaryň tehnologik shemalary deňeşdirmeden gelip çykyşy ýaly, olaryň esasy aratapawudy göni akymly gazanlar dolandyrylanda barabandaky derejäniň wezipesini bugardyjy we aşagyzyryjy zonalaryň araçäginiň ýagdaýy görkezýär. Barabanyň özüniň ýerine ýetirýän funksiýasyny bolsa *geçiş zony* kabul edýär. Bugardyjy we aşagyzyryjy zonalaryň arasyndaky araçägiň ýagdaýyny berlen bahada saklamak barabandaky derejäni bolmaly bahasynda saklamakdan has kyn mesele bolup durýar. Onuň indiki sebäpleri bolýar: araçägiň ýagdaýyny gönüden-göni gözegçilikde saklamak kynçylyk bilen amala aşyrylýar; agzalýan araçäk barabandaky derejededen has “hereketli” bolýar, ýagny şol bir oýandyryjy täsirlerde onuň üýtge me tizligi barabandaky derejäniň üýtge me tizliginden ýokary bolýar.

Ýangyjyň ýakylýan ýerindäki ýylylyk bölünip çykmasynyň üýtgemesi hem bugarma zonasynyň araçäginiň ýagdaýyna we ýmitlendiriji suwuň berilmesiniň üýtgemesine güýçli täsir edýär. Bugarmanyň zonasynyň araçäginiň gözegçilikde saklanymagynyň kynçylygy başga birnäçe goşmaça ululyklary gözlemäge mejbur edýär. Ol ululyklar gönüden-göni barlag üçin elýeterli we şol bir wagtyň özünde hem agzalýan araçägiň ýagdaýy bilen ýeterlik derejede ýakyn baglanyşyk-

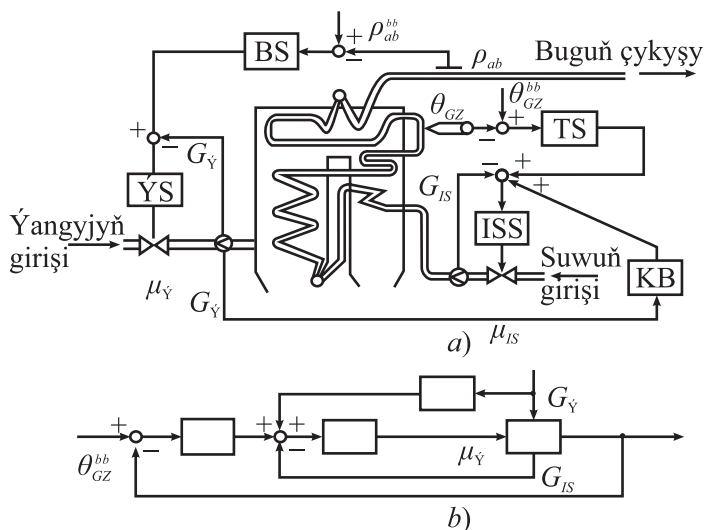
da bolmalydyrlar. Şeýlelikde, goşmaça ululyklaryň bahalaryny bolmaly derejesinde saklamak bugarma araçäginiň belli çäklerde saklanylmagyna güwä geçýär. Adatça, goşmaça sazlanýlan ululyk hökmünde geçiş zonasyndan soňky buguň $\theta_{GZ}(t)$ – temperaturasy saýlanýlar. Ýokarda getirilen göni akymly gazanlaryň aýratynlygy (1.16-njy çyzgyda getirilen barabanly gazandaky dereje sazlaýjy shema bilen deňeşdirilende) sazlamagyň düzüm shemasyny birneme başgaça gurmaga mejbur edýär, ýagny gazandan alynýan buguň mukdary boýunça signala derek ýaklylan ýerine berilýän ýangyjyň mukdary boýunça signal girizilýär.



1.18-nji çyzgy. Göni akymly gazanyň ýönekeýleşdirilen shemasy

Ýöne energiýa desgalaryny dolandyrmagyň umumy ulgamynda ýangyjyň mukdarynyň üýtgemesiniň buguň basyşynyň sazlanlyşynda ulanylýanlygy sebäpli, 1.12-nji çyzgydaky ýaly bugarma zonasynyň araçägini sazlaýan ulgamy buguň basyşyny sazlaýan ulgamyň düzümine goşmaly bolýar. Şeýlelikde, göni akymly gazanly energiýa desgalarynda seredilýän ulgam buguň basyşyny we bugarma zonasynyň araçägini sazlaýjy özara baglanyşdyrylan ulgam hökmünde teklipl edilýär. Mysal hökmünde, eger-de energiýa desgasy elektrik ulgamynyň ýygylgyny sazlamak üçin gatnaşdyrylýan bolsa, göni akymly gazanly energiýa desgasyndaky geçiş zonasyndan soňky aşa gyzdyrylan buguň basyşynyň we temperaturasynyň sazlanýşynyň shemasy 1.19-njy (a) çyzgyda getirilip görkezilendir. BS-basyş we ÝS-ýangyç sazlaýjylardan durýan buguň basyşyny sazlaýan shema 1.12-nji çyzgyda görkezilen deňişli shema bilen deň ýagdaýdadyr. Geçiş zonasyndan soňky temperaturany sazlamak kaskad görnüşli shemada ýerine ýetirilýär. Ol shema esasy temperaturany sazlaýjydan (TS-den) we kömekçi ýomitlendiriji suwuň mukdaryny sazlaýjydan (ISS-den) durýar. Şu shemada sazlamak prosesleri aşakdaky tertipde ýerine ýetirilýär. Basyşy sazlaýjynyň (BS-iň) girişine aşa gyzdyrylan buguň basyşy “-” alamaty bilen, onuň bolmaly bahasy bolsa “+” alamaty bilen deňeşdiriji elementde deňeşdirilip berilýär. Eger-de aratapawut ýüze çyksa, ol ululyk “+” alamaty bilen BS-basyşy sazlaýjynyň çykyşyndan alnyp, ýangyç sazlaýjynyň (ÝS-iň) önünde duran deňeşdiriji elemente berilýär. “-” alamaty bilen şol deňeşdiriji elementiň girişine ýangyjyň mukdary boýunça alynýan signal berlip deňeşdirilýär. Deňeşdirme netijesinde aratapawut ýüze çyksa, ol ululyk ýangyç sazlaýjynyň (ÝS-iň) gi-

rişine berilýär. Onuň çykyşyndan bolsa $\mu_{\dot{y}}$ – görnüşdäki täsir ýangyjyň mukdaryny sazlaýan agza berilýär. Temperatura sazlaýjynyň (TS-iň) girişine hem, ilki bilen, geçiş zonasynyň temperaturasy onuň bolmaly bahasy bilen deslapky ýagdaýda deňşdiriji elementde deňşdirilip aratapawut görnüşinde, onuň çykyşy bolsa iýmitlendiriji suwuň mukdaryny sazlaýjynyň (ISS-iň) deňşdiriji elementine “+” alamaty görnüşinde berilýär, şeýle hem ol ýere iýmitlendiriji suwuň gazan enjamyna berilýän mukdary “-” alamaty bilen berlip deňşdirme amala aşyrylýar. Mundan başga-da ýangyjyň mukdary baradaky maglumat “+” alamaty arkaly korreksiýa beriji (KB) gurluşyň üsti bilen goşmaça signal berilýär. Netijede, alnan signal bilen bolsa ISS-sazlaýjynyň çykyşynda μ_{IS} – signal ýüze çykarylyp suwuň mukdary sazlaýjy agza täsir edilýär.



1.19-njy çyzy. Aşa gyzdyrylan buguň basyşynyň we temperaturasynyň sazlanlyşynyň shemasy we düzümi

Geçiş zonasından soňky temperaturanyň sazlanlyşynyň düzüm shemasy 1.19-njy (b) çyzyda getirilip görkezilendir. Göni akymly gazanlarda iýmitlendiriji suwuň we ýangyjyň mukdarlary meňzeş depgini bilen geçiş zonasından soňky buguň temperaturasyna we aşagyzydrylan buguň basyşyna täsir edýänligi sebäpli seredilip geçilen sazlanlyşan shemada (1.19-njy çyzygy) sazlaýjy ulgamyň sazlaýjy täsirleriniň ýerlerini hem çalyşmak mümkindir. Adatça, geçiş zonasından soňky temperaturanyň ýerini şol ýerdäki basyş bilen çalyşyp bolýar. Şeýle “çalyşylan” shemada buguň basyşynyň sazlaýjysy iýmitlendiriji suwuň mukdarynyň sazlaýjysyna täsir eder. Geçiş zonasından soňky temperaturanyň sazlaýjysy bolsa degişlilikde ýangyjyň mukdaryny sazlaýja täsir eder. Şeýle ulgamlary çalyşmak işleri tehniki tarapdan maksadalaýyk diýlip kabul edilýär.

II BAP

GÖNÜÇZYKLY ULGAMLARYŇ DIFFERENSIAL DEŇLEMELERI WE DINAMIKI HÄSIÝETNAMALARY

2.1. Dinamiki ulgamlaryň differensial deňlemeleri we olaryň çyzykly ýagdaýa getirilişi

Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslarynyň esasy usulyýet ýagdaýlary indiki tertipde kesgitlenilip bilner.

Dolandyryş proseslerinde obýektiň özüni alyp barşyna we gözegçilik ediji enjamlara arasy üzülmeyän arabaglanyşykly ýagdaýda seredilmelidir, sebäbi olar bir bitin awtomatiki dolandyrylýan ulgamy (ADU) emele getirýärler. Şu ýagdaýda dolandyrmak meselesiniň çözülmesine *ulgamlaryň çemeleşmek* zerurlygy aýdyňlaşdyrylýar.

Dolandyrylýan ulgamlaryň özüni alyp barşy öwrenilende diňe *durnuklaşan (statiki)* düzgünleri öwrenmek bilen çäklenmeli däldir. Bu režimlere has umumlaşdyrylan *durnuksyz (dinamiki)* düzgünleriň bir bölegi görnüşinde seredilip geçilmeli. Şunuň bilen baglanyşykda dolandyrylýan ulgamlaryň öwrenilmeginiň matematiki aparaty bolup *differensial deňlemeleriň* aparaty gulluk etmeli.

Obýektiň we gözegçilik ediji enjamlaryň differensial deňlemeleri olaryň *matematiki modeliniň* matematiki ýazgysy bolup, bu ýerde goýlan meseläniň özleşdirilişiniň dogry çözüwiniň zerur bolan aýratynlyklary görkezilýär, sebäbi differensial deňlemeleriň görnüşleriniň köplüginde umumi çözüw usullaryny diňe *gönüçzykly differensial deňlemeler* özünde saklaýarlar. Şonuň üçin hem obýektiň we gözegçilik ediji enjamlaryň modeli gurlanda *gönüçzykly matematiki modeli* gözlemäge ymtylmalydyr.

Gönüçzykly modelleriň amaly taýdan ulanylmagynyň maksadalaýyklygy eýýäm işlenilip taýýarlanylýan ulgamlaryň özüni alyp barşyna *seljerme (analiz)* geçirmäge mümkinçilik berýär. Olar üçin bolsa deňlemeleriň koeffisiýentleriniň san bahalary belli bolýar, ýöne dolandyrmagyň nazaryýeti, ilki bilen, öňünden berlen häsiýetleri bolan täze ulgamlary işläp taýýarlamaga, ýagny olaryň *sintezini* amala aşyrmaga niýetlenilendir. Şeýle-de bolsa ADN-iň formallaşdyrylan usullary bilen şuna meňzeş meseleleri amaly taýdan ulanar ýaly edip, tehnologik prosesleriň gönüçzyksyz real ADU-sy üçin çözmek başartmaýar.

Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary fiziki dolandyrylýan ulgamlaryň matematiki modelleriniň ululyklarynyň üstünde dürli operasiýalary geçirmegi ýerine ýetirýär. Onuň usullary dürli-dürli fiziki tebigaty bolan ulgamlar üçin ulanylyp bilner.

Real fiziki ulgamlarda durnukly bolmadyk dinamiki düzgünleriň bolmagy şol ulgamlarda çig mallaryň we energiýalaryň akumulirlenilýän gaplarynyň bolmagy bilen düşündirilýär. Çig mallaryň we energiýalaryň mukdarlary bolsa çaltlyk bilen üýtgäp bilmeýär. Şu gaplaryň görnüşlerine baglylykda dinamiki ulgamlar indiki ulgamlara bölünýärler: *jemlenilen gaply* (olarda aýratyn alnan gaplaryň arasyndaky araçäkleri we olaryň sanyny takyk kesgitlep bolýar) we *paýlanylan gaply* ulgamlar. *Jemlenilen gaply ulgamlar* üçin differensial deňlemeleriň düzülişiniň tertibine seredip geçeliň. Durnuklaşmadyk režimde her bir jemlenen gap üçin material we energetiki balansyň deňlemesi (çig mallaryň ýa-da energiýalaryň mukdarlary üýtgäp duran ýagdaýynda) birinji tertipli deňleme görnüşinde bolýar. Eger-de ulgam bir däl-de, n sany gaplary saklaýan bolsa, onda onuň özüni alyp barşy n sany birinji tertipli differensial deňleme bilen ýazylar:

$$z_i'(t) = f_i[z_1(t), \dots, z_n(t), x_1(t), \dots, x_l(t)]; \quad (2.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Bu ýerde:

$z_1(t), \dots, z_n(t)$ – ulgamyň ýagdaýyny görkezýän üýtgeýän ululyklar.

Bu ululyklar her gapdaky maddanyň (sredanyň) ýa-da energiýanyň t-wagt pursadynda mukdarlaryny häsiýetlendirýärler.

$x_1(t), \dots, x_l(t)$ – *ulgama* täsir edýän daşky (giriş) täsirler. Bu ululyklar ulgamyň ýagdaýyny üýtgedýär.

Adatça, özleşdirilmeler netijesinde ulgamyň ýagdaýyny häsiýetlendirýän ululyklary kesgitlemek zerurlygy ýüze çykmaz, ýagdaýy häsiýetlendirýän üýtgeýän ululyklary we giriş täsirleri bilen funksional baglanyşykda bolýan $y_1(t), \dots, y_p(t)$ käbir beýleki ululyklary kesgitlemeli bolýar:

$$y_j(t) = \varphi_j[z_1(t), \dots, z_n(t), x_1(t), \dots, x_l(t)], j = 1, 2, \dots, p. \quad (2.2)$$

Şu ululyklar *ulgamyň çykyş ululyklary* diýen ady aldylar.

Şu ýerde aýratyn üns bermeli zatlaryň biri, ol hem giriş we çykyş *ululyklary düşünjesiniň girizilmegini tehnologik obýektiň girişindäki we çykyşyndaky maddalaryň (sredalaryň) ýa-da energiýalaryň akymalary bilen garyşdyrmaly däldir*. Şu ýerde mundan beýläk bizi gyzyklandyrýan tarapdan seredilip geçilýän adalgalar sistemanyň ýagdaýyny kesgitleýän ululyklary (çykyş ululyklaryny) we sistemanyň ýagdaýyny üýtgedýän daşky täsirleri (giriş ululyklar) häsiýetlendirýärler. Bulardan başga-da *ulgama* diýen adalga geljekde elementleriň islendik köplügini aňlatjakdyr. Olar özleriniň ýerine ýetirýän funksiýasyna bagly bolmadyk ýagdaýda käbir bitin birligi döredýärler (husususan-da, bulara obýektleri, sazlaýjylary, sazlanýlan ulgamlary, ýerine ýetiriji hereketlendirijileri we ş.m. degişli etmek bolar).

Ýokarda *dinamiki ulgam* diýlip düzüminde gaplar bolan ulgamlara aýdyldy. Şeýle atlandyrmalar *fiziki* diýlip hem atlandyrylyp bilner. Indi bolsa matematiki kesgitleme hem berlip bilner: ulgamyň özüni alyp barşy differensial deňleme bilen ýazylyan bolsa, hususy ýagdaýda (2.1) görnüşli deňleme. Onda bu ulgamlar *dinamiki ulgamlar* diýlip atlandyrylýar. Hususy ýagdaýda (2.1) deňlemäniň çep tarapyndaky önümleriň nola deň bolmagy ulgamy *statiki ýagdaýa* geçirýär:

$$f_i[z_1(t), \dots, z_n(t), x_1(t), \dots, x_l(t)] = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.3)$$

Deňşdirilip alnanda, şeýle ýagdaýlar giriş täsirleri ýuwaşlyk bilen üýtgedilende dinamiki ulgamlarda hem ýüze çykýar, ýagny ulgamlarda bar bolan gaplardaky ýygananan maddalaryň (sredalaryň) ýa-da energiýalaryň üýtgeme prosesleri giriş täsirleriniň üýtgemeleriniň yzysüre hasaba almasaň hem bolýan saklanmalar bilen bolup geçmelidir. Wagta baglylykda giriş täsirleriniň üýtgemeyän x_1^0, \dots, x_l^0 bahalarynda we sistemanyň ýagdaýyny görkezýän üýtgeýän z_1^0, z_l^0 – ululyklarda ulgam *dynçlyk (hereketsiz) ýagdaýynda* bolýar. Bu ýagdaýa bolsa aşakdaky deňlemeler ulgamy gabat gelýär:

$$f_i(z_1^0, \dots, z_l^0, x_1^0, \dots, x_l^0) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.4)$$

Eger-de (2.1) deňlemäniň sag tarapyňyň, iň bolmanda, bir funksiýasy gönüçyzyksyz bolsa, onda ulgam durşuna *gönüçyzyksyz* bolýar. Şu funksiýalar çyzykly ýagdaýa (linerizasiýa) getirilenden soňra, ýagny olar ýakynlaşdyrylan gönüçyzykly funksiýalar bilen çalşylandan soň (2.1) ulgam birinji tertipli *gönüçyzykly differensial deňlemeleriň ulgamyna* geçýär:

$$z_i' = \sum_{k=1}^n a_{i,k} z_k(t) + \sum_{k=1}^l b_{i,k} x_k(t), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.5)$$

Bu ýerde $a_{i,k}$ we $b_{i,k}$ – hemişelik koeffisiýentler.

Çyzykly ýagdaýa getirilme (funksiýanyň ýakynlaşma usuly) usulyňyň saýlanylmagy özleşdirmegiň ahyrky maksady bilen kesgitlenilýär. Hakykatdan hem, başlangyç (2.1) ulgamdan çyzykly (2.5) görnüşli çyzykly ýagdaýa getirilen ulgama geçilmesi çözümleriň takyklygynyň käbir ýitgileri bilen baglanyşyklydyr, ýöne şu ýerde berk bellemeli zatlaryň biri, ol hem şeýle geçmeler amala aşyrylanda çözümleriň hil häsiýetleri üýtgedilmeli däldir. Hususan hem, ýapyk ýagdaýda bolan ulgamlar özleşdirilende çyzykly ýagdaýa geçmek indiki görnüşde ýerine ýetirilmeli, ýagny (2.5) çyzykly modeliň durnuklylygy (2.1) gönüçyzyksyz ulgamyň durnukly işini (bolmanda ulgamyň dynçlyk ýagdaýyndan kiçi üýtgemelerinde) subut etmelidir.

Soň indiki baplarda kesgitli talaplaryň diňe “kiçi üýtgemeler” usuly boýunça funksiýalaryň çyzykly ýagdaýa getirilmesi amala aşyrylanda ýerine ýetirilýändigini görkeziler. Bu bolsa, $z_1^0, \dots, z_l^0, x_1^0, \dots, x_l^0$ – parametrleri bolan ulgamyň deňagramly ýagdaýynda öwrenilýän nokadyň töwereginde çyzykly ýagdaýa getirilýän funksiýa

Teýloryň hatary bilen teklipl edilýär. Şu ýerde hatara dargatmak meselesinde diňe çyzykly düzüjiler bilen çäklenilýär:

$$f_l(z_1, \dots, z_n, x_1, \dots, x_l) \approx \sum_{k=1}^n a_{i,k} (z_k - z_k^0) + \sum_{k=1}^n b_{i,k} (x_k - x_k^0). \quad (2.6)$$

Bu ýerde $a_{i,k} = \frac{\partial f}{\partial z_k}$ we $b_{i,k} = \frac{\partial f}{\partial x_k}$ ululyklar dargadylma nokadynda z we x parametrler boýunça çyzykly ýagdaýa getirilýän funksiýanyň hususy önümleriniň bahalary.

Eger-de alnan formulany (2.1) formula goýsak we üýtgeýän ululyklary hasaba almalary dargatma nokadyna geçirsek, onda (2.5) gönüçyzykly deňlemeler ulgamyna geleris. Seredilip geçilen çyzykly ýagdaýa getirmegiň görnüşiniň geometriki düşündirilişi çyzykly ýagdaýa getirilýän funksiýanyň hakyky grafigi deňölçegli ýagdaýda özleşdirilýän nokadyň üstünden geçirilýän galtaşýan çyzyk bilen çalyşmaga gabat gelýändir. Ýagdaý parametrleri we giriş täsirleri bilen ulgamyň çykyş ululyklaryny baglanyşdyryjy (2.2) funksiýa hem edil şonuň ýaly çyzykly ýagdaýa getirilýär.

$$y_j(t) = \sum_{k=1}^n c_{j,k} z_k(t) + \sum_{k=1}^n d_{i,k} x_k(t), \quad j=1, 2, \dots, p. \quad (2.7)$$

Bu ýerde $c_{i,k} = \frac{\partial \varphi}{\partial z_k}$ we $d_{i,k} = \frac{\partial \varphi}{\partial x_k}$ – hemişelik koeffisiýentler.

Olaryň bahalary, degişlilikde, dargama nokadynda şu funksiýalaryň hususy önümleriniň bahalaryna deňdir. Özleşdirilýän obýektiň ýagdaýyny häsiýetlendirýän (2.5) gönüçyzykly differensial deňlemeleriň ulgamy baglanyşdyryjy (2.7) deňleme bilen bilelikde üýtgeýän ýagdaýy häsiýetlendirýän ululyklar aradan aýrylanda n tertipli p sany çyzykly differensial deňlemeleriň ulgamy görnüşinde teklipl edilip bilner. Ol deňleme gönüden-göni her bir çykyş ululygyny hemme giriş ululygy bilen baglanyşykda saklaýar. Her bir giriş ululygyna görä alnanda her bir şeýle deňleme indiki görnüşde teklipl edilip bilner:

$$y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + a_{n-1} y'(t) + a_n y(t) = b_0 x^{(m)}(t) + b_{m-1} \dot{E}(t) + b_m x(t). \quad (2.8)$$

Bu ýerde $a_1, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m$ – hemişelik koeffisiýentler.

Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esasynda şu deňlemäniň köp ýagdaýlarda birneme başgaça ýazylyan formasy ulanylýar:

$$T_0^n y^{(n)}(t) + \dots + T_1 y'(t) + y(t) = k [T_{x,m}^m x^{(m)}(t) + T_{x,1} x'(t) + x(t),] \quad (2.8 \text{ a})$$

Bu ýerde T we k – hemişelik koeffisiýentler.

Olar, degişlilikde, ulgamyň *wagt hemişeligi* (sebäbi bu ululyk wagtyň ölçeg birligini saklaýar) we *geçirijilik koeffisiýenti* adyny aldylar. Berlen $x(t)$ giriş ulu-

lygynda şu deňlemäniň sag tarapy berlen görnüşindäki wagt funksiýasy bolup formulirlenilýär. Şeýle deňleme *sag tarapy n-tertipli differensial deňleme (ýa-da üýtgeşik)* diýlip atlandyrylýar.

1-nji gönükme. 2.1-nji çyzgyda görkezilen obýekt diňe bir gaby saklaýar. Ol gaba zzyüzülmesiz ýagdaýda suwuklyk gelýär we gidýär. Gapdaky (bakdaky) ýygananan suwuklygyň mukdary bolsa onuň derejesi bilen kesgitlenilýär. Şu obýektiň differensial deňlemesini düzeliň, giriş täsirleri hökmünde suwuklygyň gelýän ýeri $x_1(t)$ bilen, gidýän ýeri $x_2(t)$ bilen, çykyş ululygy bolsa suwuklygyň derejesiniň $y(t) = z(t)$ üsti bilen belgilenilýär. Goý, uly bolmadyk käbir Δt – wagt böleginde suwuklygyň G_{gel} – gelýän mukdary we G_{git} – gidýän mukdar üýtgemeyän ýagdaýda saklanýlar, şeýle-de $G_{gel} \neq G_{git}$. Onda görkezilen wagt böleginde material balansyň deňlemesi indiki görnüşi alar:

$$F \cdot \Delta z = (G_{gel} - G_{git}) \cdot \Delta t.$$

Bu ýerde F – gabyň kese kesiginiň meýdany.

Formulany özümize amatly görnüşde ýazyp alarys, ýagny:

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{(G_{gel} - G_{git})}{F}.$$

Özleşdirilýän wagt aralygynda ol ululyk nola ymtylanda $\Delta t \rightarrow 0$, suwuklygyň gelýän we gidýän ýerlerindäki mukdarlarynyň arasyny üzmän üýtgeýän ýagdaýlarda, material balansyň deňlemesi aşakdaky görnüşde alynýar:

$$z'(t) = \frac{[G_{gel}(t) - G_{git}(t)]}{F}.$$

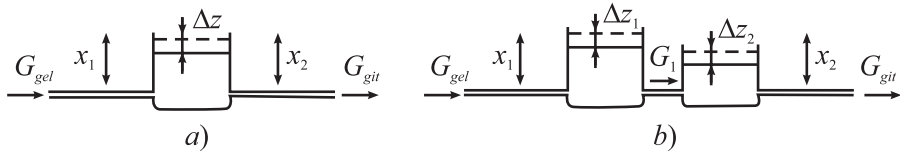
Suwuklygyň gelýän we gidýän ýerindäki mukdary klapanalardaky basyş aratapawudynyň we olaryň açylyş derejesiniň funksiýasy bolup durýandyr. Bu funksiýalar (meseläni ýeňilleşdirmek bilen) indiki görnüşi alýar diýlip hasaplarys: Suwuklygyň gelýän we gidýän ýerindäki mukdary klapanalardaky basyş aratapawudynyň we olaryň açylyş derejesiniň funksiýasy bolup durýandyr. Bu funksiýalar (meseläni ýeňilleşdirmek bilen) indiki görnüşi alýar diýlip hasaplanylýar:

$$G_{gel} = a_{gel} \cdot x_1 \sqrt{p_{gel}^0 - z}; \quad G_{git} = a_{git} \cdot x_2 \sqrt{z - p_{git}^0}.$$

Bu ýerde:

ρ_{gel}^0 we ρ_{git}^0 – degişlilikde, suwuklygyň gelýän ýerinde klapanyň öňündäki basyş we suwuklygyň gidýän ýerinde bolsa klapandan soňky basyşlar olar, degişlilikde, hemişelik diýlip hasaplanylýar.

α_{gel} we α_{git} – ululyklar, degişlilikde, hemişelik koeffisiýentler.



2.1-nji çyzgy:

a – bir gaply desgalaryň shemasy; b – iki gaply desgalaryň shemasy

Alnan aňlatmalar balans deňlemesine goýlup, ýagdaýyň (2.1) gönüçyzyksyz deňlemesi we (2.2) baglanyşyk deňlemesi alynýar, ýagny:

$$z'(t) = \frac{[\infty_{gel} x_1(t) \sqrt{p_{gel}^0 - z(t)} - \infty_{git} x_2(t) \sqrt{z(t) - p_{git}^0}]}{F}; \quad y(t) = z(t).$$

Onda çyzykly ýagdaýa getirilen (2.5) ýagdaý deňlemesi indiki görnüşde kesgitleniler:

$$z'(t) = a \cdot z(t) + b_1 \cdot x_1(t) + b_2 \cdot x_2(t).$$

Olaryň koeffisiýentleri bolsa

$$a = -\frac{\alpha_{gel} \cdot x_1^0}{2F \sqrt{p_{gel}^0 - z^0}} - \frac{\alpha_{git} \cdot x_2^0}{2F \sqrt{z^0 - p_{git}^0}};$$

$$b_1 = a_{gel} \cdot \frac{\sqrt{p_{gel}^0 - z^0}}{F}; \quad b_2 = -a_{git} \cdot \frac{\sqrt{z^0 - p_{git}^0}}{F},$$

şeyle hem $z^0, x_1^0, x_2^0, p_{gel}^0, p_{git}^0$ ululyklaryň durnuklaşan bahalary (2.4) deňagramly düzgüni kanagatlandyrmalydyr, ýagny:

$$\infty_{gel} \cdot x_1^0 \sqrt{p_{gel}^0 - z^0} - \infty_{git} \cdot x_2^0 \sqrt{z^0 - p_{git}^0} = 0.$$

Kesgitli ýagdaý üçin aşakdakylary kabul edeliň:

$$z^0 = 1 \text{ m}; \quad p_{git}^0 = 0; \quad p_{gel}^0 = 5 \text{ m}; \quad a_{gel} = 1 \frac{\text{m}^{2,5}}{\text{minut}}; \quad a_{git} = 1 \frac{\text{m}^{2,5}}{\text{minut}}; \quad F = 1 \text{ m}^2.$$

Onda deňagramly düzgün $x_1^0 = x_2^0$ ýagdaýda bolup biler. Onda $x_1^0 = x_2^0 = 0,5$ -e deň bolup, klapalar dolulygyna açylanda indiki görnüşdäki (2.5) we (2.7) çyzykly ýagdaýa getirilen deňlemeler alnar:

$$z'(t) = -0,625z(t) + 2x_1(t) - 2x_2(t); \quad y(t) = z(t),$$

sebäbi deňlemäniň koeffisiýentleri aşakdaky tertipde tapylýar:

$$a = -\frac{\alpha_{gel} \cdot x_1^0}{2F \sqrt{p_{gel}^0 - z^0}} - \frac{\alpha_{git} \cdot x_2^0}{2F \sqrt{z^0 - p_{git}^0}} = -\frac{1 \cdot 0,5}{2 \cdot 1 \sqrt{5-1}} - \frac{2 \cdot 0,5}{2 \cdot 1 \sqrt{1-0}} =$$

$$= -0,125 - 0,5 = -0,625;$$

$$b_1 = a_{gel} \cdot \frac{\sqrt{p_{gel}^0 - z^0}}{F} = 1 \cdot \frac{\sqrt{5-1}}{1} = 2;$$

$$b_2 = -a_{git} \cdot \frac{\sqrt{z^0 - p_{git}^0}}{F} = -2 \cdot \frac{\sqrt{1-0}}{1} = -2$$

Şu deňlemelerde üýtgeýän ululyklary hasaba almagy deňagramly ýagdaýdaky bahalardan başlamak maksadalaýykdyr: $z_0 = 1\text{ m}$; $x_1^0 = x_2^0 = 0,5$, $y_0 = 1\text{ m}$. Bu ulgam $z(t)$ -ululykdan başgasy gönüden-göni çykyş we giriş ululyklaryny baglanyşdyrýan deňlemä getirilýär:

$$y'(t) + 0,625y(t) = 2x_1(t) - 2x_2(t)$$

ýa-da:

$$1,6y'(t) + y(t) = 3,2x_1(t) - 3,2x_2(t).$$

2-nji gönükme. Birinji gönükmedäki meseläni iki gaply ulgam üçin çözeliiň. Onuň suraty 2.1-nji (b) çyzgyda getirilendir. Şu ýerde çykyş ululygy görnüşinde ikinji gapdaky suwuklygyň derejesi kabul edilen.

Her bir gap üçin material balansyň deňlemesi indiki görnüşde bolar:

$$z_1' = \frac{[G_{gel}(t) - G_1(t)]}{F_1}; \quad z_2' = \frac{[G_1(t) - G_{git}(t)]}{F_2}.$$

Goý, sarp edilmeleriň $z_1, z_2, x_1, x_2, p_{gel} = p_{gel}^0; p_{git} = 0$ ululyklara baglylygy aşakdaky formulalar bilen kesgitlenilýän bolsun:

$$G_{gel} = x_1 \sqrt{p_{gel}^0 - z_1}; \quad G_1 = \sqrt{z_1 - z_2}; \quad G_{git} = 2 \cdot x_2 \sqrt{z_2} \quad \text{we } F_1 = F_2 = 1\text{ m}^2.$$

Onda seredilýän ýagdaýyň gönüçyzyksyz (2.1) deňlemeler ulgamy indiki görnüşi alar:

$$\left. \begin{aligned} z_1'(t) &= \left[x_1(t) \cdot \sqrt{p_{gel}^0 - z_1(t)} - \sqrt{z_1(t) - z_2(t)} \right]; \\ z_2'(t) &= \left[\sqrt{z_1(t) - z_2(t)} - 2 \cdot x_2(t) \sqrt{z_2(t)} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

Arabaglanyşyk deňlemesi bolsa aşakdaky ýaly bolar:

$$y(t) = z_2(t). \quad (b)$$

Çyzykly ýagdaýa getirilen (2.5) görnüşli deňlemeleriň koeffisiýentleri indiki görnüşde bolar:

$$\left. \begin{aligned} z_1'(t) &= a_{11} \cdot z_1(t) + a_{12} \cdot z_2(t) + b_{11} \cdot x_1(t); \\ z_2'(t) &= a_{21} \cdot z_1(t) + a_{22} \cdot z_2(t) + b_{22} \cdot x_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (ç)$$

Bu ýerde-de a we b ululyklaryň bahalary aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= - \left[\frac{x_1^0}{\left(2\sqrt{p_{gel}^0 - z_1^0}\right)} + \frac{1}{\left(2\sqrt{z_1^0 - z_2^0}\right)} \right]; \\ a_{12} &= \frac{1}{\left(2\sqrt{z_1^0 - z_2^0}\right)}; \\ a_{21} &= \frac{1}{\left(2\sqrt{z_1^0 - z_2^0}\right)}; \\ a_{22} &= - \left[\frac{1}{\left(2\sqrt{z_1^0 - z_2^0}\right)} + \frac{x_2^0}{\left(\sqrt{z_2^0}\right)} \right]; \\ b_{11} &= \sqrt{p_{gel}^0 - z_1^0}; \\ b_{22} &= -2\sqrt{z_2^0}, \end{aligned} \right\} \quad (d)$$

şeýle hem üýtgeýän ululyklaryň deňagramly ýagdaýdaky bahalary indiki deňlemeler ulgamyny kanagatlandyrmalydyr:

$$x_1^0 \sqrt{p_{gel}^0 - z_1^0} - \sqrt{z_1^0 - z_2^0} = 0; \quad \sqrt{z_1^0 - z_2^0} - 2 \cdot x_2^0 \sqrt{z_2^0} = 0.$$

Hususy ýagdaýda öňde getirilen gönükmäniň kabul edilen

$z_2^0 = 1 \text{ m}; x_1^0 = x_2^0 = 0,5$ bahalary üçin şu ulgamyň çözügi $p_{gel}^0 = 6 \text{ m}; z_1^0 = 2 \text{ m}$ bahalary berýär.

Şunlukda, (d) – formuladan çyzykly ýagdaýa getirilen deňlemeleriň koeffisiýentleriniň bahalaryny alýarys:

$$a_{11} = - 0,625 \text{ min}^{-1}; a_{12} = + 0,5 \text{ min}^{-1}; a_{21} = + 0,5 \text{ min}^{-1};$$

$$a_{22} = -1 \text{ min}^{-1}; b_{11} = 2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; b_{22} = -2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1},$$

ýagny:

$$\left. \begin{aligned} z_1'(t) &= -0,625z_1(t) + 0,5z_2(t) + 2x_1(t); \\ z_2'(t) &= 0,5z_1(t) - z_2(t) - 2x_2(t); \\ y(t) &= z_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (e)$$

$z_1(t)$ we $z_2(t)$ ululyklar aradan aýrylyp, bu deňlemeler ulgamyny $y(t)$ ululygy $x_1(t)$ we $x_2(t)$ ululyklar bilen baglanyşdyrýan ikinji tertipli deňlemä getirilýär. Onuň getirilip çykarylyşy aşakda görkezilendir:

$$\left. \begin{aligned} z_1'(t) &= -0,625z_1(t) + 0,5z_2(t) + 2x_1(t); \\ z_2'(t) &= 0,5z_1(t) - z_2(t) - 2x_2(t); \\ y(t) &= z_2(t). \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= z_2(t). \\ z_2'(t) &= 0,5z_1(t) - z_2(t) - 2x_2(t); \\ z_1'(t) &= -0,625z_1(t) + 0,5z_2(t) + 2x_1(t). \end{aligned} \right\}$$

Ulgamyň ikinji deňlemesiniň iki tarapyny hem 0,5-e bölüp alamatyny üýtgedýäris, ýagny:

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= z_2(t). \\ z_1(t) &= 2z_2'(t) + 2z_2(t) + 4x_2(t); \\ z_1'(t) &= -0,625z_1(t) + 0,5z_2(t) + 2x_1(t). \end{aligned} \right\}$$

Ulgamyň ikinji deňlemesinde $z_1(t)$ -yň bahasyny üçünji deňlemede ýerine goýýarys we $z_1''(t)$ üçin deňlemäni hem ýazýarys:

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= z_2(t) \\ z_1(t) &= 2z_2'(t) + 2z_2(t) + 4x_2(t); \\ z_1'(t) &= -0,625[2z_2'(t) + 2z_2(t) + 4x_2(t)] + 0,5z_2(t) + 2x_1(t); \\ z_2''(t) &= -0,5z_1'(t) - z_2'(t) - 2x_2'(t) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= z_2(t). \\ z_1(t) &= 2z_2'(t) + 2z_2(t) + 4x_2(t); \\ z_1'(t) &= -1,25z_2'(t) - 1,25z_2(t) - 2,5x_2(t) + 0,5z_2(t) + 2x_1(t); \\ z_2''(t) &= -0,5z_1'(t) - z_2'(t) - 2x_2'(t); \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= z_2(t); \\ z_1(t) &= 2z_2'(t) + 2z_2(t) + 4x_2(t); \\ z_1'(t) &= -1,25z_2'(t) - 0,75z_2(t) - 2,5x_2(t) + 2x_1(t); \\ z_2''(t) &= 0,5z_1'(t) - z_2'(t) - 2x_2'(t). \end{aligned} \right\}$$

Ulgamyň soňky deňlemesini aýratynlykda işläp, garaşylýan deňlemäni alarys:

$$z_2''(t) = 0,5(-1,25z_2'(t) - 0,75z_2(t) - 2,5x_2(t) + 2x_1(t)) - z_2'(t) - 2x_2'(t);$$

$$z_2''(t) = -0,625z_2'(t) - 0,375z_2(t) - 1,25x_2(t) + x_1(t) - z_2'(t) - 2x_2'(t);$$

$$z_2''(t) = -1,625z_2'(t) - 0,375z_2(t) - 1,25x_2(t) + x_1(t) - 2x_2'(t);$$

$$z_2''(t) + 1,625z_2'(t) + 0,375z_2(t) = x_1(t) - 2x_2'(t) - 1,25x_2(t).$$

Eger-de $y(t) = z_2(t)$ – bolsa onda gutarnykly deňleme aşakdaky ýaly bolar:

$$y_2''(t) + 1,625y_2'(t) + 0,375y_2(t) = x_1(t) - 2x_2'(t) - 1,25x_2(t).$$

2.2. Gönüçzykly differensial deňlemeleri çözmek üçin Laplasyň özgertmesiniň ulanylyşy

Dinamiki ulgamlaryň çyzykly differensial deňlemeleri ýokary matematika kurslarynda has düşnükli seredilip geçilýän usullar bilen çözülýär. ADU-laryň meseleleri üçin has amatlysy bolup mesele çözmegiň operasion usuly gulluk edýär. Bu usul Laplasyň funksional özgertmesine esaslanandyr, ýagny:

$$X(S) = \int_{-0}^{\infty} x(t)e^{-st} dt. \quad (2.2.1)$$

Bu formula ($t \geq 0$) haçan-da $x(t)$ bolanda funksiýanyň sag tarapyndaky hakyky t – üýtgeýän ululyk bilen $X(S)$ – funksiýanyň $s = \sigma + j\omega$ kompleksi üýtgeýän ululygyň arasyndaky gabat gelmegi ýerine ýetirýär (σ we ω hakyky üýtgeýän ululyklar $\sqrt{-1} = j$. $x(t)$ – funksiýa *orginal*, $X(S)$ – funksiýa bolsa *şekil* diýlip atlandyrylýar.

Simwoliki ýagdaýda bu operasiýa, adatça, indiki görnüşde belgilenilýär:

$$X(S) = L\{x(t)\}.$$

Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary dersinde köp ulanylýan funksiýalaryň şekilleri 2.1-nji tablisada getirilen. Has doly tablisalary matematiki salgylanma gollanmalaryndan tapyp bolar.

2.1-nji tablisa

№	$x(t); t \geq 0$	$X(s)$
1	1	$1/s$
2	t	$1/s^2$
3	$t^n (n=1,2,\dots)$	$n! / s^{n+1}$
4	$e^{-\alpha t}$	$1 / (s \pm \alpha)$
5	$\sin \omega_0 t$	$\frac{\omega_0}{(s^2 + \omega_0^2)}$
6	$\cos \omega_0 t$	$\frac{s}{s^2 + \omega_0^2}$
7	$t^n e^{-\alpha t} (n=1,2,\dots)$	$n! / (s + \alpha)^{n+1}$

Käbir matematiki operasiýalary geçirmek üçin Laplasyň özgertmesiniň görnüşleri 2.2-nji tablisada getirilendir.

2.2-nji tablisa

1	$af(t)$	$aL[f(t)]$
2	$f_1(t) \pm f_2(t)$	$L[f_1(t)] \pm L[f_2(t)]$
3	$\frac{df(t)}{dt}$	$pL[f(t)] - f(0)$
4	$\frac{d^2 f(t)}{dt^2}$	$p^2 L[f(t)] - [pf'(0) + f''(0)]$
5	$\frac{d^n f(t)}{dt^n}$	$p^n L[f(t)] - [p^{n-1} f'(0) + p^{n-2} f''(0) \dots]$

2.3. Başlangyç şertleriň kesgittenilişi

Goý, awtomatiki sazlanýlýan ulgam indiki differensial deňleme bilen ýazylýan bolsun:

$$a_0 x^{(n)} + a_1 x^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} x' + a_0 x = f(t); \quad (2.3.1)$$

Şu ýerde giriş (oýandyryjy) funksiýasy bolan $f(t)$ ululyk islendik pursatda hemişelik bolup durýar. Oýandyryjy täsiriň ýüze çykmagyna çenli sazlanýan proses durnukly bolmagynda galýar, ýagny $x_0 = \text{const}$. Oýandyryjy täsiriň ýüze çykan pursadynda ($t = 0$) çykyş ululyk bolan x_0 birden üýtgäp bilmeýär, sebäbi deňlemäniň çep tarapyndaky in soňkudan öňdäki düzüjisi $x'' = \frac{dx}{dt}$ – birinji önümi saklaýar we tükeniksiz uly baha eýe bolýar (*islendik häsiýetnamanyň egri çyzygyna galtaşýan göni çyzyk bilen ordinatalar x -ler okunyň arasyndaky burç 90° gradusa golaýlaýar we tg ululygymyz tükeniksizlige ymtylýar*). Onda differensial deňlemäniň sag tarapy ahyrky ululyk bolup durýar. Değişlilikde wagtyň başlangyç pursadynda (haçan-da $t = 0$) çykyş ululyk $x(0) = x_0$, şeýle hem çykyş ululygyň birinji önümi bolan $\frac{dx}{dt}$ – ululyk hem birden üýtgäp bilmeýär, sebäbi şu ýagdaýda deňlemäniň çep tarapyň üçünji düzüjisi çykyş ululygynyň ikinji önümi bolan $x'' = \frac{d^2x}{dt^2}$ ululyk hem uly baha eýe bolýar. Şu ýagdaýda hem deňlemäniň sag bölegi ahyrky ululyk bolup durýar. Değişlilikde, başlangyç wagt pursadynda (haçan-da $t = 0$) bolanda birinji önüm bolan $x'(0) = 0$.

Edil şonuň ýaly hem indiki ýagdaýlar:

$$x''(0) = 0;$$

$$x^{(n-1)}(0) = 0.$$

Değişlilikde, haçan-da $t = 0$ bolanda in uly önüm bolan $x^{(n)} = \frac{d^n x}{dt^n}$ ululyk birden üýtgäp biler. Şu ýagdaýda bu ululyk indiki baha eýe bolýar:

$$x^{(n)}(0) = \frac{f(0) - a_0 x(0)}{a_0} \quad (2.3.2)$$

Eger-de oýandyryjy täsir berilmezinden öň ulgam asuda ýagdaýda bolan bolsa, ýagny $t < 0$ onda $x(0)$ ululygyň bahasy $x(0) = 0$; şu ýagdaýda bolsa $t = 0$ bolanda aşakdaky ýagdaýy alarys:

$$x(0) = x'(0) = x''(0) = \dots = x^{(n-1)}(0) = 0.$$

Şu ýagdaýda deňleme aşakdaky görnüşi alýar:

$$a_0 x^{(n)}(0) = f(0).$$

Bu ýerden bolsa

$$x^{(n)}(0) = \frac{f(0)}{a_0} \quad (2.3.3)$$

gelip çykýar, ýagny iň uly önümiň bahasy başlangyç oýandyryjy täsiriň ululygynyň iň uly önümiň ýanyndaky koeffisiýentine gatnaşygyna deňdir.

2.4. Differensial deňlemäniň integrirlenilişi

Sag tarapy umumy görnüşde bolan differensial deňlemä seredip geçeliň.

$$a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx}{dt} + a_n x = f(t). \quad (2.4.1)$$

Bu deňlemäni s^{-st} ululyga köpeldip we 0-dan ∞ -e çenli bolan çäklerde integrirläp, deňlemäniň düzüjileriniň şekilini alarys, ýagny:

$$\int_0^\infty \left[a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx}{dt} + a_n x \right] e^{-st} dt = \int_0^\infty f(t) e^{-st} dt,$$

ýa-da

$$a_0 \int_0^\infty \frac{d^n x}{dt^n} e^{-st} dt + a_1 \int_0^\infty \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} e^{-st} dt + \dots + a_n \int_0^\infty x e^{-st} dt = \int_0^\infty f(t) e^{-st} dt.$$

Bu ýagdaýy indiki görnüşde hem ýazmak mümkindir:

$$a_0 L \left[\frac{d^n x}{dt^n} \right] + a_1 L \left[\frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} \right] + \dots + a_n L[x] = L[f(t)].$$

Tablisada getirilen formulalar boýunça önümleriň şekillerini degişli başlangyç şertleri girizmek arkaly çalyşýarys:

$$a_0 p^n L[x] - a_0 [p^{n-1} x_0 + p^{n-2} x_0' + \dots] + a_1 p^{n-1} L[x] - a_1 [p^{n-2} x_0 + p^{n-3} x_0' + \dots] + \dots + a_n L[x] = L[f(t)], \quad (2.4.2)$$

ýagny differensial deňlemäniň ýerine şol deňlemä gabat gelýän algebraik deňleme alynýar. Indi başlangyç şertleri saklaýan düzüjileriň hemmesini deňligiň sag tarapyna geçirýäris we olardan alnan polinomy bolsa $R(s)$ bilen belgileýäris, onda:

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) L[x] = L[f(t)] + R(s). \quad (2.4.3)$$

(2.4.2) aňlatmadaky ýaýlary açyp we meňzeş düzüjileri getirmek bilen (2.4.3) aňlatmany hasaba alyp ýazarys:

$$R(s) = b_{n-1}s^{n-1} + b_{n-2}s^{n-2} + \dots + b_n s + b_0. \quad (2.4.4)$$

Bu ýerde b – koeffisiýent başlangyç şertlere bagly bolýar we degişlilikde, aşakdaky ýaly tapylýar:

$$\left. \begin{aligned} b_{n-1} &= a_0 x_0; \\ b_{n-2} &= a_0 x_0 + a_1 x_0; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ b_1 &= a_0 x_0^{(n-2)} + a_1 x_0^{(n-3)} + \dots + a_{n-2} x_0; \\ b_0 &= a_0 x_0^{(n-1)} + a_1 x_0^{(n-2)} + \dots + a_{n-1} x_0. \end{aligned} \right\} \quad (2.4.5)$$

(2.4.3) deňlemäniň çep tarapyndaky ýaýyň içindäki polinom häsiýetlendiriji deňlemäniň çep tarapy bilen deňgüýçlüdir. Ony indiki görnüşde belgileýäris:

$$D(s) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{2-1} + \dots + a_n. \quad (2.4.6)$$

Onda deňleme aşakdaky görnüşi alar:

$$D(s)L[x(t)] = L[f(t)] + R(s)$$

ýa-da

$$L[x(t)] = \frac{L[f(t)]}{D(s)} + \frac{R(s)}{D(s)}. \quad (2.4.7)$$

Şu ýerde deňlemäniň sag tarapyň birinji düzüjisi ulgamyň $f(t)$ görnüşli oýandyryjy täsiri astyndaky hereketini, ikinji düzüjisi bolsa başlangyç şertleri hasaba almak bilen ulgamyň erkin hereketini kesgitleýär.

(2.4.7) deňleme $x(t)$ funksiýanyň Laplasyň özgertmesi boýunça şekilini görkezýär.

Mundan beýläk bolsa (2.4.7) deňleme boýunça onuň hakyky bahasyny (originalyny) ýa-da (2.4.1) differensial deňlemäniň integralyny tapmaly, ýagny alnan şekilden hakyky bahasyna geçmeli.

Munuň üçin indiki görnüşde hereket edilýär.

Başlangyç şertleri saýlap almak bilen $f(t) = 0$ diýip kabul etmek mümkindir. Şu ýagdaýda (2.4.7) aňlatma indiki görnüşi alar:

$$L[x(t)] = \frac{R(s)}{D(s)} = \frac{b_{n-1}s^{n-1} + b_{n-2}s^{n-2} + \dots + b_0}{a_n s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_0}. \quad (2.4.8)$$

Şu ýagdaý hem, ýokarda aýdylyşy ýaly, geçiş hadysasyna, ýagny erkin herekete gabat gelýär.

Eger-de $D(s) = 0$ deňlemäniň kökleri belli bolsa we olaryň içinde gaýtalanýanlary ýok bolsa, onda (2.4.8) aňlatmany ýönekeý droblara dargadyp ýazyş bolar, ýagny:

$$L[x(t)] = \frac{A_1}{s-s_1} + \frac{A_2}{s-s_2} + \dots + \frac{A_k}{s-s_k} + \dots + \frac{A_n}{s-s_n} = \frac{R(s)}{D(s)}. \quad (2.4.9)$$

Bu ýerde:

$s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ $D(s) = 0$ görnüşli häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleri;

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – droblaryň koeffisiýentleri (sanawjylary).

Bu koeffisiýentleri kesgitlemek üçin formula getirip çykarmak mümkindir. Munuň üçin bolsa (2.4.9) deňlemäniň sag we çep taraplary $(s - s_k)$ ululyga köpeldilýär. Bu ýerde $s_k - D(s) = 0$ deňlemäniň kökleriniň islendigi bolup biler. Onda alarys:

$$\frac{s-s_k}{s-s_1} A_1 + \frac{s-s_k}{s-s_2} A_2 + \dots + A_k + \dots + \frac{s-s_k}{s-s_n} A_n = \frac{s-s_k}{D(s)}.$$

Şu deňlemede $s = s_k$ ýagdaý goýulsa, onuň çep tarapynda noldan tapawutly diňe A_k düzüji alnar. a -nyň sag tarapynda bolsa $\frac{s-s_k}{D(s)}$ görnüşli drob $s = s_k$ bolanda

$D(s) = 0$, ýagdaýy göz önünde tutsak, onda ol ýerde $\frac{0}{0}$ (görnüşli kesgitsizlik) emele geler.

Bu kesgitsizligi Lopitalyň düzgünine laýyklykda açyp alarys:

$$\lim_{s \rightarrow s_k} \frac{s-s_k}{D(s)} = \lim_{s \rightarrow s_k} \frac{(s-s_k)'}{D'(s)} = \frac{1}{D'(s)}.$$

Değişlilikde, islendik A_k koeffisiýenti kesgitlemek üçin deňleme indiki görnüşde bolar:

$$A_k = \frac{1}{D'(s)} \cdot R(s_k) = \frac{R(s_k)}{D'(s)}.$$

Onda (2.4.9) deňleme indiki görnüşde ýazylar:

$$L[x(t)] = \frac{R(s)}{D(s)} = \frac{R(s_1)}{D'(s_1)} \cdot \frac{1}{s-s_1} + \frac{R(s_2)}{D'(s_2)} \cdot \frac{1}{s-s_2} + \dots + \frac{R(s_n)}{D'(s_n)} \cdot \frac{1}{s-s_n}$$

ýa-da

$$L[x(t)] = \sum_k^n \frac{R(s_k)}{D'(s_k)} \cdot \frac{1}{s - s_n}. \quad (2.4.10)$$

Bu ýerde $D'(s_n)$ (2.4.6) görnüşli polinomyň $s = s_k$ bolan ýagdaýyndaky degişli önümi, ýagny:

$$D'(s_n) = \frac{d}{dt} (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{2-1} + \dots + a_n).$$

Tablisadan gelip çykyşy ýaly, $\frac{1}{s - s_n}$ – şekil görnüşli hakyky bahaly ululyk gabat gelýär. Onda geçiş hadysasynyň deňlemesi (2.4.10) gutarnykly görnüşli alar:

$$x(t) = \sum_k^n \frac{R(s_k)}{D'(s_k)} \cdot e^{s_k t}. \quad (2.4.11)$$

Bu ýerde $k = 1, 2, 3, \dots, n$.

(2.4.11) görnüşli jemiň düzújilerini kesgitlemek üçin indiki tertipde çemeleşilse amatly bolýar: (2.4.6) deňlemäni hasaba almak bilen degişli bolan häsiýetlendiriji deňlemäniň çep tarapy kesgitlenilýär, ýagny:

$$D(s) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{2-1} + \dots + a_n.$$

we $D(s) = 0$ bolanda onuň $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ köklerini tapmaly, $D'(s)$ – görnüşli önüm almaly. $R(s)$ – polinom üçin bolsa (2.4.5) formula boýunça b koeffisiýenti hasaplamaly.

Soňra $R(s)$ we $D'(s)$ ululyklara yzygiderlikde $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ kökleri goýup, şu ýagdaýda her bir kök üçin $\frac{R(s_k)}{D'(s)}$ drobuň bahasyny kesgitlemeli. Şu droblaryň

hersiniň bahasyny yzygiderlikde $e^{s_k t}$ köpeldijä köpeldip çykmaly. Netijede bolsa $x(t)$ görnüşli gözlenilýän funksiýanyň bahasyny degişli düzújileriň jemi görnüşinde $k = 1, 2, 3, \dots, n$ bolanda tapmak mümkindir.

3-nji gönükme. Sazlanylýan sistemanyň differensial deňlemesi berlen:

$$\frac{d^3 x}{dt^3} + 9 \frac{d^2 x}{dt^2} + 23 \frac{dx}{dt} + 14x = 0. \quad (2.4.12)$$

Başlangyç şertler

$$t = 0; x = x_0; x' = x'' = 0.$$

Laplastyň özgertmesiniň kömegi bilen sazlanylýan ulgamyň differensial deňlemesini integrirlemek talap edilýär.

Çözülüşi.

$s = \frac{d}{dt}$ çalyşmany ulanmak bilen ulgamyň operator formadaky häsiýetlendiriji deňlemesi alynýar, ýagny:

$$D(s) = s^3 + 9s^2 + 23s + 14 = 0.$$

Deňlemäniň kökleri: $s_1 = -0,9; s_2 = -4,9; s_3 = -3,3$.

$D(s)$ aňlatmadan önüm alynsa, indiki görnüşde bolar:

$$D'(s) = 3s^2 + 18s + 23.$$

(2.4.5) formulanyň kömegi bilen $R(s)$ polinomyň koeffisiýentlerini kesgitläýäris we polinomy gutarnykly görnüşde ýazýarys:

$$R(s) = b_2s^2 + b_1s + b_0;$$

$$b_{n-1} = b_2 = a_0x_0 = 1 \cdot x_0;$$

$$b_{n-2} = b_1 = a_0x_0' + a_1x_0 = 1 \cdot 0 + 9 \cdot x_0 = 9 \cdot x_0;$$

$$b_{n-3} = b_0 = a_0x_0'' + a_0x_0' + a_1x_0 = 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 23 \cdot x_0 = 23 \cdot x_0.$$

Değişlilikde, $R(s)$ polinom indiki görnüşde bolar:

$$x_0s^2 + 9x_0s + 23x_0.$$

(2.4.8) formula boýunça funksiýanyň şekili aşakdaky ýaly bolar:

$$L[x(t)] = \frac{R(s)}{D(s)} = \frac{x_0s^2 + 9x_0s + 23x_0}{s^3 + 9s^2 + 23s + 14}.$$

Funksiýanyň hakyky bahasyny bolsa (2.4.11) deňleme boýunça tapýarys:

$$\begin{aligned} x(t) &= \sum_{k=1}^n \frac{R(s_k)}{D'(s_k)} \cdot e^{s_k t} = \frac{x_0 \cdot (-0,9)^2 + x_0 \cdot 9 \cdot (-0,9) + x_0 \cdot 23}{3 \cdot (-0,9)^2 + 18 \cdot (-0,9) + 23} \cdot e^{-0,9t} + \\ &+ \frac{x_0 \cdot (-4,9)^2 + x_0 \cdot 9 \cdot (-4,9) + x_0 \cdot 23}{3 \cdot (-4,9)^2 + 18 \cdot (-4,9) + 23} \cdot e^{-4,9t} + \frac{x_0 \cdot (-3,3)^2 + x_0 \cdot 9 \cdot (-3,3) + x_0 \cdot 23}{3 \cdot (-3,3)^2 + 18 \cdot (-3,3) + 23} \cdot e^{-3,3t} = \\ &= \frac{x_0(0,81 - 8,1 + 23)}{2,43 - 16,2 + 23} \cdot e^{-0,9t} + \frac{x_0(24 - 44 + 23)}{72 - 88 + 23} \cdot e^{-4,9t} + \frac{x_0(10,9 - 29,7 + 23)}{32,7 - 59,4 + 23} \cdot e^{-3,3t} = \\ &= 1,7x_0e^{-0,9t} + 0,43x_0e^{-4,9t} + 1,13x_0e^{-3,3t}. \end{aligned}$$

Şu ululyk hem görnüşli differensial deňlemäniň gözlenilýän integralydyr. $t = 0$ wagt pursadynda hem funksiýanyň nol şertlerde bahasyny alarys:

$$(e^{-0,9 \cdot 0} = e^0 = 1) \text{ onda: } x(0) = (1,7 + 0,43 + 1,13)x_0 = x_0.$$

Şeýle ýagdaý hem geçirilen hasaplamalaryň dogrulygyny tassyklaýar.

2.5. Kompleks kökleri bolan ýagdaýynda differensial deňlemeleriň integrirlenilişi

Eger-de häsiýetlendiriji deňleme diňe hakyky kökleri saklaman, eýsem baglanyşdyrylan–kompleks kökleri saklaýan bolsa, onda:

$$s_k = a + j\beta \text{ we } s_{k+1} = a - j\beta$$

bolar.

Onda bu ýagdaýda (2.4.11) aňlatma indiki görnüşde hem ýazylyp bilner:

$$\frac{R(s_k)}{D'(s_k)} = \sigma + j\omega \text{ we } \frac{R(s_{k+1})}{D'(s_{k+1})} = \sigma - j\omega. \quad (2.5.1)$$

Bu düzüjiler wektor formasynda aşakdaky ýaly ýazylyr:

$$\frac{R(s_k)}{D'(s_k)} = A \cdot e^{j\omega} \text{ we } \frac{R(s_{k+1})}{D'(s_{k+1})} = A \cdot e^{-j\omega}. \quad (2.5.2)$$

Şu ýerde amplituda $A = \sqrt{\sigma^2 + \omega^2}$ we $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega}{\sigma}$ faza bolsa, onda (2.4.11) görnüşli jemiň düzümünde indiki düzüjiler bolar:

$$\begin{aligned} A \cdot e^{j\omega} \cdot e^{(\sigma + j\beta)t} + A \cdot e^{-j\omega} \cdot e^{(\sigma - j\beta)t} &= A \cdot e^{\sigma t} \left[e^{j(\beta t + \varphi)} + e^{-j(\beta t + \varphi)} \right] = \\ &= 2A \cdot e^{\sigma t} \cos(\beta t + \varphi). \end{aligned} \quad (2.5.3)$$

4-nji gönükme. Sazlanylýan ulgamyň differensial deňlemesi berlen:

$$3,76 \frac{d^3 x}{dt^3} + 12,83 \frac{d^2 x}{dt^2} + 11,16 \frac{dx}{dt} + 11 = 0 \quad (2.5.4)$$

sazlanylýan ulgam oýandyryjy signaly berilmezinden öň durnukly ýagdaýda işleýär, ýagny başlangyç şertler aşakdaky ýalydyr:

$$t = 0; x = x_0 = \text{const}; x' = x = 0$$

(2.5.4) deňlemäni Laplasyň özgertmesiniň kömegi bilen integrirlemek talap edilýär.

Çözülişi.

Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi indiki görnüşde bolýar:

$$D(s) = 3,76s^3 + 12,83s^2 + 11,16s + 11 = 0.$$

Bu deňlemäniň çözülişi Kardananyň formulasy bilen amala aşyrylýar. Deňlemäniň üç sany köki bolup, olaryň ikisi baglanyşdyrylan–kompleks görnüşinde bolýar, ýagny:

$$s_1 = -2,714;$$

$$s_2 = -0,3485 + j0,9783;$$

$$s_3 = -0,3485 - j0,9783.$$

(2.4.4) polinom üçin (2.4.5) formula boýunça b koeffisiýentleriň bahalaryny tapýarys:

$$b_{n-1} = b_2 = a_0 x_0 = 3,76x_0;$$

$$b_{n-2} = b_1 = a_0 x_0' + a_1 x_0 = 12,83x_0;$$

$$b_{n-3} = b_0 = a_0 x_0'' + a_1 x_0' + a_2 x_0 = 11,16x_0.$$

Onda (2.4.4) polinom indiki görnüşini alar:

$$R(s) = 3,76x_0 s^2 + 12,83x_0 s + 11,16x_0. \quad (2.5.6)$$

(2.4.6) polinom bolsa aşakdaky görnüşe geler:

$$D(s) = 3,76s^3 + 12,83s^2 + 11,16s + 11.$$

Onuň önümi hem

$$D'(s) = 3 \cdot 3,76s^2 + 2 \cdot 12,83s + 11,16 = 11,28s^2 + 25,66s + 11,16. \quad (2.5.7)$$

(2.4.8) formula boýunça $x(t)$ funksiýa üçin şekilini tapýarys:

$$L[x(t)] = \frac{R(s)}{D(s)} = \frac{3,76x_0 s^2 + 12,83x_0 s + 11,16x_0}{3,76s^3 + 12,83s^2 + 11,16s + 11}.$$

Bu ýagdaý bolsa, ýokarda bellenenip geçilişi ýaly, geçiş hadysasyna gabat gelýär. $x(t)$ -funksiýanyň original bahasyny bolsa (2.4.11) deňleme boýunça tapýarys:

1. $s_1 = -2,714$ köke gabat gelýän brinji düzüjini kesgitleýäris.

$$\begin{aligned} \frac{R(s_1)}{D'(s_1)} \cdot e^{s_1 t} &= \frac{3,76x_0(-2,714)^2 + 12,83x_0(-2,714) + 11,16x_0}{11,28(-2,714)^2 + 25,66(-2,714) + 11,16} \cdot e^{-2,714t} = \\ &= \frac{x_0(27,7 - 34,8 + 11,16)}{83,1 - 69,6 + 11,16} \cdot e^{-2,714t} = \frac{x_0 \cdot 4}{24,7} \cdot e^{-2,714t} = 0,163 \cdot x_0 e^{-2,714t}. \end{aligned}$$

$s_2 = -0,3485 + j0,9783$; $s_3 = -0,3485 - j0,9783$. görnüşli baglanyşdyrylan – kompleks köklere degişli düzüjleri kesgitleýäris. Hereketiň amplitudasyny we fazasyny kesgitlemek üçin kompleks kökleriň kömegi bilen (2.5.1) kompleksleriň σ we ω ululyklaryny kesgitleýäris:

Mysal üçin, $s_2 = -0,3485 + j0,9783$ kök üçin hasaplama geçirýäris:

$$\begin{aligned} \frac{R(s_2)}{D'(s_2)} &= \frac{3,76x_0(-0,3485 + j0,9783)^2 + 12,83x_0(-0,3485 + j0,9783) + 11,16x_0}{11,28(-0,3485 + j0,9783)^2 + 25,66(-0,3485 + j0,9783) + 11,16} = \\ &= x_0 \frac{-3,14 - j2,56 - 4,47 + j12,55 + 11,16}{-9,43 - j7,69 - 8,94 + j25,1 + 11,16} = x_0 \frac{3,55 + j9,99}{-7,21 + j17,4} = x_0 \frac{-3,55 - j9,99}{7,21 - j17,4} = \\ &= x_0 \frac{(-3,55 - j9,99) \cdot (7,21 + j17,4)}{(7,21 - j17,4) \cdot (7,21 + j17,4)} = x_0 \frac{-25,6 - j61,8 - j72 + 172}{7,21^2 + 17,4^2} = x_0 \frac{148 - j134}{52 + 303} = \\ &= x_0 \frac{148 - j134}{355} = x_0(0,417 - j0,377) = \sigma - j\omega. \end{aligned}$$

Bu ýerden hem $\sigma = 0,417x_0$; we $\omega = 0,377x_0$ gelip çykyar.

Onda amplituda:

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{\sigma^2 + \omega^2} = \sqrt{x_0^2 \cdot 0,417^2 + x_0^2 \cdot 0,377^2} = x_0 \sqrt{0,417^2 + 0,377^2} = \\ &= x_0 \sqrt{0,174 + 0,142} = x_0 \sqrt{0,316} = x_0 \cdot 0,562. \end{aligned}$$

Hereketiň fazasy:

$$\varphi = \arctg \frac{\omega}{\sigma} = \arctg \frac{0,377}{0,417} = \arctg 0,90, \text{ ýagny}$$

$$\text{tg}\varphi = 0,90; \varphi \approx 42^\circ; \text{ýa-da } \varphi = \frac{180^\circ \cdot a}{\pi} =$$

$$= \frac{180^\circ \cdot 42^\circ}{3,14} = \frac{42^\circ}{57,3} = 0,73 \text{ rad.}$$

Şu ýagdaýda (2.5.3) düzüji indiki görnüşi alar:

$$\begin{aligned} 2A \cdot e^{\alpha t} \cos(\beta t + \varphi) &= 2 \cdot x_0 \cdot 0,562 \cdot e^{-0,3485t} \cos(0,9783t + 0,73) = \\ &= 1,124 \cdot x_0 \cdot e^{-0,3485t} \cos(0,9783t + 0,73). \end{aligned}$$

Onda gözlenilýän $x(t)$ -funksiýa (2.4.11) deňleme boýunça indiki görnüşde bolar:

$$x(t) = 0,163 \cdot x_0 \cdot e^{-2,714t} + 1,124 \cdot x_0 \cdot e^{-0,3485t} \cdot \cos(0,9783t + 0,73).$$

Bu bolsa (2.5.4) görnüşli differensial deňlemäniň integraly bolup durýar. Başlangyç ($t = 0$) şertlerde haçan-da $\cos 0,73 = 0,7451$ rad bolanda alarys:

$$\begin{aligned} x(0) &= 0,163 \cdot x_0 + 1,124 \cdot x_0 \cdot \cos 0,73 \approx 0,163 \cdot x_0 + 1,124 x_0 \cdot 0,7451 = \\ &= 0,163 \cdot x_0 + 0,837 x_0 = 1,000 \cdot x_0 = x_0, \end{aligned}$$

ýagny geçirilen hasaplamalaryň takyklygy ýeterlik derejede ýokarydyr.

2.6. Kub deňlemeleriň çözülişi

Üçünji derejeli deňlemeler çözülende, ilki bilen, olary köpeldijilere dargatmak arkaly çözülmäge synanyşylýar. Haçan-da bu ýagdaýa mümkinçilik dörese, onda çözmek meselesi ýeňilleşýär. Haçan-da ýokarda agzalan ýagdaýlary ýerine ýetirmek mümkinçiligi döremese, onda deňleme çözmegiň has çylşyrymly görnüşleri ulanylýar. Olaryň birisini aşakda getirip görkezýäris:

5-nji gönükm. Üçünji tertipli deňleme berlen bolsun:

$$a_0 \cdot s^3 + a_1 \cdot s^2 + a_2 \cdot s + a_3 = 0.$$

Bu ýerde $a_0 = 3,76$; $a_1 = 12,83$; $a_2 = 11,16$; $a_3 = 11$, onda:

$$3,76 \cdot s^3 + 12,83 \cdot s^2 + 11,16 \cdot s + 11 = 0. \quad (2.5.8)$$

Şu deňlemäniň köklerini tapmak talap edilýär.

Çözülişi.

Umumy görnüşde üçünji tertipli deňleme aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0.$$

Deňlemäni a ululyga bölüp, x ululygynyň ýerine bolsa täze üýtgeýän $y = x + \frac{b}{3a}$ ululygy girizip ýazarys:

$$y^3 + 3\alpha y + 2\beta = 0. \quad (2.5.9)$$

Bu ýerde

$$3\alpha = \frac{3ac - b^2}{3a^2} \text{ we } 2\beta = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a}.$$

(2.5.9) deňlemäni çözmek üçin Kardananyň düzgünnamasyny ulanmak mümkindir. Düzgünnama laýyklykda, deňlemäniň kökleri aşakdaky ýaly hasaplanylýar:

$$y_1 = u + \vartheta; y_2 = \varepsilon_1 u + \varepsilon_2 \vartheta; y_3 = \varepsilon_2 u + \varepsilon_1 \vartheta. \quad (2.5.10)$$

$$u = \sqrt{-\beta + \sqrt{\beta^2 + \alpha^3}}; \quad \vartheta = \sqrt{-\beta - \sqrt{\beta^2 + \alpha^3}};$$

$$\varepsilon_1 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \varepsilon_2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Şu ýerde (2.5.8) deňlemäniň koeffisiýentleri indiki bahalary saklaýan bolsun:

$$a = a_0 = 3,76;$$

$$b = a_1 = 12,83;$$

$$c = a_2 = 11,16;$$

$$d = a_3 = 11.$$

Onda köpeldijiler aşakdaky ýaly hasaplanylýar:

$$3\alpha \frac{3ac - b^2}{3a^2} = \frac{3 \cdot 3,76 \cdot 11,16 - 12,83^2}{3 \cdot 3,76^2} = \frac{125,9 - 164,6}{3 \cdot 14,14} = -\frac{38,7}{42,4} = -0,912.$$

Bu ýerden:

$$\alpha = -\frac{0,912}{3} = -0,304$$

gelip çykýar.

$$2\beta = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a} = \frac{2 \cdot 12,83^3}{27 \cdot 3,76^3} - \frac{12,83 \cdot 11,16}{3 \cdot 3,76^2} + \frac{11}{3,76} = \frac{2 \cdot 2112}{27 \cdot 53,16} - \frac{12,83 \cdot 11,16}{3 \cdot 14,14} + \frac{11}{3,76} = \frac{4224}{1435} - \frac{143,2}{42,4} + \frac{11}{3,76} = 2,94 - 3,38 + 2,93 = 2,49.$$

Bu ýerden hem

$$\beta = \frac{2,49}{2} = 1,245$$

gelip çykýar.

Indi bolsa u we ϑ ululyklary kesgitleýäris:

$$u = \sqrt[3]{-\beta + \sqrt{\beta^2 + \alpha^3}} = \sqrt[3]{-1,245 + \sqrt{1,245^2 + (-0,304)^3}} = \sqrt[3]{-1,245 + \sqrt{1,55 - 0,028}} = \sqrt[3]{-1,245 + \sqrt{1,522}} = \sqrt[3]{-1,245 + 1,234} = \sqrt[3]{-0,011} = -0,223;$$

$$\vartheta = \sqrt[3]{-\beta - \sqrt{\beta^2 + \alpha^3}} = \sqrt[3]{-1,245 - 1,234} = \sqrt[3]{-2,479} = -1,345.$$

(2.5.9) deňleme görnüşli kömekçi deňlemäniň kökleri (2.5.10) deňleme boýunça indiki bahalara eýe bolar:

$$y_1 = u + \vartheta = -0,223 - 1,354 = -1,577;$$

$$y_2 = \varepsilon_1 u + \varepsilon_2 \vartheta = \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-0,223) + \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-1,354) = 0,7885 + j0,9783;$$

$$y_3 = \varepsilon_2 u + \varepsilon_1 \vartheta = \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-0,223) + \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-1,354) = 0,7885 - j0,9783.$$

Indi bolsa üýtgeýän ululyk bolan y -den başlangyç üýtgeýän ululyk bolan x -e gaýdyp gelesiň. Täze üýtgeýän ululygyň girizme şertinden alarys:

$$y = x + \frac{b}{3a}; \Rightarrow x = y - \frac{b}{3a}.$$

Onda:

$$x_1 = y_1 - \frac{b}{3a} = -1,577 - \frac{12,83}{3 \cdot 3,76} = -2,714;$$

$$x_2 = y_2 - \frac{b}{3a} = 0,7885 + j0,9783 - 1,137 = -0,3485 + j0,9783;$$

$$x_3 = y_3 - \frac{b}{3a} = 0,7885 - j0,9783 - 1,137 = -0,3485 - j0,9783.$$

(2.5.8) deňlemede berlen üýtgeýän ululygyň belgilenilişine geçip alarys:

$$s_1 = -2,714;$$

$$s_2 = -0,3485 + j,9783;$$

$$s_2 = -0,3485 - j,9783.$$

Alnan kökleriň bahalarynyň dogrulygyny (2.5.8) deňlemede yzygiderlikde goýup ýa-da kub deňlemeleriniň kökleriniň häsiýeti üçin belli bolan aňlatma goýup barlap bolýandyr.

$$1) s_1 + s_2 + s_3 = -\frac{a_1}{a_0};$$

$$2) \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} = -\frac{a_2}{a_0};$$

$$3) s_1 \cdot s_2 \cdot s_3 = -\frac{a_3}{a_0}.$$

Hemme ýagdaýlarda toždestwo emele gelmeli.

2.7. Geçirijilik funksiýalary

Geçirijilik funksiýalaryny sazlanýýan we oýandyryjy täsirleri berilýän kanallar boýunça tapawutlandyrmak ýerlikli bolýar. **Sazlaýjy täsiri berilýän kanal boýunça geçirijilik funksiýasy** diýlip başlangyç nol şertlerde çykyş ululygynyň şekiliniň giriş ululygynyň şekiline gatnaşygyna düşünilýär, ýagny:

$$W(s) = \frac{X_{\text{çyk}}(s)}{X_{\text{gir}}(s)}. \quad (2.7.1)$$

Oýandyryjy täsiri berilýän kanal boýunça geçirijilik funksiýasy diýlip başlangyç nol şertlerde çykyş ululygynyň şekiliniň oýandyryjy täsiriň şekiline gatnaşygyna düşünilýär, ýagny:

$$W^f(s) = \frac{X_{\text{çyk}}(s)}{X_{\text{gir}}(s)}. \quad (2.7.2)$$

Geçirijilik funksiýasyny almak üçin:

$$\begin{aligned} a_0 \frac{d^n x_{\text{çyk}}(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x_{\text{çyk}}(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x_{\text{çyk}}(t) &= b_0 \frac{d^m x_{\text{gir}}(t)}{dt^m} + \\ + b_1 \frac{d^{m-1} x_{\text{gir}}(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x_{\text{gir}}(t) &+ c_0 \frac{d^r f(t)}{dt^r} + c_1 \frac{d^{r-1} f(t)}{dt^{r-1}} + \dots + c_r f(t) \end{aligned}$$

görnüşli differensial deňlemäni operator formada ýazýarys.

Bu ýerde:

$a_0, a_1, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m, c_0, c_1, \dots, c_r$ – hemişelik koeffisiýentler;

$x_{\text{gir}}(t), x_{\text{çyk}}(t), f(t)$ – degişlilikde, giriş we çykyş ululyklarynyň hem-de oýandyryjy täsiriň bahalary.

Onda:

$$\begin{aligned} (a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n) x_{\text{çyk}}(s) &= \\ = (b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m) x_{\text{gir}}(s) &+ \dots + (c_0 s^r + c_r) F(s). \end{aligned} \quad (2.7.3)$$

Çykyş, giriş we oýandyryjy täsirleriň ululyklarynyň öňünde durýan polinomlary $d(s)$; $k(s)$ we $g(s)$ ululyklary bilen belgileýäris hem-de olary, degişlilikde:

$d(s)$ – hususy operator;

$k(s)$ – giriş operatory;

$g(s)$ – oýandyryjy täsiri girizme operatory diýip atlandyrylarys.

Onda (2.7.3) deňleme indiki görnüşini alar:

$$d(s) \cdot x_{\text{çyk}}(s) = k(s) \cdot x_{\text{gir}}(s) + g(s) \cdot F(s). \quad (2.7.4)$$

(2.7.4) aňlatmadan geçirijilik funksiýalaryny degişli kanallary boýunça taparys:

1. Sazlanylýan kanal boýunça:

$$W(s) = \frac{x_{\text{çyk}}(s)}{x_{\text{gir}}(s)} = \frac{k(s)}{d(s)}. \quad (2.7.5)$$

2. Oýandyryjy täsiriň kanaly boýunça:

$$W^f(s) = \frac{x_{\text{çyk}}(s)}{x_{\text{gir}}(s)} = \frac{g(s)}{d(s)}. \quad (2.7.6)$$

Şu ýerde bellemeli zatlaryň biri – ol hem durnuklaşan düzgünde giriş ululygy bilen çykyş ululygynyň arasyndaky baglanyşygy amala aşyrylan güýçlendirijilik koeffisiýentinden tapawutlylykda geçirijilik funksiýasy durnuksyz düzgünde hem bu ululyklaryň arasyndaky arabaglanyşygy görkezip bilýär.

2.8. Ýygylýk häsiýetnamalary

Eger-de gönüçyzykly ulgamyň girişine

$$x_{\text{gir}}(t) = A_{\text{gir}} \sin \omega t \quad (2.8.1)$$

görnüşli oýandyryjy täsir berilse, onda onuň çykyşynda käbir wagt geçenden soňra şol ýygylýkly we başga amplitudaly hem-de giriş yrgyldysyna oňositellikde fazasy boýunça süýşürilen garmoniki yrgyldy peýda bolar, ýagny:

$$x_{\text{çyk}}(t) = A_{\text{çyk}} \sin(\omega t + \varphi). \quad (2.8.2)$$

Bu ýerde:

A_{gir} – giriş yrgyldylarynyň amplitudasy;

ω – burç ýygylýgy;

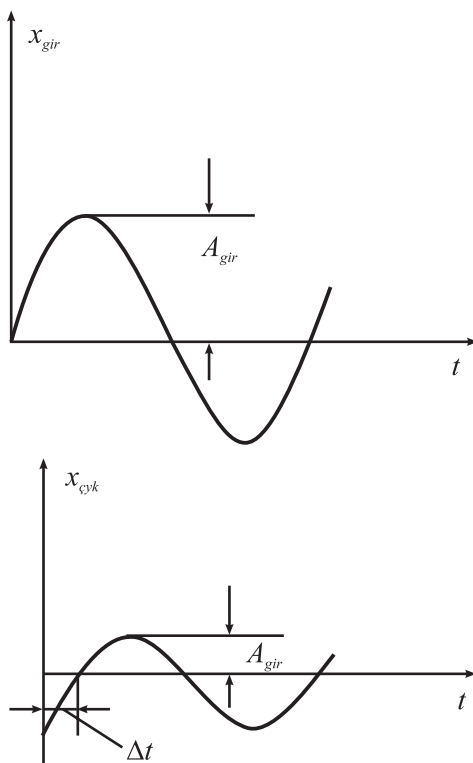
φ – faza süýşmesi.

$A_{\text{çyk}}$; φ – çykyş amplituda we fazalaryň süýşme burçy dolandyryjy ulgamyň dinamiki häsiýetnamasy bilen kesgitlenilýär, şeýle hem olar giriş yrgyldylarynyň ýygylýgyna we amplitudasyna bagly bolýarlar. Giriş we çykyş garmoniki yrgyldylaryň ululyklaryny kompleks formada göz öňüne getireliň:

$$x_{gir} = A_{gir} e^{j\omega t}. \quad (2.8.3)$$

$$x_{cyk} = A_{cyk} e^{j(\omega t + \varphi)}. \quad (2.8.4)$$

$$W(j\omega) = \frac{x_{cyk}}{x_{gir}} = \frac{A_{cyk} e^{j(\omega t + \varphi)}}{A_{gir} e^{j\omega t}} = \frac{A_{cyk}}{A_{gir}} \cdot \frac{e^{j\omega t} \cdot e^{j\varphi}}{e^{j\omega t}} = \frac{A_{cyk}}{A_{gir}} \cdot e^{j\varphi}. \quad (2.8.5)$$



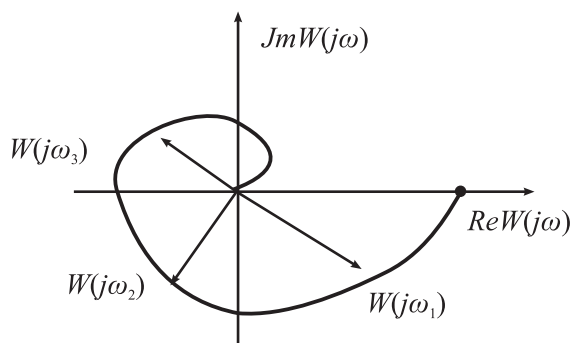
2.8.1-nji çyzgy. Yrgyldyly ulgamyň ýgylyk häsiýetnamasy

Alnan aňlatmamyz wektor ululyk bolup durýar. Onuň moduly çykyş we giriş yrgyldylarynyň amplitudalarynyň gatnaşygyna, fazasy bolsa giriş we çykyş yrgyldylarynyň fazalarynyň arasyndaky süýşme burça deňdir. Burç ýgylygy bolan ω -nyň bahasynyň 0-dan ∞ -e çenli üýtgemesinde kompleks tekizlikde agzalýan wektoryň ahyry bilen çyzylýan egri çyzyga **amplituda-faza häsiýetnamasy** diýilýär.

Amplituda faza häsiýetnamasynyň takmynan görnüşi 2.8.2-nji çyzgyda getirilip görkezilen.

Amplituda-faza häsiýetnamasy amplituda-ýgylyk we faza-ýgylyk häsiýetnamalarynyň esasynda hem gurlup bilner.

Amplituda-ýgylyk häsiýetnamasy diýlip çykyş yrgyldysynyň amplitudasyynyň giriş yrgyldysynyň amplitudasyna gatnaşygynyň ýgylyga baglylygyna düşünilýär.



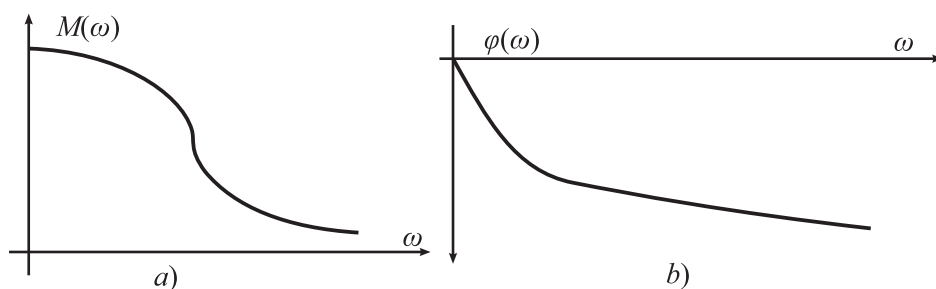
2.8.2-nji çyzgy. Ulgamyň amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy

$$M(\omega) = \frac{A_{çyk}}{A_{gir}}. \quad (2.8.6)$$

$\varphi(\omega)$ görnüşli faza-ýygylýk häsiýetnamasy diýlip hem giriş we çykyş ygylýdylarynyň faza süýşmesiniň ýygylýga baglylygyna düşünilýär. (2.8.3-nji (b) çyzgy).

Ýygylýk häsiýetnamalary gurlanda we olar çylşyrymly ulgamlaryň seljermesi we sintezi üçin ulanylanda käbir ýagdaýlarda olaryň gurluşyny has hem ýeňilleşdirmek üçin logarifmiki ýygylýk häsiýetnamalary hem ulanylýar. Olar ulgamyň amplituda faza häsiýetnamasynyň deňlemesinden alnyp bilner, ýöne ol deňlemeler görkezijili görnüşde ýazylan bolmalydyr.

$$W(j\omega) = M(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}. \quad (2.8.7)$$



2.8.3-nji çyzgy. Ulgamyň amplituda-ýygylýk we faza-ýygylýk häsiýetnamalary

Analitiki ýagdaýda hem amplituda-faza häsiýetnamasy geçirijilik funksiýasynyň hususy bölegi görnüşinde kesgitlenilip bilner. Bu ýerde şert $s = j\omega$.

$$W(j\omega) = \frac{X_{çyk}(j\omega)}{X_{gir}(j\omega)} = \frac{k(j\omega)}{d(j\omega)}. \quad (2.8.8)$$

Logarifmiki häsiýetnamalary almak üçin (2.8.7) aňlatmany logarifmirleýäris:

$$\ln W(j\omega) = \ln M(\omega) + j\varphi(\omega). \quad (2.8.9)$$

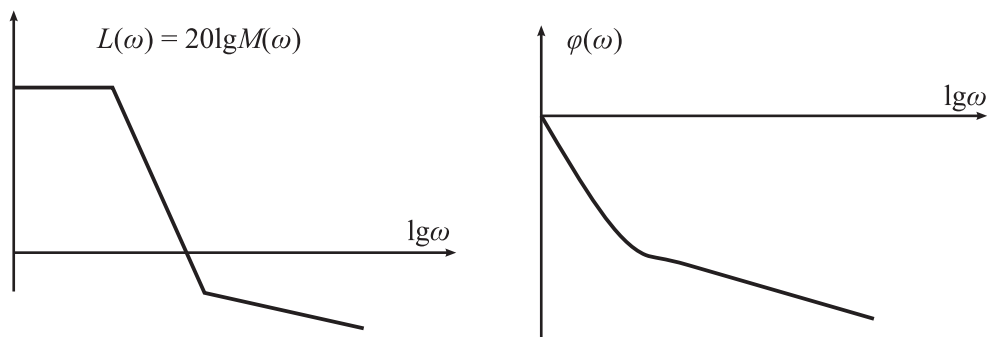
(2.8.9) aňlatmanyň sag tarapynyň esasynda logarifmiki ölçegde gurlan grafiker, deňşililikde, **logarifmiki amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy (LAÝH)** we **logarifmiki faza-ýygylýk häsiýetnamasy (LFÝH)** diýen ady göterýärler:

Adatça, LAÝH gurlanda $\ln M(\omega)$ derek $L(\omega) = 20 \lg M(\omega)$ funksiýa seredilip geçilýär. Ol funksiýanyň ölçeg birligi **desibel**.

LFÝH gurlanda fazanyň ululygy natural ölçegde goýulýar. **Ýygylýk interwallarynyň ölçeg ululygy** diýlip logarifmiki ölçegdäki *oktawa* we *dekada* kabul edilýär.

Oktawa diýlip ýygylýgyň biri-birinden iki gezek tapawutlanýan interwalyna düşünilýär, ýagny:

$$1 \text{ oktawa} = \lg \frac{2\omega}{\omega} = \lg 2.$$



2.8.4-nji çyzgy. Ulgamyň LAÝ we LFÝ häsiýetnamalary

Dekada diýlip ýygylýgyň biri-birinden 10 gezek tapawutlanýan interwalyna düşünilýär.

$$1 \text{ dekada} = \lg \frac{10\omega}{\omega} = \lg 10 = 1.$$

2.9. Gönüçzykly ulgamlaryň dinamiki geçiş häsiýetnamalary

Gönüçzykly ulgamlaryň aýratyn tapawutlanýan häsiýetleriniň biri-de seredilýän ulgamlaryň özüni alyp barşy çyzykly deňlemeler bilen ýazylýar. Başga kesgitleme hem bermek mümkindir, ýagny *üstüne goýma prinsipini* ulanyp bolýan

bolsa, onda şeýle ulgamlara **çyzykly ulgamlar** diýilýär. *Üstüne goýma prinsipiniň* manysy indikilerden durýar.

Goý, ulgamyň girişine $x_1(t), x_2(t), \dots, x_l(t)$ görnüşli birnäçe dürli agramly täsirleriň jemine deň bolan $x(t)$ täsir berlen bolsun:

$$x(t) = \sum_{k=1}^l a_k x_k(t). \quad (2.9.1)$$

Bu ýerde a_k – hemişelik koeffisiýent.

Bu koeffisiýentiň netijesinde hem ulgamyň çykyş ululygy bolan $y(t)$ ululygyň käbir üýtgemeleri bolup geçýär. Bu üýtgame hem **ulgamyň $x(t)$ görnüşli giriş täsirine bolan reaksiýasy** diýlip atlandyrylýar.

Eger-de bu ulgamyň $x_1(t), x_2(t), \dots, x_l(t)$ görnüşli täsirleri aýry-aýrylykda berlen bolsa, onda ulgam hem olaryň hersine aýratynlykda özüniň $y_1(t), y_2(t), \dots, y_l(t)$ görnüşli reaksiýasy bilen jogap bererdi. Şu reaksiýalardan hem $x(t)$ görnüşli funksiýanyň çyzykly funksiýasy ýaly funksiýa düzülýär, ýagny:

$$y(t) = \sum_{k=1}^l a_k y_k(t). \quad (2.9.2)$$

Eger-de netije deň bolsa, ýagny ulgamyň giriş täsirleriniň çekilen jemine bolan reaksiýasy bilen ulgamyň her bir täsire aýratynlykda beren reaksiýalarynyň jemi deň bolsa, onda ulgam çyzykly görnüşde bolýar. *Üstüne goýma prinsipiniň* çyzykly ulgamlarda ulanylmagyny özleşdirmek üçin differensial deňlemeler usulyndan tapawutly usullary ulanmaga giň mümkinçilikler açylýar. Bu usullaryň manysy özleşdirilýän ulgamyň häsiýetleriniň ol ýa-da beýleki *dinamiki häsiýetnamalar* bilen ýazylyp bilinmegidir, ýagny käbir *tipleýin giriş täsirlerini* ulgamyň reaksiýasyny kesgitleýän häsiýetnamalar bilen ýazyp bolýar.

Tipleýin täsirleriň seçilip alnyşy indiki görnüşde ýerine ýetirilýär, ýagny ulgam ulanylýan wagtynda oňa täsir edýän islendik mümkin bolan täsir şu tipleýin täsirleriň çekilen jemi görnüşinde teklipl edilip bilinmelidir. Onda degişli dinamiki häsiýetnamalaryň mümkinçiliginden peýdalanyp we üstüne goýma prinsipi hem ulanyp, ulgam ulanylan wagtynda onuň gabat geljek islendik täsire bolan reaksiýasyny kesgitlep bolar. Tipleýin täsirler görnüşinde birlik basgançak funksiýasy bilen ýazylyýan birlik görnüşli *basgançakly, delta-funksiýa* bilen ýazylyýan birlik görnüşli impulsly we birlik amplitudaly garmoniki yrgyldyrlar ulanylýar.

Birlik basgançak funksiýasy indiki formula bilen kesgitlenilýär:

$$x(t) = 1(t) = \begin{cases} 1 & \text{haçan-da } t > 0; \\ 0 & \text{haçan-da } t < 0. \end{cases} \quad (2.9.3)$$

Ulgamyň birlik görnüşli giriş täsirine berýän reaksiýasyna onuň **geçiş häsiýetnamasy** diýilýär we $h(t)$ bilen belgilenilýär.

Ulgamyň geçiş häsiýetnamasyny synag-derňew ýoly bilen hem almak mümkin. Munuň üçin özleşdirilýän ulgamy deňagramly ýagdaýda goýmaly, basgançak görnüşli täsiri bermeli hem-de çykyş ululygynyň üýtgeýişiniň grafigini ýazga geçirmeli. Geçiş häsiýetnamalarynyň diňe bir hasaplamalaryň üsti bilen däl-de, eýsem synag-derňew ýoly bilen hem kesgitlemegiň mümkinligini inženerçilk amalyýetiniň wajyp aýratynlygy diýip belläp bolar. Birlik görnüşli basgançakly funksiýanyň önümüne **delta-funksiýa** diýilýär.

$$\delta(t) = 1'(t) = \begin{cases} 0 & \text{haçan-da } t \neq 0; \\ \infty & \text{haçan-da } t = 0; \end{cases} \quad (2.9.4)$$

Delta-funksiýany dolulygyna ýazyp beýan etmek üçin indiki gatnaşygy hem goşmalydyr:

$$\int_{-t_0}^{t_0} \delta(t) dt = 1. \quad (2.9.5)$$

Bu ýerde t_0 – islendik položitel san.

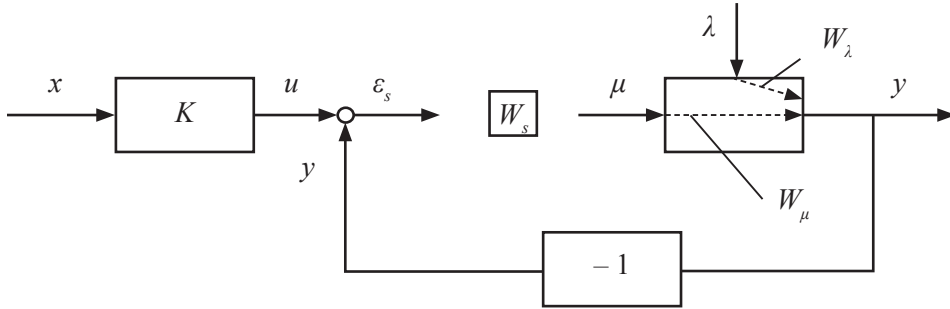
Şeýlelikde, delta-funksiýany $t = 0$, wagt pursadynda ýüze çykýan tükeniksiz gysga, yöne uly amplitudaly impuls görnüşinde göz önüne getirip bolar. Onuň grafiginiň aşagyndaky meýdanyň ululygy 1-e deňdir.

III BAP DOLANDYRYLYÁN ULGAMLARYŇ DÜZÜM SHEMALARY

3.1. Ulgamlaryň algoritmiki düzümleri we olaryň elementar halkalary

Dolandyrylýan ulgamlar özleşdirilende olaryň aýratyn elementlerinde signalaryň özgerdilişiniň häsiýeti birinji derejeli ähmiýete eýe bolýar. Şeýle alamatlar boýunça gurnalan düzüm shemalary *algoritmli strukturalar*, şol düzümleriň elementleri bolsa *halkalar* diýlip atlandyrylýar. Funksional düzüm shemalary ýaly algoritmli düzümler hem, adaty, desga-shemalar görnüşinde, ýagny her bir halka gönüburçluk (blok), giriş we çykyş ululyklary bolsa peýkamlar (strelkalar) bilen şekillendirilýär. Desganyň içine signalyň özgerdilişiniň algoritminiň simwoly girizilýär. Eger-de bir desgada birnäçe signal özleşdirilýän bolsa, onda degişli kanallar ştrihlenen peýkamlar bilen bellenilýär. Töwerek görnüşinde bolsa signallar jemleýji gurluş şekillendirilýär. Şu ýerde mundan beýläk hemme düzüjiler öz alamatla-

ry bilen alynýar diýlip kabul edilýär. Mysal hökmünde 1.2-nji çyzygyda getirilen funksional düzümine gabat gelýän 3.1-nji çyzygyda görkezilen dolandyrylýan ulgamyň algoritimli düzümini getirmek bolar.



3.1-nji çyzygy. Dolandyrylýan ulgamyň algoritimli düzümi

Görşümüz ýaly, seredilýän ýagdaýda iki desga shemalaryň arasyndaky aratapawut diňe bloklaryň adynyň bellenilişinde bardyr. Eger-de 1.2-nji çyzygyda desgalar (BB-buýruk beriji, S – sazlaýjy we D – desga) bilen belgilenilen bolsa, olar bu ýerde geçirijilik funksiýalary bilen häsiýetlendirilýär: $W_\lambda(s)$ – obýektiň geçirijilik funksiýasy. Şu funksiýa laýyklykda hem oýandyryjy täsir $y(t)$ dolandyrylýan ululyga täsir edýär. $W_\mu(s)$ obýektiň geçirijilik funksiýasy sazlaýjy täsiriň dolandyryjy ululygyna edýän täsirini kesgitleýär. $K(s)$ – dolandyrmak üçin buýruk beriji desganyň geçirijilik funksiýasy. Ol $x(t)$ ululyk bolmaly bahany beriji täsiriň üýtgedilen ýagdaýynda ulgamyň içinde sazlamanyň üýtgemesi bolan $u(t)$ ululygy kesgitleýär. Ulgam düzüjilere – halkalara bölünende *täsirleriň birugra gönükdirilme düzgüni* saklanlymagy hökmandyr. Bu ýagdaý bolsa ulgamyň islendik halkasynyň çykyş ululygynyň onuň giriş ululygynyň üýtgemesine baglydygyny görkezýär, ýöne gönüden-göni seredilýän halkanyň çykyş ululygy ulgamyň giriş ululygyna täsir etmeli däldir. Ulgamyň çykyş ululygynyň giriş ululygyna täsir etmegi bolsa hökmandyr. Bu düzgünnamanyň ýerine ýetirilmedik ýagdaýynda bolsa düzüm shemalarynyň ulanylmagynyň manysy ýitýär. Halkalaryň dürli-dürli görnüşleriniň içinde elementar halkalar aýratyn üns berilmäge mynasypdyrlar. Olar birinji tertipli differensial deňlemeler bilen ýazylýar, sebäbi şeýle halkalardan köp ýagdaýlarda dolandyrylýan ulgamlaryň matematiki modelleri düzülýär.

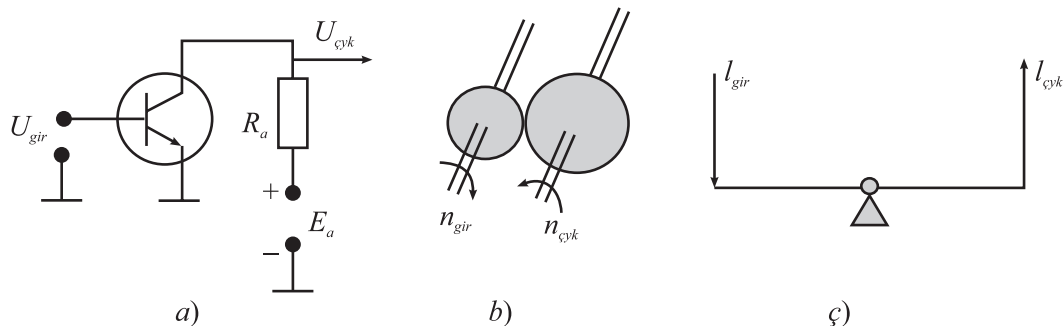
3.2. Güýçlendiriji (inersiýasyz) halka

Güýçlendiriji ýa-da **inersiýasyz** diýlip ýönekeý dinamiki ulgama düşünilýär. Onuň häsiýeti indiki görnüşdäki deňleme bilen ýazylýar:

$$y(t) = k \cdot x(t). \quad (3.1)$$

Bu ýerde k – halkanyň güýçlendirijilik koeffisiýenti.

Şeýle deňlemeler bilen çyzykly häsiýetnamaly klapanlar ýazylýar. Suwuklygyň mukdarynyň üýtgemesi klapanyň ştogunyň ýagdaýynyň üýtgemesiniň derejesine proporsionaldyr. Hidrawliki sazlaýjydaki öwranlaýyn baglanyşygyň pružininiň garşylyk güýji deformasiýa derejesine proporsionaldyr. (3.1) deňleme önüm saklamaýar. Bu ýerden hem güýçlendiriji deňlemäniň üçünji nol tertipli halka ady gelip çykýar. Güýçlendiriji halka mysal bolup bipolar tranzistorda ýygynalan *güýçlendiriji kaskad, reduktor, ryçag birleşmesi* we ş.m. (3.2-nji çyzgy.) gulluk edýär.

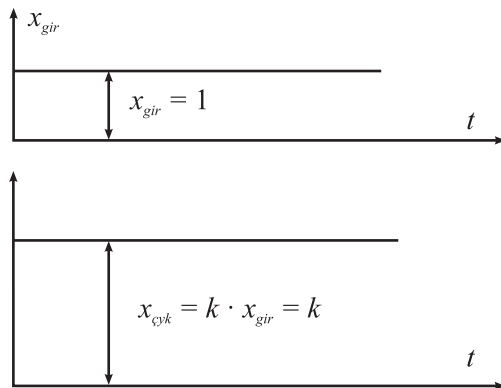


3.2-nji çyzgy. Güýçlendiriji halka mysallar

Güýçlendiriji halkanyň geçirijilik funksiýasy aşadaky ýaly bolar:

$$W(s) = \frac{X_{cyk}(s)}{X_{gir}(s)} = k. \quad (3.2)$$

(3.1.) deňlemeden gelip çykyşly nol tertipli halka giriş ululygyny öz üstünden hiç hili özgermän geçirip, diňe onuň ölçegini k gezek üýtgedýär (3.3-nji çyzgy).



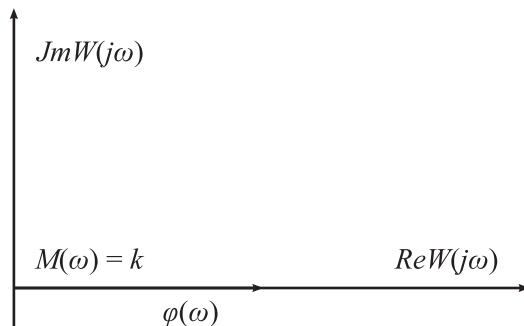
3.3-nji çyzgy. Güýçlendiriji halkanyň wagt häsiýetnamasy

Amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesi indiki görnüşde ýazylýar:

$$W(j\omega) = k = k \cdot e^{j0}. \quad (3.3)$$

Şu ýagdaýda modul $M(\omega) = k$; faza $\varphi(\omega) = 0$ amplituda-faza häsiýetnamalary ýygylýga bagly bolmaýar.

Amplituda-faza häsiýetnamasynyň godografy hakyky položitel ýarymoka gabat gelýän koordinatalar başlangyjyndan başlap uzynlygy k deň bolan wektordyr (3.4-nji çyzgy).



3.4-nji çyzgy. Güýçlendiriji halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy

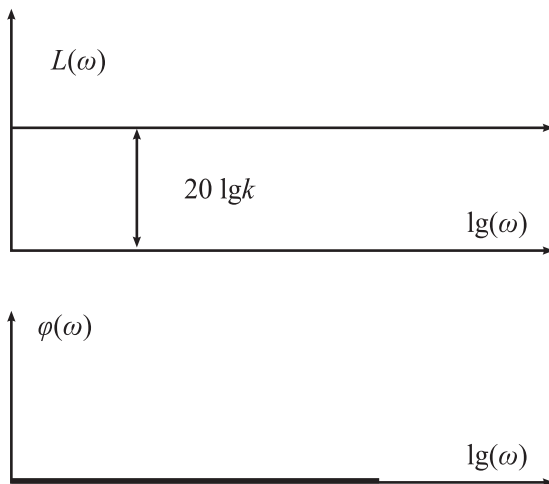
$$W(j\omega) = k; U(\omega) = k; V(\omega) = 0; M(\omega) = k; \varphi(\omega) = 0.$$

Halkanyň logarifmiki amplituda-faza häsiýetnamasyny ýygylýk häsiýetnamasynyň modulynyň aňlatmasyna logarifmirläp kesgitleýäris:

$$L(\omega) = 20 \lg M(\omega) = 20 \lg k. \tag{3.4.}$$

Güýçlendiriji halkanyň faza ýygylýk häsiýetnamasy absissalar oky bilen gabat gelýär, sebäbi $\varphi(\omega) = 0$.

Inersionlylygy bolmadyk halkanyň LAH-sy we LFH-si 3.5-nji çyzgyda görkezilendir.



3.5-nji çyzgy. Güýçlendiriji halkanyň logarifmiki häsiýetnamasy

3.3. Inersion halka

Dinamiki häsiýetleri birinji tertipli differensial deňleme bilen ýazylýan halka, ýagny:

$$T \frac{dx_{\text{çyk}}(t)}{dt} + x_{\text{çyk}}(t) = k \cdot x_{\text{gir}}(t) \quad (3.5)$$

inersion halka diýilýär.

Bu ýerde:

T – wagt hemişeligi;

k – halkanyň güýçlendirijilik koeffisiýenti.

Inersion halka başgaça *aperiodiki, statiki, birsygymlý, relaksion, birinji tertipli halka* diýlip hem atlandyrylýar.

(3.5) deňlemeden görnüşi ýaly, giriş ululygyna diňe çykyş ululygy proporsional bolman, eýsem çykyş ululygynyň önümi hem proporsionaldyr. Inersion halkalara mysal bolup aşakdaky gurluşlar gulluk edip bilerler.

1. Dörtpolýusly gurluş. Ol gurluş sygymyndan we aktiw garşylykdan durýar.

2. Termopara hemişelik toguň elektrik hereketlendirijisi. Onuň giriş ululygy iýmitlendiriş çeşmesiniň naprýaženiýesi.

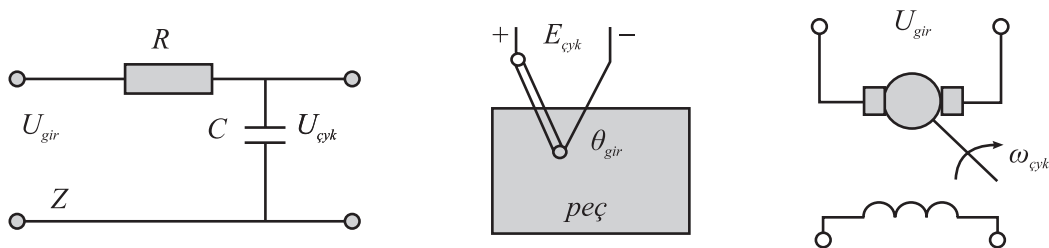
3. Çykyş ululygy bolsa rotoryň aýlaw tizligi.

Geçirijilik funksiýasyny $\left\{s = \frac{d}{dt}\right\}$ almak üçin (3.5) deňlemäni operator formada ýazalyň:

$$(Ts + 1)X_{\text{çyk}}(s) = k \cdot X_{\text{gir}}(s). \quad (3.6)$$

Onda inersion halkanyň geçirijilik funksiýasy aşakdaky ýaly bolar:

$$W(s) = \frac{X_{\text{çyk}}(s)}{X_{\text{gir}}(s)} = \frac{k}{Ts + 1}. \quad (3.7)$$



3.6-njy surat. Inersion halkalaryň görnüşleri

Halkanyň girişine birden üýtgeме häsiýetli birlik signal berlende halkadaky geçiş prosesiniň häsiýetini göreliş:

$X_{gir}(t) = 0, t < 0$ bolanda, $t \geq 0$ bolanda 1-e deňdir:

$$X_{gir}(s) = \frac{1}{s}. \quad (3.8)$$

Bu maksat üçin (3.7) deňlemäni işläris, ýagny deňlemäni ýönekeý droblaryň jemine dargadyarys we näbelli koeffisiýentler usulyny ulanarys:

$$\begin{aligned} X_{cyk}(s) &= \frac{k}{Ts+1} \cdot X_{gir}(s) = \frac{k}{(Ts+1)} \cdot \frac{1}{s} = \frac{k}{(Ts+1) \cdot s} = k \frac{1}{(Ts+1) \cdot s} = k \left[\frac{A}{(Ts+1)} + \frac{B}{s} \right] = \\ &= k \frac{A \cdot s + B \cdot (Ts+1)}{(Ts+1) \cdot s} = k \cdot \frac{A \cdot s + BT \cdot s + B}{(Ts+1) \cdot s} = k \frac{(A+BT)s + B}{(Ts+1) \cdot s}. \end{aligned}$$

Droblaryň deňligini hasaba alyp ýazarys:

$$(Ts+1) \cdot s = (Ts+1) \cdot s; 0 \cdot 1 = (A+BT)s + B.$$

Bu ýerden alarys:

$$\begin{cases} (A+BT) = 0; \\ B = 1; \end{cases} \quad \begin{cases} B = 1; \\ A = -T. \end{cases}$$

Onda

$$X_{cyk}(s) = k \frac{1}{(Ts+1) \cdot s} = k \left[\frac{A}{(Ts+1)} + \frac{B}{s} \right] = k \left[\frac{-T}{(Ts+1)} + \frac{1}{s} \right] = \frac{k}{s} - \frac{kT}{Ts+1} = \frac{k}{s} - \frac{k}{s + \frac{1}{T}}.$$

Indi hakyky üýtgeýän ululygyň funksiýasyna geçeliň. Funksiýalaryň şekilinden hakyky bahasyna geçilýän tablisalara salgylanyp ýazarys:

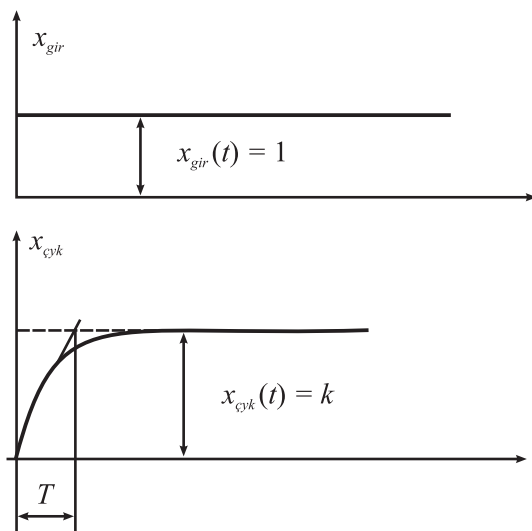
$$f(t) = c; \rightarrow F(s) = \frac{c}{s}; f(t) = e^{\lambda t}; \rightarrow F(s) = \frac{1}{s - \lambda}.$$

Biziň ýagdaýymyz üçin

$$F(s) = \frac{k}{s}; \rightarrow f(t) = k; \text{ we } F(s) = \frac{k}{s + \frac{1}{T}} = \frac{k}{s \left(-\frac{1}{T}\right)}; \rightarrow f(t) = k \cdot e^{-\frac{1}{T}t};$$

$$X_{cyk}(s) = k - k \cdot e^{-\frac{1}{T}t} = k \left(1 - e^{-\frac{1}{T}t} \right). \quad (3.9)$$

Alnan aňlatmanyň esasynda wagt häsiýetnamasyny gurarys.



3.7-nji surat. Inersion halkalaryň wagt häsiýetnamasy

Geçirijilik funksiýasyndaky s ululygy $j\omega$ ululyga çalşyp, amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesini alarys:

$$W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1}. \quad (3.10)$$

Şu deňlemeden hyýaly we hakyky bölekleri bölüp çykarýarys:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{k}{Tj\omega + 1} = \frac{k}{(jT\omega + 1)} \cdot \frac{(jT\omega - 1)}{(jT\omega - 1)} = \frac{k(jT\omega - 1)}{j^2 T^2 \omega^2 - 1^2} = \\ &= \frac{-k + jkT\omega}{-T^2 \omega^2 - 1} = \frac{k - jkT\omega}{T^2 \omega^2 + 1} = \frac{k}{T^2 \omega^2 + 1} - j \frac{kT\omega}{T^2 \omega^2 + 1}; \end{aligned}$$

$$ReW(j\omega) = \frac{k}{T^2 \omega^2 + 1}. \quad (3.11)$$

$$ImW(j\omega) = -j \frac{kT\omega}{T^2 \omega^2 + 1}; \text{ ýa-da } ImW(j\omega) = \frac{-kT\omega}{T^2 \omega^2 + 1}. \quad (3.12)$$

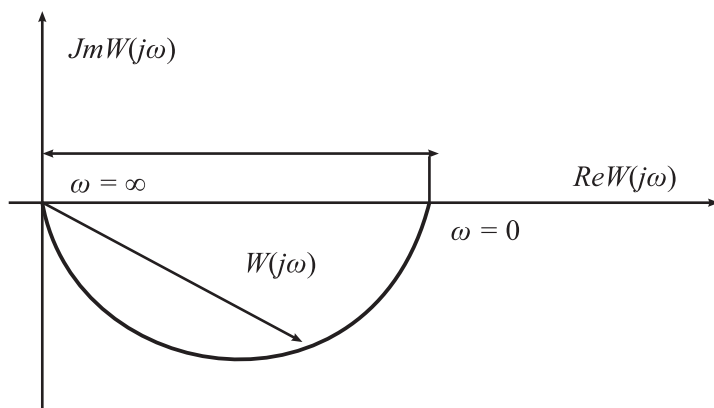
Indi amplituda-faza häsiýetnamasynyň modulynyň aňlatmasyny tapýarys. Ol bolsa halkanyň amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy bolup durýar.

$$M(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{Re^2 W(j\omega) + Im^2 W(j\omega)} = \frac{k}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}. \quad (3.13)$$

Faza-ýygylyk häsiýetnamasynyň deňlemesi aşakdaky görnüşde bolýar:

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} W(j\omega)}{\operatorname{Re} W(j\omega)} = -\operatorname{arctg} T\omega. \quad (3.14)$$

Amplituda-faza häsiýetnamasynyň godografy diametri K ululyga deň bolan ýarymtöwerek bolýanlygyny subut etmek gaty kyn bolmaýar.



3.8-nji surat. Inersion halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy

(3.11) we (3.14) aňlatmalaryň seljermesi. ω ýygylygynyň 0-dan ∞ -e çenli ösen ýagdaýynda $M(\omega)$ -modul ululygy k -dan 0-a çenli kiçelýär we fazasy boýunça 0 -dan 90° -a çenli yza galýar.

Logarifmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasyny modulyň aňlatmasyny logarifmirläp alarys:

$$\begin{aligned} L(\omega) &= 20 \lg M(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{T^2 \cdot \omega^2 + 1}} = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{T^2 \cdot \omega^2 + 1} = \\ &= 20 \lg k - 20 \lg T \cdot \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}} = 20 \lg k - 20 \lg \frac{1}{\omega_T} \cdot \sqrt{\omega^2 + \omega_T^2} = \\ &= 20 \lg k - 20 \lg \frac{\sqrt{\omega^2 + \omega_T^2}}{\omega_T} = 20 \lg k - \left[20 \lg \sqrt{\omega^2 + \omega_T^2} - 20 \lg \omega_T \right] = \\ &= 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \sqrt{\omega^2 + \omega_T^2}. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Şu ýerde:

LAH-lary gönüçyzykly böleklerde approximasıýalaşdyrýarys. Onda $\omega \ll \omega_T$ bolanda alarys:

$$L_a(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \sqrt{\omega_T^2} = 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \omega_T = 20 \lg k. \quad (3.16)$$

Absissalar okuna parallel bolan göni çyzygy alarys. Haçan-da $\omega \gg \omega_T$ bolanda bolsa indiki aňlatmany alarys:

$$L_b(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \sqrt{\omega^2} = 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \omega. \quad (3.17)$$

(3.17) deňleme hem göni çyzygyň deňlemesi. Onuň gyşarmasy bolsa indiki görnüşde tapylýar:

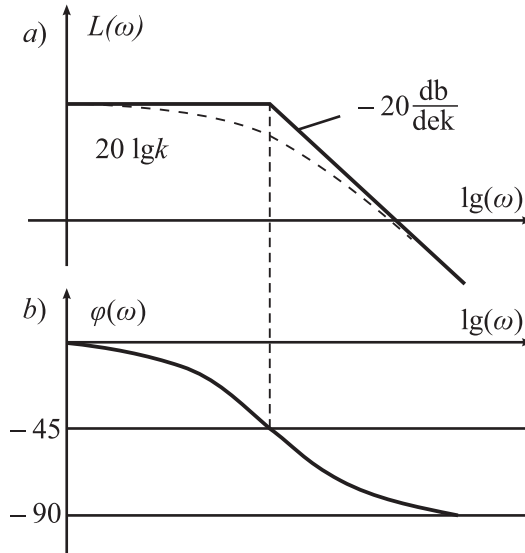
$$\begin{aligned} L_b(10\omega) - L_b(\omega) &= [20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg 10\omega] - \\ &- [20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \omega] = \\ &= 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg 10\omega - 20 \lg k - 20 \lg \omega_T + 20 \lg \omega = \\ &= -20 \lg 10\omega + 20 \lg \omega = -20 \lg \frac{10\omega}{\omega} = -20 \lg 10 = -20 \cdot 1 = -20 \frac{\text{db}}{\text{dek}}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Şeýlelikde, logarifmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy iki sany göni çyzyk bilen approximirlenilýär, ýagny gorizonttal we -20db/dek gyşarmaly bölegi bolan göni çyzyklar.

(3.16) we (3.17) aňlatmalaryň sag taraplaryny deňläp, iki bölegiň baglanyşdyryjy ýygylygyny tapýarys:

$$20 \lg k = 20 \lg k + 20 \lg \omega_T - 20 \lg \omega; \quad \omega = \omega_T,$$

ýagny bölekler $\omega_T = \frac{1}{T}$ – ýygylykda birleşýärler. Bu ýygylyga bolsa **baglanyşdyryjy ýygylyk** diýilýär.



3.9-njy çyzyg. Inersion halkanyň logarifmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy

Takyk häsiýetnama appoksimasiýalaşdyrylan häsiýetnamadan birneme tapawutlanar. Ol häsiýetnama 3.9-njy çyzygyda üzülyän (punktir) çyzykda şekillenendirilendir. Iň uly ýalňyşlyk ω_T ýygyllykly nokatda 3 db ululykda bolar. Inersion halkanyň logarifmiki faza ýygyllyk häsiýetnamasynyň deňlemesi indiki görnüşde ýazylar:

$$\varphi(\omega) = \arctg \omega T = -\arctg \frac{\omega}{\omega_T}. \quad (3.19)$$

(3.1) tablisanyň bahalary bilen gurlan logarifmiki faza-ýygyllyk häsiýetnamasy 3.9-njy çyzygyda görkezilendir.

3.1-nji tablisa

ω [sek-1]	0	$\frac{\omega_T}{10}$	$\frac{\omega_T}{2}$	ωT	$2\omega T$	$10\omega T$	∞
$\text{tg}\varphi(\omega)$	0	-0,1	-0,5	-1	-2	-10	$-\infty$
$\varphi^\circ(\omega)$	0	-5,7°	-26,6°	-45°	-63,4°	-84,3°	-90°

3.4. Ikinji tertipli halka

Halkanyň giriş we çykyş ululyklarynyň arasyndaky baglanyşyk indiki görnüşli deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$T_1^2 \frac{d^2 x_{\text{çyk}}(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dx_{\text{çyk}}(t)}{dt} + x_{\text{çyk}}(t) = k \cdot x_{\text{gir}}(t). \quad (3.20)$$

Bu ýerde:

T_1 we T_2 – halkanyň wagt hemişelikleri;

k – güýçlendirijilik koeffisiýenti.

(3.20) deňlemäni operator formada ýazarys:

$$(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) x_{\text{çyk}}(s) = k \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (3.21)$$

(3.21) formuladan bolsa halkanyň geçirijilik funksiýasyny kesgitläris:

$$W(s) = \frac{X_{\text{çyk}}(s)}{X_{\text{gir}}(s)} = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1}. \quad (3.22)$$

Halkanyň girişine birden üýtgeýän birlik signal berlende wagt häsiýetnamasyny almak üçin (3.22) deňlemäni işleýäris: Onda $x_{\text{gir}}(s) = \frac{1}{s}$ bolanda alarys:

$$x_{\text{çyk}}(s) = \frac{k \cdot x_{\text{gir}}(s)}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1} = \frac{k}{(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) \cdot s} = \frac{k}{T_1^2 \left(s^2 + \frac{T_2}{T_1^2} s + \frac{1}{T_1^2} \right) \cdot s}. \quad (3.23)$$

$\frac{T_2}{2T_1}$ gatnaşyk h ululyk bilen belgilenilip, ol yrgyldynyň sönme koeffisiýenti, gatnaşyk bolsa ω_0 ululyk bilen belgilenilip, **yrgyldynyň hususy ýygylgy** diýlip atlandyrylýar. Kabul edilen belgilemeleri ulanmak bilen, (3.23) aňlatmany t – üýtgeýän ululygyň hakyky oblastyna geçirmek üçin amatly görnüşe getirýäris:

$$\frac{T_2}{2T_1} = h \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = h \Rightarrow 2h = \frac{T_2}{T_1};$$

$$\begin{aligned} x_{\text{çyk}}(s) &= \frac{k}{T_1^2 \left(s^2 + \frac{T_2}{T_1^2} s + \frac{1}{T_1^2} \right) \cdot s} = \frac{k}{T_1^2 \left(s^2 + \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{1}{T_1} s + \frac{1}{T_1^2} \right) \cdot s} = \\ &= \frac{k}{\omega_0^2 (s^2 + 2h \cdot \omega_0 s + \omega_0^2) \cdot s} = \frac{k \cdot \omega_0^2}{(s^2 + 2h \cdot \omega_0 s + \omega_0^2) \cdot s} = \\ &= \frac{k \cdot \omega_0^2}{s(s - s_1)(s - s_2)} = \frac{k}{s} + \frac{c_1}{s - s_1} + \frac{c_2}{s - s_2}. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Onda:

$$x_{\text{çyk}}(t) = k + c_1 \cdot e^{s_1 t} + c_2 \cdot e^{s_2 t}. \quad (3.25)$$

Bu ýerde:

c_1 we c_2 – başlangyç şertlerden tapylyan integrirlemegiň hemişelikleri;
 p_1 we p_2 – $s^2 + 2h \cdot \omega_0 s + \omega_0^2 = 0$; (3.26) görnüşli deňlemäniň kökleri.

$$s_{1,2} = -h\omega_0 \pm \sqrt{(h\omega_0)^2 - \omega_0^2}. \quad (3.26)$$

(3.26) aňlatmanyň seljermesi. h ululyga baglylykda halkadaky geçiş prosesleri dürli-dürli görnüşde bolup geçer.

Eger-de $h < 1$ bolsa, onda p_1 we p_2 kökler baglanyşdyrylan–kompleks görnüşde bolar.

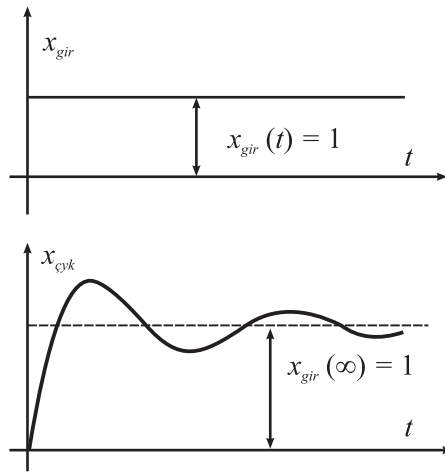
$$s_{1,2} = -h\omega_0 \pm j\omega_1. \quad (3.27)$$

Bu ýerde $\omega_1 = \omega_0 \sqrt{(1-h)^2}$.

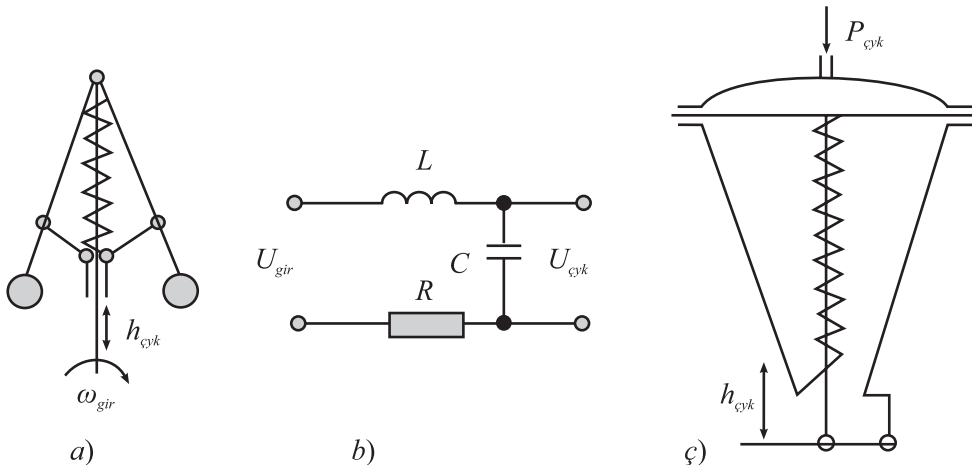
(3.27) aňlatmanyň kökleriniň bahasyny (3.25) aňlatma goýup, geçiş hadysasy üçin deňleme alarys, ýagny:

$$x_{\text{çyk}}(t) = k + 2\sqrt{C_1 C_2} \sin(\omega_1 t + \gamma_1). \quad (3.28)$$

(3.28) deňlemä gabat gelýän geçiş hadysasy absissalar okunyň üstünden k ululyga galdyrylan, ω_1 ýygyllykly sönýän sinusoida görnüşli bolýar. Ol ýagdaýy 3.10-njy çyzgyda görmek bolýar. Şonuň üçin hem $h < 1$ bolanda, ikinji tertipli halka yrgyldyly halka diýlip kabul edilendir.



3.10-njy çyzgy. Inersion halkanyň wagt häsiýetnamasy



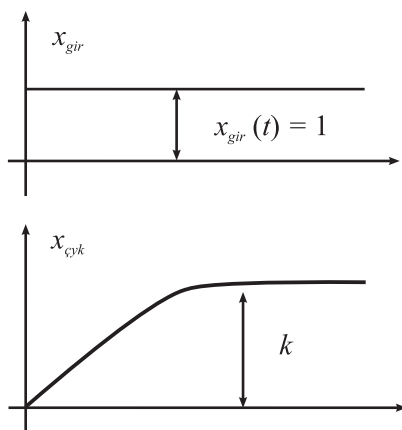
3.11-nji çyzgy. Inersion halkalaryň görnüşleri

Yrgyldyly halkanyň mysaly bolup 3.11-nji çyzgyda görkezilen a) merkezden gaçýan aýlaw ýygyllygy sazlaýjy; b) sygym, induktiwlilik we aktiw garşylyk saklaýan

elektrik kontury; ç) membranaly ýerine ýetiriji mehanizmiň serwohereketlendirijisi gulluk edip biler.

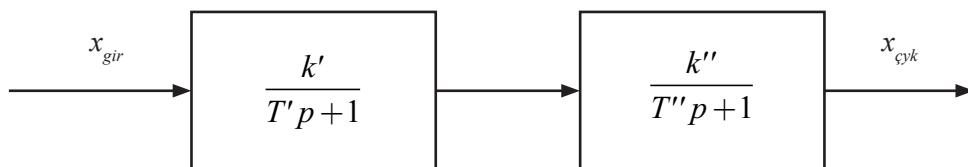
Eger-de $h > 1$ bolsa, onda halkadaky geçiş prosesi aperiodiki häsiýete eýe bolýar. Şeýle halka *aperiodiki halka* diýip at berýärler. Ol halkanyň ikinji tertibi bolýar ýa-da oňa halka *ikisygymly statiki halka* hem diýilýär. Onda (3.28) aňlatmanyň çözüdi iki sany sönýän häsiýetli halkanyň jemine deňdir.

Bu ýagdaýda geçiş prosesi birden üýtgeýän görnüşli birlik täsirdeň soňra 3.12-nji çyzgydaky ýaly bolýar.



3.12-nji çyzgy. Iki sygymly inersion halkanyň geçiş hadysasynyň häsiýetnamasy

Ikinji tertipli aperiodiki halka hasaplanylýanda, adatça, ol iki sany yzygider birikdirilen birinji tertipli aperiodiki halkalar bilen çalşylýar (3.13-nji çyzgy).



3.13-nji çyzgy

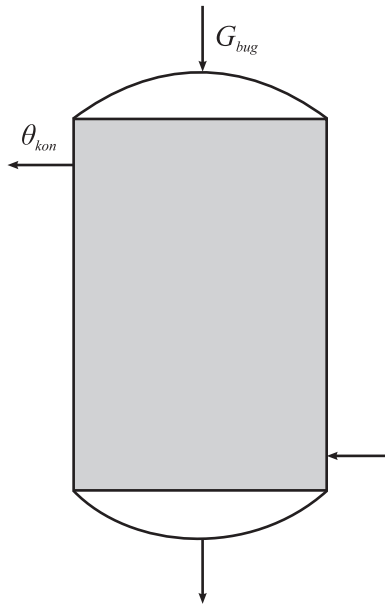
Olaryň geçirijilik funksiýalary aşakdaky ýaly bolýar:

$$W_1(s) = \frac{k'}{T'p + 1}, \quad (3.29)$$

$$W_2(s) = \frac{k''}{T''p + 1}. \quad (3.30)$$

Bu ýerde $k' \cdot k'' = k$; $T' + T'' = T_2$; $T' \cdot T'' = T_1^2$.

Iki sygymly statiki halka mysal bolup energiýa desgalarynyň pes basyşly ýylylyk çalşyjylary gulluk edip biler. Onuň giriş ululygy bolup gyzdyryjy buguň sarp edilişi, çykyş ululygy hökmünde gyzdyrylýan önüm bolan kondensatyň temperaturasy gulluk edýär.



3.14-nji çyzgy. Iki sygymly statiki halkanyň mysaly

Ikinji tertipli halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesi indiki görnüşde bolýar:

$$\begin{aligned}
 W(j\omega) &= \frac{k}{T_1^2 \cdot j^2 \cdot \omega^2 + T_2 \cdot j \cdot \omega + 1} = \frac{k}{-T_1^2 \omega^2 + T_2 j \omega + 1} = \frac{k \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + j 2h \omega_0 \omega} = \\
 &= \frac{k \omega_0^2}{(\omega_0^2 - \omega^2 + j 2h \omega_0 \omega)} \cdot \frac{(\omega_0^2 - \omega^2 - j 2h \omega_0 \omega)}{(\omega_0^2 - \omega^2 - j 2h \omega_0 \omega)} = \frac{k \omega_0^2 (\omega_0^2 - \omega^2) - j 2k \cdot h \cdot \omega_0^3 \cdot \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega_0^2 \omega^2} = (3.31) \\
 &= \frac{k \omega_0^2 (\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega_0^2 \omega^2} - j \frac{2k \cdot h \cdot \omega_0^3 \cdot \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega_0^2 \omega^2}.
 \end{aligned}$$

Ýygylýk häsiýetnamasynyň moduly we fazasy indiki aňlatmalar bilen kesgitlenilýär.

$$M(\omega) = \frac{k \cdot \omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega_0^2 \omega^2}}. \quad (3.32)$$

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} W(j\omega)}{\operatorname{Re} W(j\omega)} = -\operatorname{arctg} \frac{2h\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (3.33)$$

Yrgyldyly halkanyň logarifmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasynyň deňlemesi (3.31) aňlatmadan kesgitlenilýär, ýagny:

$$\begin{aligned} L(\omega) &= 20\lg|W(j\omega)| = \left| \frac{k}{-T_1^2\omega^2 + T_2j\omega + 1} \right| = \frac{|20\lg k|}{|20\lg(-T_1^2\omega^2 + T_2j\omega + 1)|} = \\ &= 20\lg k - 20\lg\sqrt{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + -T_2^2\omega^2} = \\ &= 20\lg k - 20\lg T_1^2 \sqrt{\left(\frac{1}{T_1^2} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{T_2}{T_1^2}\omega\right)^2} = \\ &= 20\lg k + 20\lg\omega_0^2 - 20\lg\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 - (2h\omega_0\omega)^2}. \end{aligned} \quad (3.34)$$

Dolandyrylýan ulgamlaryň hasaplanylşy ýerine ýetirilende approssimirlenen häsiýetnamalar ulanylýar, ýagny takyk LAH-lary $\omega \ll \omega_0$ we $\omega \gg \omega_0$ bahalarda alnan iki sany asimptotalar bilen çalyşýarlar.

LAH-yň approssimirlenen deňlemesi $\omega \ll \omega_0$ indiki görnüşde bolýar:

$$L_a(\omega) = 20\lg k + 20\lg\omega_0^2 - 20\lg\sqrt{\omega_0^4} = 20\lg k. \quad (3.35)$$

Beýle diýildigi, kiçi ýygylyklaryň meýdançasynnda LAH absissalar oky bilen gabat gelýär.

Eger-de $\omega \gg \omega_0$ bolsa, onda LAH-yň approssimirlenen deňlemesi aşakdaky görnüşi alýar:

$$\begin{aligned} L_b(\omega) &= 20\lg k + 20\lg\omega_0^2 - 20\lg\sqrt{\omega^4} = 20\lg k + 20\lg\omega_0^2 - 20\lg\omega^2 = \\ &= 20\lg k + 40\lg\omega_0 - 40\lg\omega, \end{aligned} \quad (3.36)$$

ýagny uly ýygylyklaryň meýdançasynnda LAH-lar -40 db/dek egredilen göni çyzygyň deňlemesi bilen ýazylýar.

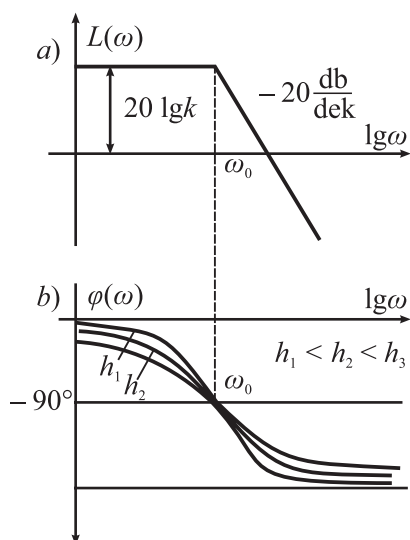
Hakykatdan hem, argument 1 dekada üýtgedilende alarys:

$$\begin{aligned} \Delta L_b(\omega) &= L_b(\omega) = L_b(10\omega) - L_b(\omega) = [20\lg k + 40\lg\omega_0 - 40\lg 10\omega] - \\ &- [20\lg k + 40\lg\omega_0 - 40\lg\omega] = -40\lg 10\omega + 40\lg\omega = -40\lg 10 = -40 \frac{\text{db}}{\text{dek}}. \end{aligned} \quad (3.37)$$

(3.35) we (3.36) deňlemeleriň sag taraplaryny deňläp iki bölegi baglanyşdyrjy ýygylygy tapýarys:

$$20\lg k = 20\lg k + 40\lg\omega_0 - 40\lg\omega; \Rightarrow \omega = \omega_0 = \frac{1}{T},$$

ýagny approksimirlenilen LAH egredilen çyzyk görnüşinde 3.15-nji (a) çyzgydaky ýaly şekili alar.



3.15-nji çyzyg. Inersion halkanyň LAÝ we LFÝ häsiýetnamalary

Yrgyldyly halkanyň h -ululygynyň dürli bahalary üçin logarifmiki faza-ýygylyk häsiýetnamalary 3.15-nji (b) çyzgyda görkezilendir.

Olar (3.38) aňlatma laýyklykda gurulýar.

Olar kososimmetrik egri çyzyklardyr, merkezi bolsa koordinatalary $(\omega_0$ we -90°) bolan nokatda ýerleşýändir.

$$\begin{aligned} \varphi(\omega) &= \arg W(j\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{T_2\omega}{1-T_1^2\omega^2} = -\operatorname{arctg} \frac{T_2\omega}{T_1^2\left(\frac{1}{T_1^2}-\omega^2\right)} = \\ &= -\operatorname{arctg} \frac{2h\omega_0\omega}{\omega_0^2-\omega^2}. \end{aligned} \quad (3.38)$$

Ikinji tertipli aperiodiki halkanyň LAH-sy we LFH-sy gurlanda ol halka iki sany yzygider birikdirilen birinji tertipli aperiodiki halka görnüşinde göz önüne getirilýär. Soňra olaryň hersi üçin LAH-lar we LFH-lar gurulýar we olar goşulýar.

3.5. Differensirleýji halka

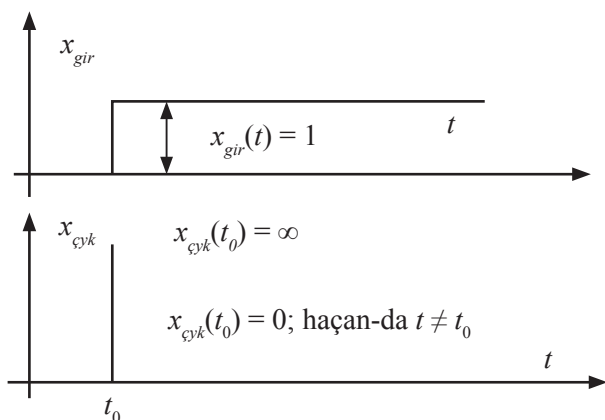
Differensirleýji halkanyň differensial deňlemesi indiki görnüşde bolýar:

$$x_{çyk}(t) = k \cdot T \frac{dx_{gir}(t)}{dt}. \quad (3.39)$$

(3.39) deňlemeden görnüşi ýaly, ideal differensirleýji halkada çykyş ululygy giriş ululygynyň üýtgeýiş tizligine proporsionaldyr.

Eger-de differensirleýji halkanyň girişine birden üýtgeýän görnüşli birlik signalyňy oýandyryjy täsir hökmünde berseň, onda onuň çykyşynda tükeniksiz uly amplitudaly impuls peýda bolýar. Ol impuls bolsa giriş ululygynyň üýtgeýiş tizliginiň uly bahasyna gabat gelýändir.

Şeýlelikde, ideal differensirleýji halkadaky geçiş prosesini aşakdaky görnüşde şekillendirip bolar:



3.16-njy çyzgy. Differensirleýji halkadaky geçiş hadysasy

Ideal differensirleýji halkanyň geçirijilik funksiýasy aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$W(s) = kTs. \quad (3.40)$$

Differensirleýji halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy:

$$W(j\omega) = kTj\omega = kTe^{j\frac{\pi}{2}}. \quad (3.41)$$

(3.42) funksiýanyň moduly halkanyň amplituda-ýygylyk häsiýetnamasyny teklip edýär, ýagny:

$$M(\omega) = kT\omega. \quad (3.42)$$

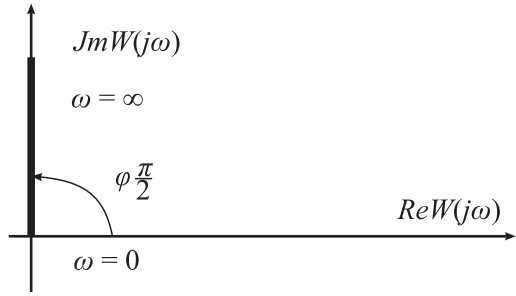
Faza-ýygylyk häsiýetnamasynyň argumenti:

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \frac{\pi}{2}. \quad (3.43)$$

Differensirleýji halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy hyýaly okuň položitel bölegi bilen gabat gelýär.

Differensirleýji halka hemme ýygylklarda giriş ululygy bilen deňşdiri- lende çykyş ululygynda $\pi/2$ burça öňe düşmäni ýüze çykarýar. Şu ýagdaýda ýene-de bellemeli zat: ýygylk näçe uly bolsa, şonça-da çykyş ululygynyň amplitudasy hem uly bolýar.

Önümçilikde ýokarda görkezilen deňlemeleri kanagatlandyryan differensirleýji halkany ýerine ýetirip bolmaýar. Şonuň üçin hem real halkalar ideal halkalara ýakynlaşan görnüşde ýerine ýetirilýär. Olaryň deňlemesi indiki görnüşde ýazylyar.



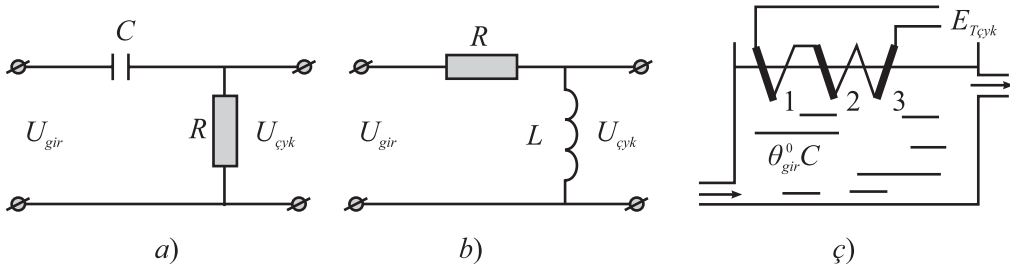
3.17-nji çyzygy. Differensirleýji halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy

$$T \frac{dx_{çyk}(t)}{dt} + x_{çyk}(t) = k \cdot Tx_{gir}(t). \quad (3.44)$$

$$T \frac{dx_{çyk}(t)}{dt} + x_{çyk}(t) = k \cdot Tx_{gir}(t) + x_{gir}(t). \quad (3.45)$$

Dinamiki häsiýetleri (3.44) deňleme bilen ýazylyan halka **statizmi bolmadyk real differensirleýji halka** diýilýär. Edil şonuň ýaly ýagdaýda (3.45) deňleme bilen ýazylyan halka bolsa **statizimli real differensirleýji halka** diýilýär.

(3.44) deňlemeden görnüşi ýaly, $T \rightarrow 0$ ymtylanda ahyrky kT ululykda deňleme ideal halkanyň ýagdaýyna geçýär. Bu ýagdaý bolsa k ululygynyň bahasyny ulaltmagyň zerurlygyny ýüze çykarýar. Şonuň üçin hem ulgama inersionlygy bolmadyk güýçlendiriji goşmaly bolýar. Real differensirleýji halkalara mysal edip statizimli a) sygym we aktiw garşylykdan duran shemany; b) induktiwlik we aktiw garşylyk düzülen shemany (kähallatlarda) we ç) üç termopara görnüşli differensirleýji elementi görkezmek bolýar.



3.18-nji çyzygy. Differensirleýji halkanyň görnüşleri

3.18-nji (ç) çyzygdaky ýagdaýda sazlanýan obýekt bolup ýygylk çalşyjy gulluk edýär. Sazlanýan parametriň ululygy 1-nji termopara bilen ölçenilýär. Sazlanýan parametriň üýtgeме tizligi bolsa biri-birine garşylykly edip birikdirilen

2–3-nji termoparalaryň utgaşygy bilen ölçenilýär. 2–3-nji termoparalaryň häsiýetnamalary birmeňzeş edilip saýlanylýar. Esasy termopara bilen 1-nji termoparanyň häsiýetnamasyny islendik görnüşde alyp bolýar.

Şeýle ulgam oýandyryjy täsir berlende jübütleşdirilen termoparalaryň TEHG-si temperaturanyň üýtgeme tizligine proporsional bolýar, durnuklaşan düzgünde bolsa nola deň bolýar. Differensial termoparanyň TEHG-si esasy termoparanyň TEHG-si bilen goşulýar. Esasy TEHG şu ýagdaýda parametriň bolmaly ölçeginden üýtgeýän ýagdaýynda, şeýle hem üýtgemäniň tizligine baglylykda kesgitlenilýär. Bir söz bilen aýdylanda, TEHG kesgitlenilende ýitgi, ýalňyşlyk gaty azalýar.

Statizmi bolmadyk real differensirleýji halkanyň geçirijilik funksiýasyna seredip geçeliň.

Munuň üçin (3.45) deňlemäni operator formada ýazalyň:

$$(Ts + 1) \cdot x_{\text{çyk}}(s) = k \cdot T \cdot s \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (3.46)$$

(3.46) deňlemeden halkanyň geçirijilik funksiýasyny kesgitläliň:

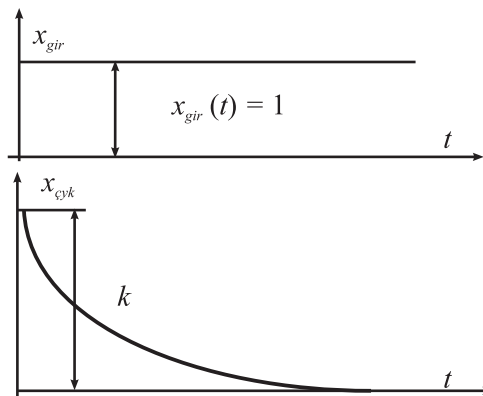
$$W(s) = \frac{x_{\text{çyk}}(s)}{x_{\text{gir}}(s)} = \frac{k \cdot T \cdot s}{T \cdot s + 1}. \quad (3.47)$$

Real differensirleýji halkada geçiş prosesi birden üýtgeýän birlik signal berlen-den soňra (3.46) deňleme çözülip kesgitlenilýär.

Haçan-da $x_{\text{gir}}(s) = \frac{1}{s}$ – bolanda alarys:

$$x_{\text{çyk}}(s) = \frac{kTs x_{\text{gir}}(s)}{Ts + 1} = \frac{kTs}{(Ts + 1) \cdot s} = \frac{kT}{(Ts + 1)} = \frac{k}{s + \frac{1}{T}} \quad \text{ýa-da}$$

$$x_{\text{çyk}}(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{T}}. \quad (3.48)$$



3.19-njy çyzgy. Differensirleýji halkanyň geçiş hadysasynyň häsiýetnamasy

Geçiş hadysasynyň häsiýetnamasy 3.19-njy çyzgyda görkezilendir.

Halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesini (3.47) aňlatmada $s = j\omega$ çalşygy ulanyň alarys, ýagny:

$$W(j\omega) = \frac{k \cdot T \cdot j\omega}{T \cdot j\omega + 1} = \frac{k \cdot T^2 \cdot \omega^2}{T^2 \cdot \omega^2 + 1} + j \frac{k \cdot T \cdot j\omega}{T^2 \cdot \omega^2 + 1}. \quad (3.49)$$

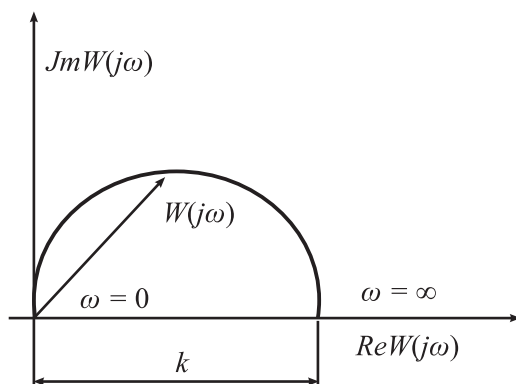
Halkanyň amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy şeýle berilýär:

$$M(\omega) = \frac{k \cdot T \cdot \omega}{\sqrt{T^2 \cdot \omega^2 + 1}}. \quad (3.50)$$

Halkanyň faza-ýygylýk häsiýetnamasy şeýle berilýär:

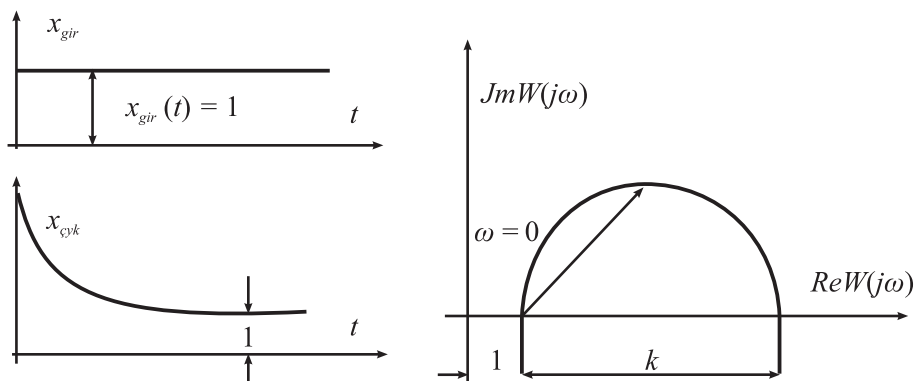
$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{1}{T \cdot \omega}. \quad (3.51)$$

Amplituda-faza häsiýetnamasynyň godografy ýokarky aňlatmalar boýunça gurulsa, diametri k deň bolan birinji kwadratda ýerleşen ýarymtöwerek görnüşde bolar.



3.20-nji çyzgy. Differensirleýji halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy

$$\begin{aligned} L(\omega) &= 20 \lg M(\omega) = 20 \lg \frac{k \cdot T \cdot \omega}{\sqrt{T^2 \cdot \omega^2 + 1}} = 20 \lg \frac{k \cdot T \cdot \omega}{T \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}} = \\ &= 20 \lg k + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{\omega^2 + \omega_T^2}. \end{aligned} \quad (3.52)$$



3.21–3.22-nji çyzgylar. Statizimli real differensirleýji halkanyň häsiýetnamalary

Statizimli real differensirleýji halkanyň häsiýetnamalary hem edil şu tertipde kesgitlenilýär. Olar 3.21-nji we 3.22-nji çyzgylarda görkezilendir.

Statizmsiz real differensirleýji halkanyň logarifmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasyny almak üçin (3.50) aňlatmany logarifmirleýäris.

$$\text{Bu ýerde } \omega_T = \frac{1}{T}.$$

Takyk LAH-lary 2 sany asimptotalar bilen approksimirleýäris. Bu ýagdaýa häsiýetnama iki ýagdaýda ymtylýar. 1-nji ýagdaý $\omega \ll \omega_T$ we 2-nji ýagdaý $\omega \gg \omega_T$. Birinji ýagdaýda kiçi ýygylyklaryň meýdançasyna seredip geçeliň: $\omega \ll \omega_T$:

$$L_a(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega - 20 \lg \omega_T. \quad (3.53)$$

(3.53) aňlatmanyň seljermesinden görnüşi ýaly, kiçi ýygylyklaryň meýdançasyna LAH egriligi + 20db/dek bolan göni çyzyk görnüşinde bolýar. Hakykatdan hem, argumenti *l* – *dekada* üýtgedilende alarys:

$$\begin{aligned} \Delta L_a(\omega) &= L_a(\omega) = L_a(10\omega) - L_a(\omega) = \\ &= [20 \lg k + 20 \lg 10\omega - 20 \lg \omega_T] - [20 \lg k + 20 \lg \omega - 20 \lg \omega_T] = \\ &= 20 \lg \frac{10\omega}{\omega} = 20 \lg 10 = +20 \frac{\text{db}}{\text{dek}} \end{aligned} \quad (3.54)$$

bolanda alarys:

$$L_b(\omega) = 20 \lg k \quad (3.55)$$

Bu ýagdaýda bolsa LAH absissalar okuna parallel bolan göni çyzyk görnüşinde bolýar:

Iki meýdançanyň baglanyşýan nokady bolsa (3.53) we (3.55) aňlatmalardan alarys:

$$20 \lg k + 20 \lg \omega - 20 \lg \omega_T = 20 \lg k.$$

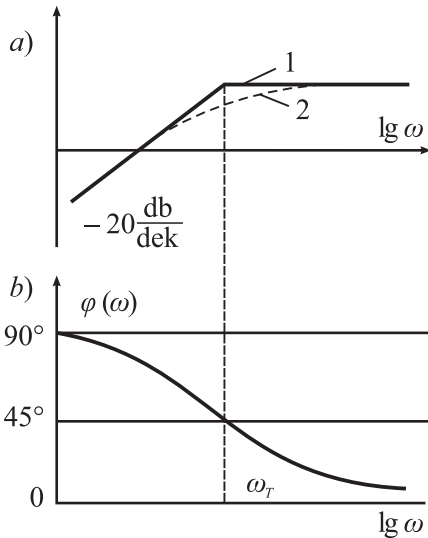
$$\omega = \omega_T.$$

Şeýlelikde, real statizmsiz differensirleýji halkanyň approksimirlenilen LAH-sy $\omega_T = 1/T$ baglanyşdyryjy ýygylyga çenli + 20 db/dek egriligi bolan göni çyzyk bilen, soňra bolsa absissalar okuna parallel we 20 lgk ululyga deň bolan beýiklikden geçýär.

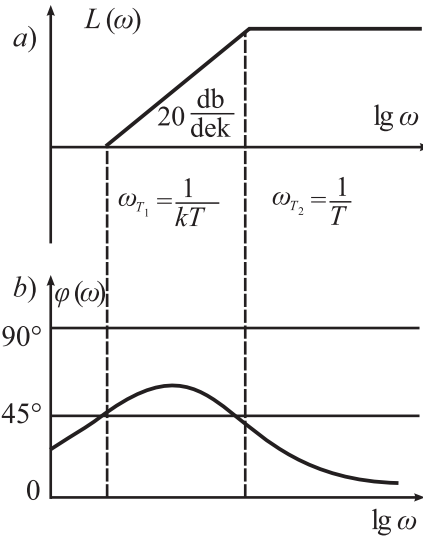
Statizmi bolmadyk differensirleýji halkanyň logarifmiki faza-ýygylyk häsiýetnamasy indiki görnüşde ýazylýar:

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \text{arctg} T\omega. \quad (3.56)$$

Bu aňlatma boýunça gurlan häsiýetnama 3.23-nji (b) çyzygyda görkezilendir. Statizimli differensirleýji halkanyň LAH-sy we LFH-sy 3.24-nji çyzygyda görkezilendir.



3.23-nji çyzygy. Real statizmsiz differensirleýji halkanyň approksimirlenilen LAH-sy



3.24-nji çyzygy. Statizimli differensirleýji halkanyň LA we LF häsiýetnamalary

3.6. Integrirleýji halka

Dinamiki häsiýetleri aşakdaky differensial deňleme bilen ýazylyan halka **integrirleýji halka** diýilýär:

$$T \frac{dx_{çyk}(t)}{dt} = k \cdot x_{gir}(t). \quad (3.57)$$

Şu aňlatmanyň her bir düzüjisini aýratynlykda integrirläp alarys:

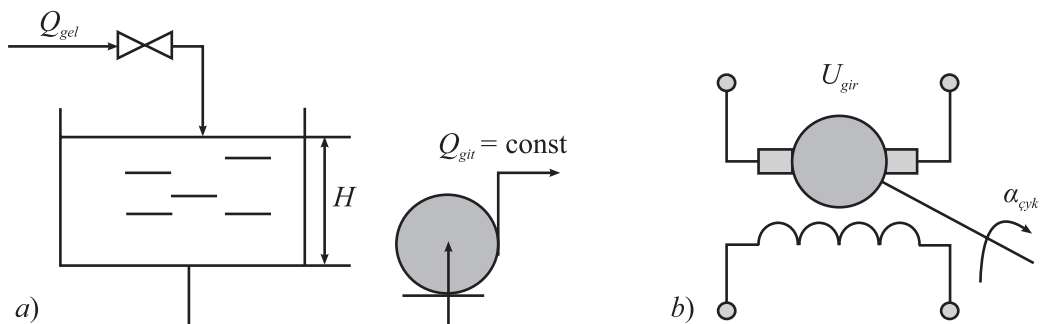
$$x_{çyk}(t) = \frac{k}{T} \int_0^t x_{gir}(t) dt. \quad (3.58)$$

Bu ýagdaýda çykyş ululygy giriş ululygynyň wagt boýunça integrirlenen bahasyna proporsionaldyr. Bu ýagdaý hem halkany **integrirleýji halka** diýip atlandyrmaga esas döredýär. Integrirleýji halka kähalatlarda *astatiki* ýa-da *neýtral* halka diýlip hem atlandyrylýar.

Integrirleýji halka mysal bolup aşakdaky ulgamlar gulluk edýärler:

1. Suwuklyk gidýän gap. Gapdan gidýän suwuklyk hemişelikdir. Ony şu ulgamdaky sorujy enjamyň öndürjiligi kesgitleýär.

2. Elektrik serwoheraketlendiriji. Bu ýagdaýda giriş bolup iýmit çeşmesiniň naprýaženiýesi, çykyş bolup bolsa rotoryň walynyň aýlaw burçy gulluk edýär.



3.25-nji çyzgy. Integrirleýji halkanyň görnüşleri

Integrirleýji halkanyň geçirijilik funksiýasy indiki görnüşde ýazylýar:

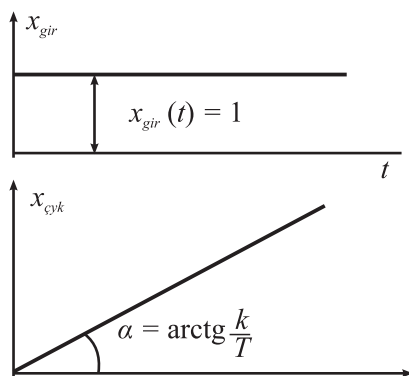
$$W(s) = \frac{k}{T \cdot s}. \quad (3.59)$$

Integrirleýji halkanyň girişine $x_{gir}(t) = 1$ görnüşli birden üýtgeýän birlik signal berlip integrirleme operasiýasyny geçirmek bilen geçiş prosesini kesgitleýän deňleme alnýar, ýagny:

$$x_{cyk}(t) = \frac{k}{T} \cdot t. \quad (3.60)$$

(3.60) deňleme wagtyň geçmegi bilen integrirleýji halkanyň çykyş ululygynyň gönüçyzykly ösýänligini görkezýär.

Şeýle ýagdaýyň grafiki şekili 3.26-njy çyzgyda görkezilendir.



3.26-njy çyzgy. Integrirleýji halkanyň wagt häsiýetnamasy

Grafikden görnüşi ýaly, çykyş ululygy wagt okuna baglylykda egriligi $\alpha = \arctg \frac{k}{T}$ deň bolan göni çyzyk görnüşinde ulalýar.

Amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesi indiki görnüşde bolýar:

$$W(j\omega) = \frac{k}{T \cdot j\omega} = \frac{k}{T \cdot \omega} \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}}. \quad (3.61)$$

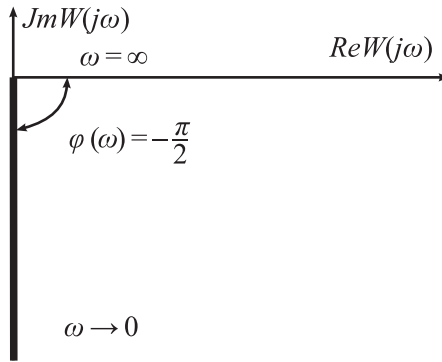
Ýokarky funksiýanyň moduly halkanyň amplituda-ýygylyk häsiýetnamasyny häsiýetlendirýär:

$$M(\omega) = \frac{k}{T \cdot \omega}. \quad (3.62)$$

Şol funksiýanyň argumenti bolsa halkanyň faza-ýygylyk häsiýetnamasyny görkezýär:

$$\varphi(\omega) = \arg \frac{k}{T \cdot j\omega} = -\arctg \infty = -\frac{\pi}{2}. \quad (3.63)$$

Integrirleýji halka hem ýygylyklarda çykyş ululygynyň bahasy giriş ululygynyň bahasy bilen deňşdirilende $\pi/2$ burça yza galmasyny ýüze çykarýar.



3.27-nji çyzgy. Integrirleýji halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy

Eger-de (3.62) aňlatmany logarifmirlesek, onda halkanyň logarifmiki amplituda-ýygylyk häsiýetnamasyny alarys:

$$L(\omega) = 20 \lg M(\omega) = 20 \lg \frac{k}{T \omega} = 20 \lg \frac{k \omega_r}{\omega} = 20 \lg k + 20 \lg \omega_r - 20 \lg \omega. \quad (3.64)$$

Bu ýerde: $\omega_r = \frac{1}{T}$.

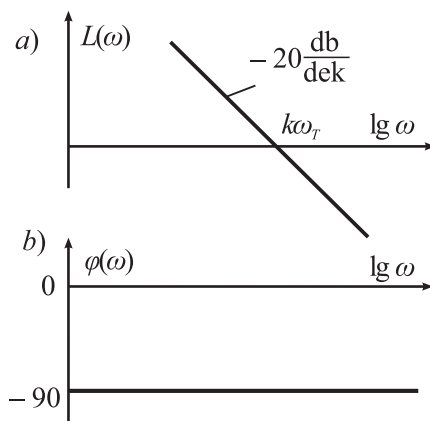
(3.64) aňlatma absissalar okuny ýygylygy $k\omega_r$ deň bolan nokatda kesýän göni çyzygyň deňlemesidir, sebäbi $\omega = k\omega_r$ bolanda LAH nola salgyylanýar.

$$L(k\omega_r) = 20 \lg k + 20 \lg \omega_r - 20 \lg k\omega_r = 20 \lg k + 20 \lg \omega_r - [20 \lg k + 20 \lg \omega_r] = 0.$$

Argumenti 1 dekada üýtgedip, häsiýetnamanyň egriligini kesgitleýäris:

$$\begin{aligned} \Delta L(\omega) &= L(\omega) = L(10k\omega_T) - L(k\omega_T) = 20\lg k + 20\lg\omega_T - 20\lg 10k\omega_T - 0 = \\ &= 20\lg k + 20\lg\omega_T - [20\lg 10 + 20\lg k + 20\lg\omega_T] = \\ &= 20\lg k + 20\lg\omega_T - 20 \cdot 1 - 20\lg k - 20\lg\omega_T = -20 \frac{\text{db}}{\text{dek}}. \end{aligned} \quad (3.65)$$

Şeýlelikde, integrirleýji halkanyň LAH egriligi -20db/dek bolan göni çyzyk görnüşinde bolýar. Ol absissalar okuny ýygylgy $\omega = k\omega_T \frac{k}{T}$ bolan nokatda kesip geçýär.



3.28-nji çyzgy. Integrirleýji halkanyň LA we LF häsiýetnamalary

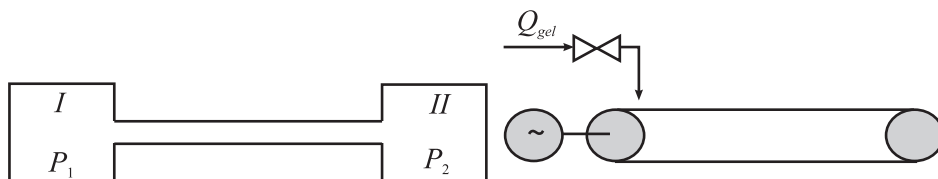
Integrirleýji halkanyň faza-ýygylgy häsiýetnamasy aşakdaky deňleme bilen ýazylýar:

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = -\frac{\pi}{2}, \quad (3.66)$$

ýagny ýygylgyň islendik bahasynda LFH- $\pi/2$ baha deň bolýar.

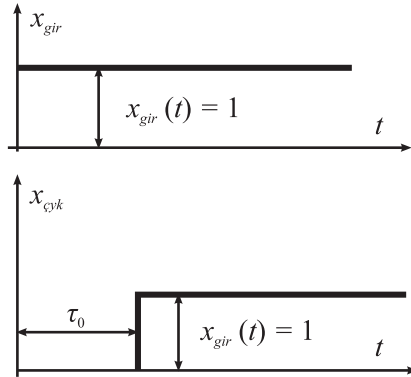
3.7. Yzagalma wagtly halka

Yzagalma wagtly halka mysal edip iki gapdan duran, aralygy uzyn turba bilen birikdirilen sistemany ýa-da susguçly (susakly) transportýory görkezmek bolar.



3.29-njy çyzgy. Yzagalma wagtly halkanyň bir görnüşi

Eger-de yzagalmary bolan halkanyň girişine oýandyryjy täsir berlen bolsa, onuň çykyşynda formasy giriş signalynyňky bilen gabat gelýän, ýöne τ_0 -yzagalma wagty bolan signal ýüze çykýar (3.30-njy çyzgy).



3.30-njy çyzgy. Yzagalmary bolan halkanyň wagt häsiýetnamasy

Yzagalmary bolan halkanyň deňlemesi indiki görnüşde bolýar:

$$x_{cyk}(t) = x_{gir}(t - \tau_0). \quad (3.67)$$

Halkanyň geçirijilik funksiýasyny kesgitlemek üçin giriş we çykyş koordinatalarynyň arasyndaky baglanyşygy operator formada ýazalyň. Onda yzagalma teoremasyna laýyklykda alarys:

$$x_{cyk}(s) = e^{-s\tau_0} x_{gir}(s). \quad (3.68)$$

Yzagalmary bolan halka üçin geçirijilik funksiýasy:

$$W(s) = \frac{x_{cyk}(s)}{x_{gir}(s)} = e^{-s\tau_0}. \quad (3.69)$$

Halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy:

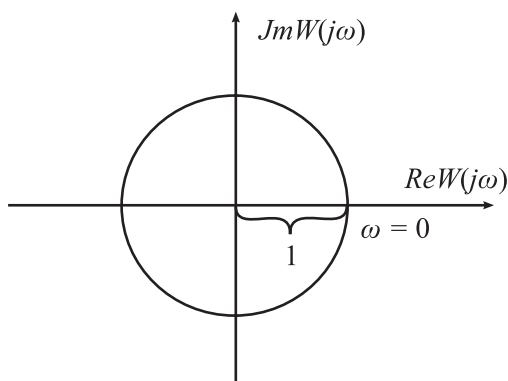
$$W(j\omega) = e^{-j\omega\tau_0}. \quad (3.70)$$

Şeýlelikde, ýygyllyk häsiýetnamasynyň moduly: $M(\omega) = 1$ -e deňdir, fazasy $\varphi(\omega) = -\omega\tau_0$.

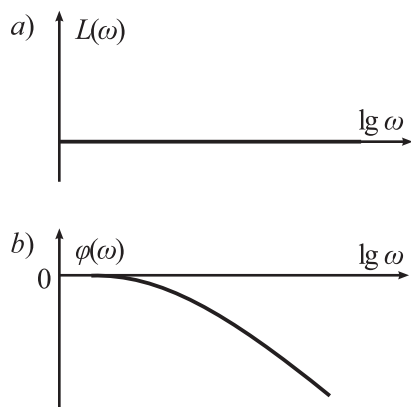
Amplituda-faza häsiýetnamasynyň godografy 3.31-nji çyzgyda görkezilendir. Ol radiusy 1-e deň bolan töwerek görnüşinde bolýar.

Halkanyň logarifmiki amplituda-ýygyllyk häsiýetnamasy absissalar oky bilen gabat gelýär, ýagny:

$$L(\omega) = 20 \lg M(\omega) = 20 \lg 1 = 0. \quad (3.71)$$



3.31-nji çyzgy. Yzagalmasy bolan halkanyň amplituda-faza häsiýetnamasy



3.32-nji çyzgy. Yzagalmasy bolan halkanyň logarifmiki amplituda-ýygýlyk we logarifmiki faza-ýygýlyk häsiýetnamalary

Logarifmiki faza-ýygýlyk häsiýetnamasy indiki görnüşde bolýar.

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = -\omega\tau_0. \quad (3.66)$$

Logarifmiki amplituda-ýygýlyk we logarifmiki faza-ýygýlyk häsiýetnamalary 3.32-nji çyzgyda görkezilendir.

IV BAP

AWTOMATIKI DOLANDYRYLYÁN GÖNÜÇZYKLY ULGAMLARYŇ DÜZÜM SHEMALARY (DÜZÜLIŞI WE ÖZGERDILIŞI)

4.1. Umumy maglumatlar

Öňden belli bolşy ýaly, bir ýere jemlenen parametrleri bolan islendik çylşyrymly awtomatiki dolandyrylýan ulgamy şertli birnäçe elementar dinamiki ulgamlara bölüp bolýar. Ol elementar dinamiki ulgamlaryň bir erkin derejesi bolmalydyr, şeýle hem olaryň dinamikasy tertibi ikinji tertipden uly bolmadyk differensial deňlemeler bilen ýazylmalydyr. Olara başgaça **halkalar** hem diýilýär.

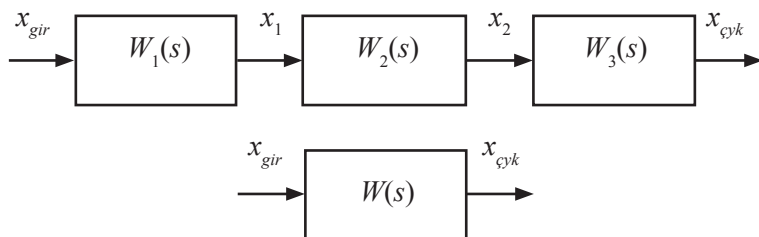
Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň düzüm shemasy diýlip biri-biriniň arasyndaky birleşmeleriň baglanyşygyny görkezýän halkalar görnüşindäki real awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň şekiline aýdylýar. Halkalar shemalarda gönüburçluk görnüşinde şekillendirilýär. Içi atanakly töwerek bolsa jemleýji gurluşa gabat gelýändir. Halkalaryň we jemleýji guruluşlaryň arasyndaky aragatnaşygyň

ugry peýkamlar bilen görkezilýär. Ähli awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar düzüm shemasynyň görnüşi boýunça *birkonturly* we *köpkonturly* shemalara bölünýärler. *Birkonturly* ADU-lar yzygider birikdirilen halkalaryň ýapyk zynjyryny düzýärler. Bu zynjyrlar has ýönekeýden aňsat özleşdirilmäge boýundyrlar. **Köpkonturly ulgamlar** diýlip düzüm shemasy birnäçe ýapyk konturlardan düzülýän shemalara aýdylýar. Köpkonturly shemalaryň seljerilmesi birkonturly shemalaryň seljermesi bilen deňeşdirilende has çylşyrymlydyr. Şonuň üçin hem köpkonturly dolandyrylýan ulgamlaryň düzüm shemasy çylşyrymly bolmadyk özgertmeleriň kömegi bilen birkonturly shemalara çalşylyar. Ýönekeý dilde aýdylanda çylşyrymly halkalar aňsat bolan halkalara çalşyrylyar. Şeýle özgertmeleriň usulyýeti bilen tanyşmak hem şu babyň temasy bolup durýar.

4.2. Struktura özgertmesiniň düzgünleri

4.2.1. Halkalaryň yzygider birleşdirilişi

Goý, bize üç sany yzygider birikdirilen halkalaryň zynjyry berlen bolsun.



4.1-nji çyzygy. Yzygider birikdirilen halkalaryň zynjyr düzümi

Birinji halkanyň girişine giriş ululygy bolan x_{gir} parametr täsir edýär. Bu halkanyň çykyş parametri x_1 ululyk bir wagtda ikinji halka üçin hem giriş ululygy bolup durýar we ş.m. Onda halkalaryň deňlemesini operator görnüşinde ýazarys:

$$x_1(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s). \quad (4.1)$$

$$x_2(s) = W_2(s) \cdot x_1(s). \quad (4.2)$$

$$x_{cyk}(s) = W_3(s) \cdot x_2(s). \quad (4.3)$$

Bu ýerde $W_1(s)$; $W_2(s)$; $W_3(s)$; – halkalaryň geçirijilik funksiýasy. Yzygiderlikde (4.3) deňlemä (4.2) deňlemäni we ş.m. goýup alarys:

$$x_{cyk}(s) = W_3(s) \cdot W_2(s) \cdot W_1(s) \cdot x_{gir}(s) = W(s) \cdot x_{gir}(s).$$

Değişlilikde, (4.4) anlatmadan taparys:

$$\frac{x_{\text{çyk}}(s)}{x_{\text{gir}}(s)} = W(s) = W_3(s) \cdot W_2(s) \cdot W_1(s). \quad (4.5)$$

Bu ýerde $W(s)$ – zynjyryň halkalarynyň umumy geçirijilik funksiýasy.

Şeýlelikde, halkalar yzygider birikdirilende geçirijilik funksiýasy halkalaryň geçirijilik funksiýalarynyň köpeltmek hasylyna deňdir. (4.5) anlatmanyň kanunalaýyklygy halkalaryň islendik sany üçin mahsusdyr, ýagny:

$$W(s) = W_3(s) \cdot W_2(s) \cdot W_1(s) \cdot \dots \cdot W_{n-1}(s) \cdot W_n(s). \quad (4.6)$$

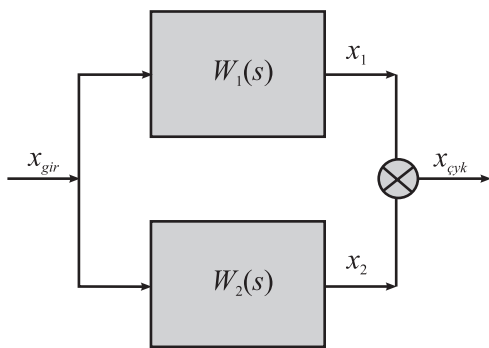
4.2.2. Halkalaryň parallel sazlaşykly birleşdirilişi

Bu ýagdaýda hem *aragatnaşyk baglaşma deňlemesi* aşakdaky ýaly bolar:

$$x_1(s) = W_1(s) \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (4.7)$$

$$x_2(s) = W_2(s) \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (4.8)$$

$$x_{\text{çyk}}(s) = x_1(s) + x_2(s). \quad (4.9)$$



4.2-nji çyzgy. Parallel birikdirilen halkalaryň zynjyr düzümi

Arylyk üýtgeýän ululyklary aradan aýyrýarys, ýagny:

$$x_{\text{çyk}}(s) = W_1(s) \cdot x_{\text{gir}}(s) + W_2(s) \cdot x_{\text{gir}}(s) = [W_1(s) + W_2(s)] \cdot x_{\text{gir}}(s) = W(s) \cdot x_{\text{gir}}(s).$$

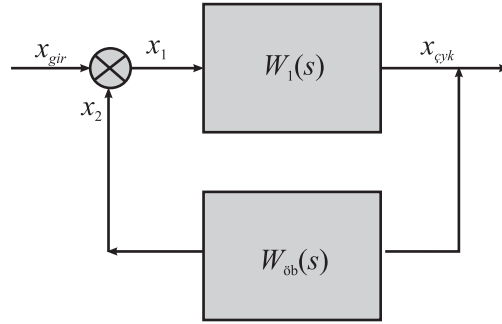
Onda birleşdirmäniň geçirijilik funksiýasy aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\frac{x_{\text{çyk}}(s)}{x_{\text{gir}}(s)} = W(s) = W_1(s) + W_2(s). \quad (4.10)$$

Şeýlelikde, parallel birikdirilen halkalaryň geçirijilik funksiýasy şu birikmä girýän halkalaryň geçirijilik funksiýalarynyň jemine deňdir.

4.2.3. Garşylykly parallel birikdirilen halkalar

Seredilýän ýagdaýda aragatnaşyk deňlemesi indiki görnüşde bolar:



4.3-nji çyzgy. Garşylykly parallel birikdirilen halkalaryň zynjyr düzümi

$$x_{cyk}(s) = W_1(s) \cdot x_1(s) \quad (4.11)$$

$$x_2(s) = W_{ob}(s) \cdot x_{cyk}(s) \quad (4.12)$$

$$x_1(s) = x_{gir}(s) + x_2(s) \quad (4.13)$$

Öňki ýagdaýlardaky ýaly aralyk üýtgeýän ululyklary aradan aýyryňars, ýagny:

$$x_{cyk}(s) = W_1(s) \cdot [x_{gir}(s) + x_2(s)] = W_1(s) \cdot [x_{gir}(s) + W_{ob}(s) \cdot x_{cyk}(s)];$$

$$x_{cyk}(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s) + W_1(s) \cdot W_{ob}(s) \cdot x_{cyk}(s);$$

$$x_{cyk}(s) - W_1(s) \cdot W_{ob}(s) \cdot x_{cyk}(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s);$$

$$[1 - W_1(s) \cdot W_{ob}(s)] \cdot x_{cyk}(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s).$$

Onda geçirijilik funksiýasy indiki görnüşde bolar:

$$\frac{x_{cyk}(s)}{x_{gir}(s)} = W(s) = \frac{W_1(s)}{1 - W_1(s) \cdot W_{ob}(s)}. \quad (4.14)$$

Eger-de shemada x_{ob} – otrisatel öwranaýyn baglanyşyk bolsa, onda onuň koordinatasy otrisatel alamat bilen alynýar. Netijede, geçirijilik funksiýasy indiki görnüşde ýazylyp bilner.

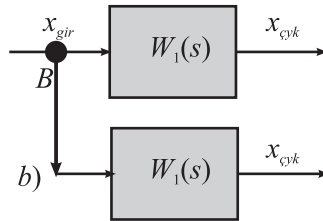
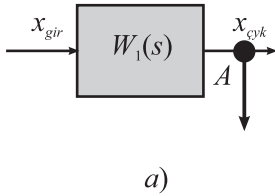
$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_{ob}(s)}. \quad (4.15)$$

4.2.4. Signal alynýan nokady yza geçirmek

4.4-nji (a) çyzgyda A nokatda şahalanmany saklaýan shema teklipl edil. 4.4-nji (b) çyzgyda şekillendirilen düzüm shema B nokatda şahalanmany saklaýar.

Bu shemalar özara ekwiwalentdirler ýa-da iki ýagdaýda-da nokatlardan alynýan signallaryň ululygy birmeňzeşdir, ýagny:

$$x_{\text{çyk}}(s) = W_1(s) \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (4.16)$$



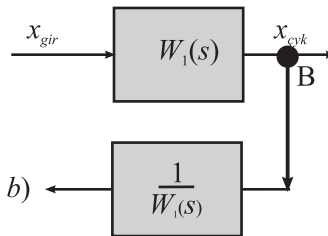
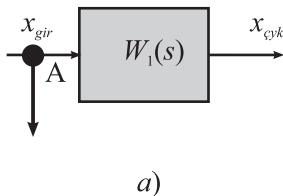
4.4-nji çyzgy. Halkalaryň zynjyrynyň düzümi

4.2.5. Signal alynýan nokady öňe geçirmek

4.5-nji (a) çyzgyda görkezilen shemada A -nokatdan x_{gir} signal alynýar. Şu shema ekwiwalent 4.5-nji (b) çyzgydaky shemany gurmak üçin hem-de x_{gir} signaly B nokatdan almak üçin indiki deňlemeler ulanylýar:

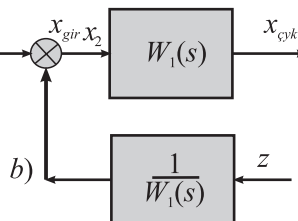
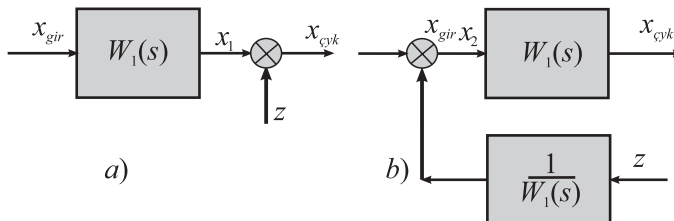
$$x_{\text{çyk}}(s) = W_1(s) \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (4.17)$$

$$x_{\text{çyk}}(s) = \frac{1}{W_1(s)} \cdot x_{\text{gir}}(s). \quad (4.18)$$



4.5-nji çyzgy. Signal alynýan nokatlary özgertmegiň shemasy

4.2.6 Jemleýji nokadyň yza geçirilişi



4.6-nji çyzgy. Jemleýji nokatlary özgertmegiň shemasy

4.6-njy (a) çyzgyda görkezilen shemada çykyş signal indiki görnüşde formulirlenilýär:

$$x_{çyk}(s) = x_1(s) + z(s);$$

$$x_1(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s);$$

$$x_{çyk}(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s) + z(s). \quad (4.19)$$

4.6-njy (b) çyzgyda görkezilen ekwiwalent düzüm shemasy (4.19) aňlatma deň bolan indiki deňlemeler bilen ýazylyar:

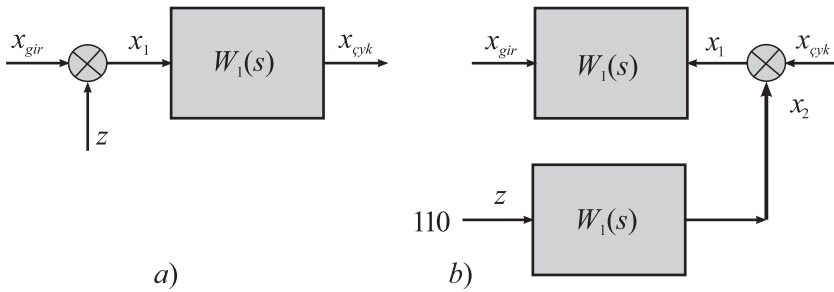
$$x_{çyk}(s) = W_1(s) \cdot x_2(s) = W_1(s) \left[x_{gir}(s) + \frac{1}{W_1(s)} \cdot z(s) \right].$$

Onda:

$$x_{çyk}(s) = W_1(s) \cdot x_{gir}(s) + z(s). \quad (4.20)$$

4.2.7. Jemleýji nokadyň öňe geçirilişi

Bu ýagdaýda başlangyç düzüm shemasy we oňa ekwiwalent shema 4.7-nji (a) we 4.7-nji (b) çyzgylarda görkezilendir. Munuň şeýledigini aragatnaşyk deňlemesini ýazyp subut edip bolar:



4.7-nji çyzgy. Jemleýji nokatlary özgertmegiň shemasy

Birinji shema üçin:

$$x_{çyk}(s) = W_1(s) \cdot x_1(s);$$

$$x_1(s) = x_{gir}(s) + z(s);$$

$$x_{çyk}(s) = W_1(s) [x_{gir}(s) + z(s)]. \quad (4.21)$$

Ikinji shema üçin hem şeýle deňlemäni ýazarys:

$$x_1(s) = x_{gir}(s) \cdot W_1(s);$$

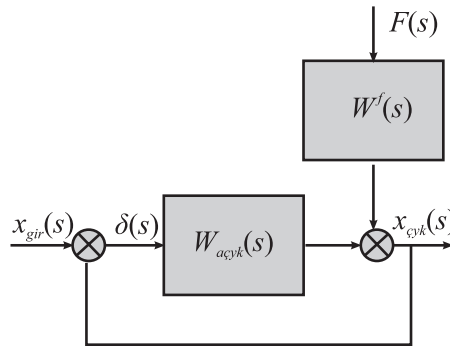
$$x_2(s) = z(s) \cdot W_1(s);$$

$$x_{çyk}(s) = x_1(s) + x_2(s);$$

$$x_{çyk}(s) = x_{gir}(s) \cdot W_1(s) + z(s) \cdot W_1(s) = W_1(s) [x_{gir}(s) + z(s)]. \quad (4.22)$$

4.3. Ýapyk ulgamlaryň geçirijilik funksiýalary

4.10-njy çyzgyda umumy görnüşde ýapyk ulgamyň düzüm shemasy teklipl edilen.



4.10-njy çyzgy. Ýapyk ulgamyň düzüm shemasy

Bu ýerde indiki belgilenmeler girizilen:

$W_{açyk}(s)$ – sazlanýlan kanal boýunça açyk sistemanyň geçirijilik funksiýasy;

$W'(s)$ – oýandyryjy täsiriň berilýän kanaly boýunça açyk ulgamyň geçirijilik funksiýasy;

$x_{gir}(s)$ – giriş ululygynyň şekili;

$x_{çyk}(s)$ – çykyş ululygynyň şekili;

$\delta(s)$ – parametriň berlen bahasy bilen bar bolan bahasynyň arasyndaky aratapawudyň şekili;

$F(s)$ – oýandyryjy täsiriň şekili.

Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar hasaplanylanda, umuman, dolandyryjy we oýandyryjy täsiriň berilýän kanallary boýunça *geçirijilik funksiýasy* diýen düşünje ulanylýar. Dolandyrylýan kanal boýunça geçirijilik funksiýasy:

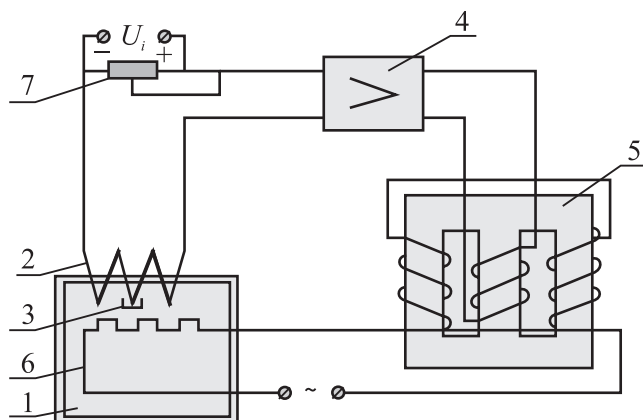
$$\Phi(s) = \frac{W_{açyk}(s)}{1 + W_{açyk}(s)}. \quad (4.23)$$

Oýandyryjy täsiriň kanaly boýunça geçirijilik funksiýasy:

$$\Phi^f(s) = \frac{W^f(s)}{1 + W_{\text{aýk}}(s)}. \quad (4.24)$$

4.4. Dolandyrylýan ulgamlaryň düzüm shemalaryny düzmek we özgertmek

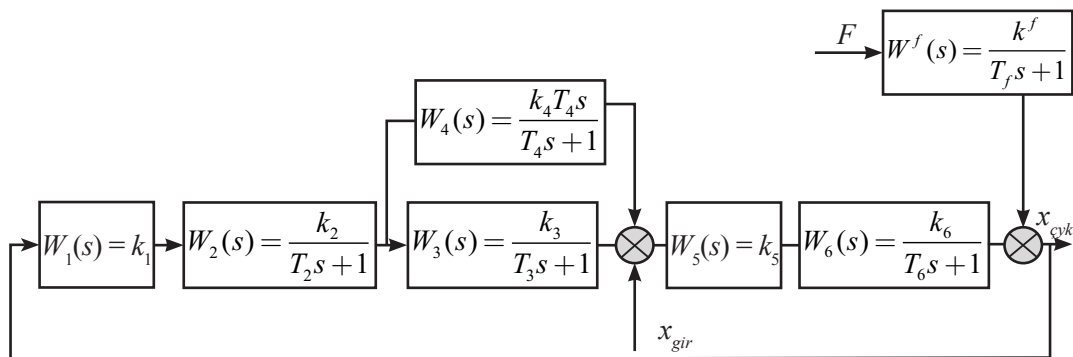
Real awtomatiki dolandyrylýan ulgamy düzüm shemasy görnüşinde göz önüne getirmek üçin ony, ilkinji nobatda, halkalara bölmeli. Soňra her halkanyň hereket deňlemesini çykarmaly we şol halkany uly ýa-da kiçi takyklyk bilen bir nusgaly halka bilen çalyşmaly. Bu operasiýalar ýerine ýetirilenden soňra bir nusgaly halkalary awtomatiki dolandyrylýan ulgamyň prinsipial shemasyna laýyklykda özara birikdirmeli. Temperaturany awtomatiki sazlaýan ulgamyň düzüm shemasyny düzmeğiň mysalyna seredip geçeliň.



4.11-nji çyzgy. Temperaturany awtomatiki sazlaýan ulgamyň shemasy. Shemada indiki belgilenmeler kabul edilen:

- 1 – sazlanýlýan obýekt; 2 – esasy termopara, 3 – differensial termopara;
- 4 – elektron güýçlendiriji; 5 – magnit güýçlendirijisi; 6 – gyzdyryjy;
- 7 – berlen bahany goýujy gurluş

Şu ýagdaýda düzüm shemasy üç sany inersion halkalar (sazlanýlýan obýekt, esasy termopara, magnit güýçlendiriji), iki sany inersiýasyz halkalar we bir differensial halka birikmeleri görnüşinde teklip edilip bilner.



4.12-nji çyzgy. Temperaturany sazlaýjy ulgamyň düzüm shemasy

Berlen ýagdaýda açyk ulgamyň geçirijilik funksiýasy şeýle bolar:

$$\begin{aligned} W_{a\check{c}y\check{k}}(s) &= W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot [W_3(s) + W_4(s)] W_5(s) W_6(s) = \\ &= k_1 \frac{k_2}{T_2s + 1} \left(\frac{k_3}{T_3s + 1} + \frac{k_4 T_4 s}{T_4s + 1} \right) \cdot k_5 \cdot \frac{k_6}{T_6s + 1}. \end{aligned}$$

$$W_{a\check{c}y\check{k}}(s) = \frac{k_1 \cdot k_2 [k_3 (T_4s + 1) + k_4 T_4 s (T_3s + 1)] k_5 \cdot k_6}{(T_2s + 1) \cdot (T_3s + 1) \cdot (T_4s + 1) \cdot (T_6s + 1)}.$$

Sazlanylýan kanal boýunça ýapyk ulgamyň geçirijilik funksiýasy indiki görnüşde bolar:

$$\begin{aligned} \Phi(s) &= \frac{W_{a\check{c}y\check{k}}(s)}{1 + W_{a\check{c}y\check{k}}(s)} = \\ &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_5 \cdot k_6 [k_3 (T_4s + 1) + k_4 T_4 s (T_3s + 1)]}{(T_2s + 1) \cdot (T_3s + 1) \cdot (T_4s + 1) \cdot (T_6s + 1) + k_1 \cdot k_2 \cdot k_5 \cdot k_6 [k_3 (T_4s + 1) + k_4 T_4 s (T_3s + 1)]}. \end{aligned}$$

Oýandyryjy täsiriň berilýän kanaly boýunça ýapyk ulgamyň geçirijilik funksiýasy indiki görnüşde ýazylýar:

$$\begin{aligned} \Phi^f(s) &= \frac{W^f(s)}{1 + W_{a\check{c}y\check{k}}(s)} = \\ &= \frac{k_f (T_2s + 1) \cdot (T_3s + 1) \cdot (T_4s + 1) \cdot (T_6s + 1)}{(T_f s + 1) \cdot \left\{ (T_2s + 1) \cdot (T_3s + 1) \cdot (T_4s + 1) \cdot (T_6s + 1) + k_1 \cdot k_2 \cdot k_5 \cdot k_6 [k_3 (T_4s + 1) + k_4 T_4 s (T_3s + 1)] \right\}}. \end{aligned}$$

V BAP GÖNÜÇZYKLY AWTOMATIKI SAZLANÝLYAN ULGAMLARYŇ DURNUKLYLYGY

5.1. Durnuklylyk barada düşünje

Awtomatiki sazlanýlan ulgamlaryň durnuklylygy diýlip önümçilikde we tejribe geçirmek üçin ýeterlik takyklygy bolan wagtyň geçmegi bilen oýandyryjy täsiriň täsiri aýrylandan soňra onuň başlangyç ýagdaýyna gelip bilmek ukybyna düşünilýär. Kesgitlemä laýyklykda, *astatiki ulgam* $\lim_{t \rightarrow \infty} x_{\check{c}y\check{k}}(t) = 0$ ýag-

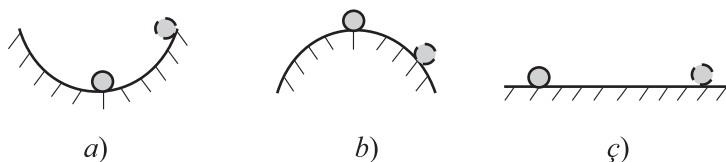
daýda *durnukly* bolýar. *Statiki ulgam* bolsa $\lim_{t \rightarrow \infty} x_{\text{cyk}}(t) = \varepsilon$ ýagdaýda *durnukly* bolar.

Bu ýerde: ε – statiki ýalňyşlyk.

Haçan-da ulgam oýandyryjy täsiriň täsiri aýrylandan soňra başlangyç ýagdaýyna gelip bilmese we wagtyň geçmegi bilen şol ýagdaýdan daşlaşsa, onda şeýle ulgam *durnukly däl* diýlip düşünilýär, ýagny:

$\lim_{t \rightarrow \infty} x_{\text{cyk}}(t) = \infty$. Ulgamyň *durnukly* ýagdaýyna sferiki üsti bolan gabyň düýbündäki şaryň hereketi bilen göz ýetirip bolýar. Ol şaryň hereketini howanyň garşylygy we gabyň diwaryna sürtülmesi haýalladyp bilýär.

Eger-de şary güberçek tekizlige ýerleşdirsek, onda biz *durnukly däl* ulgam bilen iş geçirmeli bolarys.



5.1-nji çyzgy. *Durnuklylygy kesgitlemegiň mysallary*

Mundan başga-da neýtral sistemalar bolýar. *Neýtral durnukly ulgam* diýlip, şol ulgamyň giriş ululygynyň şol bir bahasyna çykyş ululygynyň bahasynyň tükeniksiz köplüginin gabat gelmegine aýdylýar.

Neýtral *durnukly* ulgamyň ýagdaýyny tekizlikde ýerleşdirilen şaryň hereketinde görkezip bolar.

5.2. *Gönüçzykly ASU-nyň durnuklylygy häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleriniň üsti bilen kesgitlenişi*

Goý, seredilýän sazlanýan ulgam başlangyç wagt pursadynda ($t = 0$) deňagramly ýagdaýda bolsun. Soňra ony haýsy hem bolsa bir oýandyryjy täsiriň täsiri bilen deňagramlylyk ýagdaýyndan çykaralyň we $t = t_0$ wagt pursadynda bolsa oýandyryjy täsiri aýralyň, şeýle hem ulgamyň özüni arkaýyn ýagdaýda nähili alyp barýandygyna seredeliň. Oýandyryjy täsiriň täsiri aýrylandan soňra gönüçzykly ulgamyň özüni alyp barşy hemişelik koeffisiýentli differensial deňleme bilen ýazylar:

$$a_0 \frac{d^n x_{\text{cyk}}(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x_{\text{cyk}}(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx_{\text{cyk}}(t)}{dt} + a_n x_{\text{cyk}}(t) = 0 \quad (5.1)$$

ýa-da operator formada:

$$D(s)x_{\text{cyk}}(s) = 0. \quad (5.2)$$

Bu ýerde $D(s)$ – ulgamyň hususy operatory.

Deňlemäniň çözüwini indiki görnüşde göz önüne getirip bolar:

$$x_{\text{çyk}}(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{s_i t}. \quad (5.3)$$

Bu ýerde A_i – integrirlemäniň hemişeligi bolsa,

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0 \quad (5.4)$$

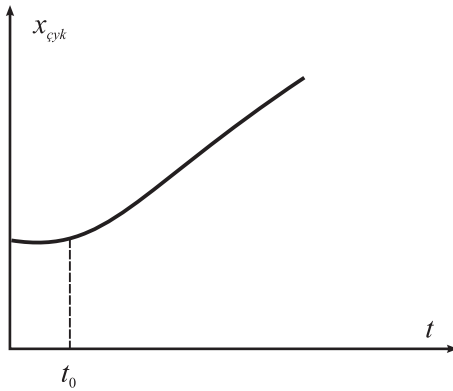
görnüşli häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleri.

(5.4) deňlemäniň çep tarapy ulgamyň hususy operatory ululygyň köpagzalylyk formada ýazylyşyny görkezýär.

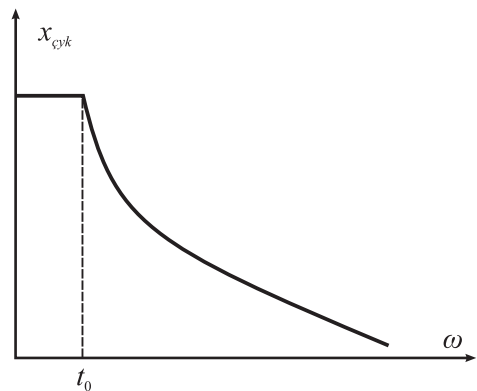
(5.3) aňlatmany öwreneliň.

Kesgitleme boýunça ulgamyň durnuklylygy üçin $t \rightarrow \infty$ ymytlan-da $x_{\text{çyk}}(t) \rightarrow 0$ ymytlmagy hökmany şertdir. Soňky ýagdaý (5.3) aňlatmanyň hemme düzüjileriniň wagtyň geçmegi bilen nola ymytlmagynda bolup biler.

A_i -nji koeffisiýentler hemişelik ululyklardyr. Şonuň üçin hem her düzüjiniň häsiýeti we özüni alyp barşy s_i -nji ululygyň alamatyna baglydyr. Eger-de položitel hakyky san bolsa, onda aňlatmamyz $A_i \cdot e^{s_i t}$ görnüşli we $x_{\text{çyk}}(t)$ çykyş ululygymyz wagtyň geçmegi bilen ýuwaşlyk bilen tükeniksizlige çenli ulular.



5.2-nji çyzgy. Durnuksyz ulgam



5.3-nji çyzgy. Durnukly ulgam

Tersine, eger-de s_i otrisatel hakyky san bolsa, wagtyň geçmegi bilen aňlatmamyz $A_i \cdot e^{-s_i t}$ – görnüşli bolar, $x_{\text{çyk}}(t)$ – çykyş ululygymyz bolsa nola ymytlar.

Indiki ýagdaý, goý, aýdalyň häsiýetlendiriji deňleme $s_{i,i} + 1 = \alpha \pm j\omega_i$ görnüşli kompleks baglanyşdyrylan köki saklaýan bolsun. Onda Eýleriň deňlemesiniň esasynda kompleks-baglanyşykly köki bolan her bir jübüt düzüjileri indiki özgertmeleriň esasynda bir düzüjä çalyşmak mümkindir.

$$A_i \cdot e^{s_i t} + A_{i+1} \cdot e^{s_{i+1} t} = A_i \cdot e^{\alpha t} \sin(\omega_i t + \varphi). \quad (5.5)$$

Bu ýerde:

A – başlangyç amplituda;

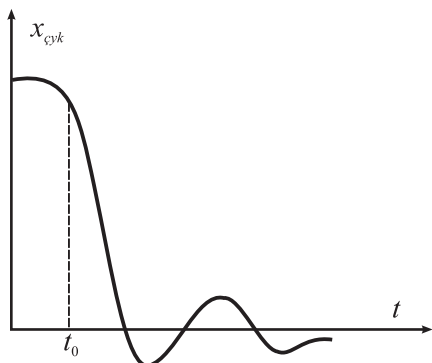
φ – başlangyç faza;

α_i – yrgyldynyň sönmeginiň intensiwligini häsiýetlendirýän san (sönme koeffisiýenti);

ω_i – yrgyldynyň ýygylygy.

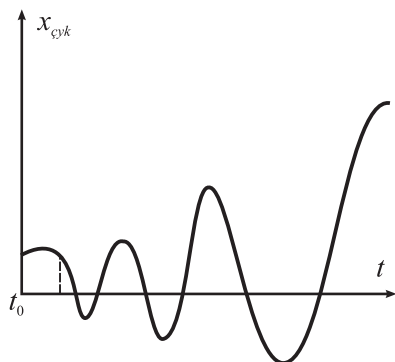
Eger-de (5.4) häsiýetlendiriji deňlemäniň kompleks kökünüň hakyky bölegi otrisatel bolsa, onda (5.5) aňlatmanyň amplitudasy nola ymtylýar, ýagny:

$$x_{\text{çyk}}(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \varphi_i); \alpha_i < 0.$$



5.4-nji çyzgy. Durnuklylyga ymtylýan ulgamyň wagt häsiýetnamasy

$$x_{\text{çyk}}(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \varphi_i); \alpha_i > 0.$$



5.5-nji çyzgy. Durnuksyzlyga ymtylýan ulgamyň wagt häsiýetnamasy

Eger-de haýsy hem bolsa bir kökünüň hakyky bölegi položitel bolsa, onda bu düzüji tükeniksizlige ymtylýar. Şeýlelikde, çykyş ululygy hem tükeniksizlige ymtylýar, ýagny: $x_{\text{çyk}}(t) \rightarrow \infty$. Şeýlelikde, hemişelik koeffisiýentleri bolan gönüçyzykly differensial deňleme bilen ýazylýan awtomatiki sazlanýlýan ulga-

myň durnuklylygynyň hökmany we ýeterlik şerti onuň häsiýetlendiriji deňlemesiniň hakyky kökleriniň otrisatelligi we kompleks kökleriň hakyky böleginiň otrisatel bolmagy zerurdyr.

5.3. Durnuklylygyň geometriki şertleri

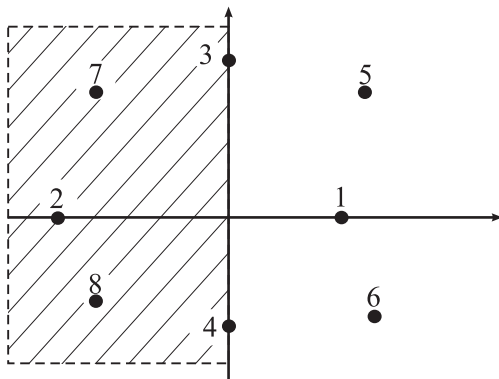
Eger-de häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleri kompleks tekizlikde ýerleşdirilse, onda gönüçyzykly ulgamyň durnuklylygy üçin hemme kökler hyýaly okdan çepde ýerleşmelidirler, ýagny ähli kökler “çepdäkiler” bolmalydyrlar. Şonuň üçin hem çepdäki ştrihlenilen bölege **kompleks üýtgeýän ululyklaryň tekizliginde durnuklylyk oblasti** diýilýär.

$$1) s_1 = \alpha_1; 2) s_2 = -\alpha_2; 3) s_3 = 0 + j\omega_3;$$

$$4) s_4 = 0 - j\omega_4; 5) s_5 = \alpha_5 + j\omega_5;$$

$$6) s_6 = \alpha_6 - j\omega_6; 7) s_7 = -\alpha_7 + j\omega_7;$$

$$8) s_8 = -\alpha_8 - j\omega_8.$$



5.6-njy surat. Kökler tekizliginde kökleriň ýerleşiş çyzygysy

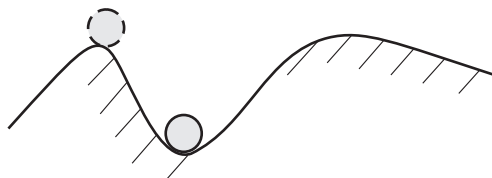
Hyýaly ok şu ýerde durnuklylygyň serhedi bolup gulluk edýär. Eger-de şu okuň üstünde ýerleşen kök gabat gelse, onda sistema neýtral durnukly bolýar (galan kökleriň hemmesi “çepdäki” kökler bolmalydyrlar).

5.4. A.M. Lýapunowyň durnuklylyk baradaky teoremlary

Görnükli rus matematigi we mehanigi **Aleksandr Mihaýlowiç Lýapunow** 1892-nji ýylda hereketiň durnuklylygynyň umumy teoriýasyny işläp düzýär.

Bu teoriya laýyklykda sistema “kiçi” we “uly” ýagdaýlarda durnukly bolup bilýär.

Haçan-da awtomatiki sazlanýlýan ulgamyň koordinatalarynyň başlangyç üýtgemelerine diňe kesgitlenilen çäkleri goýlanda durnuklylygyna galsa, onda şeýle sistema “kiçi” ýagdaýda durnukly diýlip düşünilýär. Ulgamyň “kiçi” ýagdaýda durnuklylygyna mysal edip 5.7-nji çyzgyda görkezilen şaryň oýuň içinde bolan hereketini görkezmek bolar.



5.7-nji çyzgy. Kiçi ýagdaýda durnukly ulgam

Real ASU-lar umumy ýagdaýda gönüçykyksyz differensial deňleme bilen ýazylýar, ýöne sazlanýlýan ululygyň kiçi üýtgemelerinde köplenç halatlarda gönüçykyksyz ASU-lary olaryň gönüçykykly modeli bilen çalyşmak mümkindir. Şeýlelikde, gönüçykyksyz ulgamy gönüçykykly ulgam diýip öwrenip bolýar. Çyzykly ýagdaýa getirilen ASU-nyň durnuklylygy kiçi üýtgemelerde öwrenilende alnan netijeler nähili derejede real gönüçykyksyz ulgamlar üçin maksadalaýyk diýen sorag ýüze çykýar. Şeýle soraga rus alymy A. M. Lýapunowyň teoremalary bilen jogap berýärler. Olar aşadaky görnüşde formulirlenilýär.

Birinji teorema. Eger-de ulgamyň çyzykly ýagdaýa getirilen häsiýetlendiriji deňlemesiniň ähli kökleri otrisatel hakyky bölegi saklaýan bolsa, onda gönüçykyksyz deňleme bilen ýazylýan başlangyç ulgam hem durnukly bolar.

Ikinji teorema. Eger-de ulgamyň çyzykly ýagdaýa getirilen häsiýetlendiriji deňlemesi, bolmanda, bir položitel hakyky bölekli köki saklaýan bolsa, onda gönüçykyksyz deňlemeler bilen ýazylýan başlangyç ASU hem durnuksyz bolar.

Üçünji teorema. Eger-de häsiýetlendiriji deňleme, bolmanda, bir hakyky bölegi nola deň bolan köki saklaýan bolsa, onda çyzykly ýagdaýa getirilen deňlemeler boýunça ulgamyň durnuklydygyny ýa-da durnukly dälidigini kesgitlemek bolmaýar. Şu ýagdaýlarda çyzykly ýagdaýa getirilen ulgamlar durnuklylygyň araçäginde ýerleşýärler. Real gönüçykyksyz ulgamlaryň durnuklylygyny kesgitlemek üçin hökmany suratda olaryň başlangyç gönüçykyksyz deňlemelerini öwrenmeli. Şeýlelikde, durnuklylygy öwrenmek häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleriniň hakyky bölekleriniň alamatyny kesgitlemäge gönükdirilýär. Ol deňlemäniň köklerini hasaplamak çylşyrymly we köp zähmeti talap edýär. Awtomatiki sazlamagyň nazaryýetinde birnäçe usullar bar. Ol usullar häsiýetlendiriji deňlemäniň köklerini kesgitlemesizden şol deňlemäniň koeffisiýentleri arkaly ASU-nyň durnuklylygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Ol usullarda birnäçe durnuklylyk kriterileri ulanylýar.

5.5. Durnuklylygyň algebraik kriterileri

5.5.1. A. Stodolyň durnuklylygynyň zerur şertleri

Durnuklylygyň algebraik kriterileri öwrenilýän ulgamyň durnuklylygy baradaky ýagdaýyny, şol ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesiniň koeffisiýentleriniň üstünde algebraik amallary geçirip, bilip bolýandygyna ýardam berýär.

Ilki bilen, slowak alymy A. Stodolyň teklip eden durnuklylygynyň zerur şertlerine seredip geçeliň. ASU-nyň durnuklylygy üçin zerur bolan (ýöne ýeterlik däl) şert:

Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesiniň hemme koeffisiýentleri nola deň däl we položitel bolmalydyr, ýagny:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0;$$
$$a_0 > 0; a_1 > 0; \dots; a_{n-1} > 0; a_n > 0. \quad (5.6)$$

Gönükme. Eger-de häsiýetlendiriji deňleme aşakdaky görnüşde bolsa, onda:

$$5s^3 + 4s^2 + 3s - 2 = 0.$$

Bu ýagdaýda sistema durnukly däldir, sebäbi $a_3 = -2 < 0$.

Eger-de häsiýetlendiriji deňleme:

$$5s^3 + 3s^2 + 2 = 0$$

görnüşli bolsa, onda ASU ýene-de durnuksyz, sebäbi $a_2 = 0$ häsiýetlendiriji deňleme eger-de aşakdaky görnüşli alsa, onda:

$$5s^3 + 4s^2 + 3s + 2 = 0.$$

Onda durnuklylygyň zerur şerti ýerine ýetýär, sebäbi

$$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 > 0; a_3 > 0.$$

5.5.2. Rausyň durnuklylyk kriterisi

Rausyň durnuklylyk kriterisine görä häsiýetlendiriji deňlemesi:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0 \quad (5.7)$$

görnüşde bolan gönüçyzykly dinamiki ulgamyň durnuklylygyny kesgitlemäge ýardam berýär.

Durnuklylygy kesgitlemek üçin $n + 1$ sanly hatarly tablisany düzmeli:

$$\left\{ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_1 & c_3 & c_5 & \dots \\ c_0 & c_2 & c_4 & \dots \\ b_1 & b_3 & b_5 & \dots \\ b_0 & b_2 & b_4 & \dots \\ a_1 & a_3 & a_5 & \dots \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots \end{array} \right\} \quad (5.8)$$

(5.8) tablisanyň soňky iki hatary häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentlerinden durýar: $b_0, b_1, \dots, c_1, \dots$ we ş.m. koeffisiýentleri kesgitlemek üçin matrisalar düzülýär.

$$\begin{vmatrix} a_1, a_3, a_5, \dots \\ a_0, a_2, a_4, \dots \end{vmatrix} \quad (5.9)$$

$$\begin{vmatrix} b_0, b_2, b_4, \dots \\ a_1, a_3, a_5, \dots \end{vmatrix} \quad (5.10)$$

$$\begin{vmatrix} b_1, b_3, b_5, \dots \\ b_0, b_2, b_4, \dots \end{vmatrix} \quad (5.11)$$

$$\begin{vmatrix} c_0, c_2, c_4, \dots \\ b_1, b_3, b_5, \dots \end{vmatrix} \text{ we ş.m.} \quad (5.12)$$

Gözlenilýän koeffisiýentler minorlaryň üsti bilen kesgitlenilýär:

$$b_0 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; b_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_5 \\ a_0 & a_4 \end{vmatrix}; b_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_7 \\ a_0 & a_6 \end{vmatrix}. \quad (5.13)$$

$$b_1 = \begin{vmatrix} b_0 & b_2 \\ a_1 & a_3 \end{vmatrix}; b_3 = \begin{vmatrix} b_0 & b_4 \\ a_1 & a_5 \end{vmatrix}; b_5 = \begin{vmatrix} b_0 & b_6 \\ a_0 & a_7 \end{vmatrix}. \quad (5.14)$$

$$c_0 = \begin{vmatrix} b_1 & b_3 \\ b_0 & b_2 \end{vmatrix}; c_2 = \begin{vmatrix} b_1 & b_5 \\ b_0 & b_4 \end{vmatrix}; c_4 = \begin{vmatrix} b_1 & b_7 \\ b_0 & b_6 \end{vmatrix} \text{ we ş.m.} \quad (5.15)$$

(5.8) tablisanyň birinji sütüniniň elementleri položitel bolan ýagdaýynda sistema durnukly bolýar:

$$a_0 > 0; a_1 > 0; b_0 > 0; b_1 > 0; c_0 > 0; \text{ we ş.m.} \quad (5.16)$$

Bu kriteriý iňlis matematigi **Raus** tarapyndan 1877-nji ýylda teklipl edildi.

1-nji gönükme. Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi berlen:

$$s^4 + 2s^3 + 8s^2 + 4s + 3 = 0.$$

Minorlary hasaplaýarys we Rausyň tablisasyny düzýäris:

$$\left\{ \begin{array}{ccc} 216 & 0 & 0 \\ 36 & 0 & 0 \\ 12 & 6 & 0 \\ 2 & 4 & 0 \\ 1 & 8 & 3 \end{array} \right\}$$

Birinji sütüni düzüji sanlaryň hemmesi položitel. Onda ulgam durnuklydyr.

2-nji gönükme.

$$s^4 + 2s^3 + s^2 + 4s + 3 = 0.$$

Bu ýerde: $a_0 = 1; a_1 = 2; a_2 = 1; a_3 = 4; a_4 = 3$.

Minorlary hasaplaýarys we Rausyň tablisasyny doldurýarys.

$$\left\{ \begin{array}{ccc} -120 & 0 & 0 \\ -20 & 0 & 0 \\ -2 & 6 & 0 \\ 2 & 4 & 0 \\ 1 & 1 & 3 \end{array} \right\}$$

Birinji sütüni düzüji sanlaryň arasynda otrisatel sanlar bar. Onda kriterä laýyklykda ulgam durnukly däl.

5.5.3. Gurwisiň durnuklylyk kriterisi

Durnuklylygyň bu kriterisi 1895-nji ýylda nemes alymy **Gurwis** tarapyndan hödürülenildi. Bu kriteriý Rausyň kriterisinden diňe özüniň formasy boýunça tapawutlanýar. Öňden bellenilip geçilişi ýaly, gönüçzykly ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesiniň kökleriniň hakyky bölekleriniň otrisatelligi onuň durnuklylygynyň zerur we ýeterlik şerti bolup durýar (5.7-nji deňleme).

Gurwisiň matrisasynyň ähli esasy diagonal minorlarynyň položitel bolmagy (5.7) deňlemäniň ähli kökleriniň otrisatel hakyky böleklerini saklamagy üçin zerur we ýeterlik şertdir.

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & a_0 & \dots & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix} \quad (5.17)$$

Gurwisiň matrisasy aşadaky tertipde düzülýär.

Esasy diagonal boýunça (5.7) häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleri ýerleşdirilýär. Ol a_1 – koeffisiýentden başlanýar we koeffisiýente çenli dowam edýär. Matrisanyň sütünleri hem koeffisiýentlerden düzülýär, ýöne gezekli-gezegine diňe täk ýa-da diňe jübüt indeksleri bilen bolmaly, özi hem soňkularyň sanyna a_0 koeffisiýenti utgaşdyrylýar.

Hemme ýetmeýän elementler, ýagny uly n indeksli koeffisiýentler ýa-da noldan kiçi koeffisiýentler nollar bilen çalşyrylýar.

Gurwisiň matrisasynyň esasy diagonal minorlarynyň tapylyşy:

$$\Delta_1 = a_1; \nu\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix}; \dots; \Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & \dots & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Şeýlelikde, gönüçyzykly ulgamyň durnuklylyk şerti aşadaky görnüşde ýazylýar:

$$\Delta_1 > 0; \Delta_2 > 0; \dots; \Delta_{n-1} > 0; \Delta_n > 0. \quad (5.18)$$

3-nji gönükme. Häsiýetlendiriji deňleme:

$$s^4 + 7s^3 + 4s^2 + 10s + 3 = 0$$

görnüşli bolan ulgamy durnuklylyga barlamaly. Şu ýerde:

$$a_0 = 1; a_1 = 7; a_2 = 4; a_3 = 10; a_4 = 3.$$

Gurwisiň diagonal minorlaryny ýazýarys:

$$\Delta_1 = 7 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} 7 & 1 \\ 10 & 4 \end{vmatrix} = 7 \cdot 4 - 1 \cdot 10 = 18 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 7 & 1 & 0 \\ 10 & 4 & 7 \\ 0 & 3 & 10 \end{vmatrix} = 10 \cdot \Delta_2 - 7 \begin{vmatrix} 7 & 1 \\ 0 & 3 \end{vmatrix} = 10 \cdot 18 - 7 \cdot 21 = 33 > 0;$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 7 & 1 & 0 & 0 \\ 10 & 4 & 7 & 1 \\ 0 & 3 & 10 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} = 3 \cdot \Delta_3 = 3 \cdot 33 = 99 > 0.$$

Şeýlelikde, $\Delta_1 > 0; \Delta_2 > 0; \Delta_3 > 0; \Delta_4 > 0$. Degişlilikde, ulgam durnukly bolýar. ASU-nyň ýazylýan deňlemesiniň tertibi ýokary bolmadyk ýagdaýynda algebraik kriterileriň kömegi bilen onuň durnuklylygyny kesgitlep bolýar, ýöne başinji tertipli we ondan hem ýokary tertipli deňlemeler üçin algebraik kriterileriň kömegi bilen durnuklylyk kesgitlenilende kynçylyk döreýär. Bu ýagdaýlar üçin bolsa durnuklylygyň ýygylýan kriterileri giňişleýin ulanylýar.

5.6. Mihaýlowyň geometriki durnuklylyk kriterileri

5.6.1. Argumentler prinsipleri

Mihaýlowyň durnuklylyk kriterisi argumentler prinsipiniň esasynda formulirlenilen. Argumentler prinsipiniň manysy aşakdakylardan ybaratdyr. Utgaşdyrylan ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi aşakdaky görnüşde berlen:

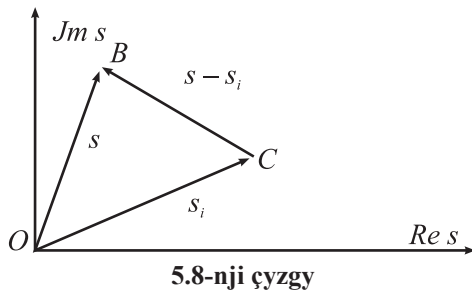
$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0. \quad (5.19)$$

(5.19) deňlemäniň n sany köki bar. Olar umumy ýagdaýda kompleks görnüşinde bolýarlar. $D(p)$ polinomy ýönekeý köpeldijileriň köpeltmek hasyly görnüşinde görkezme bolar:

$$D(s) = a_0 (s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_n). \quad (5.20)$$

Bu ýerde: $s_1; s_2; \dots; s_n$ – häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleri.

Kompleks tekizlikde s_i -nji her bir köki 5.8-nji çyzgydaky wektor görnüşinde şekillendirip bolar.

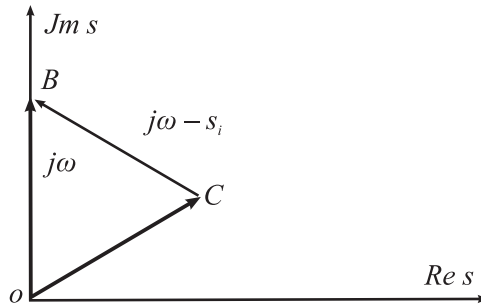


(5.20) aňlatmanyň s wektoryny (erkin kompleks sany) kompleks tekizlikde \overline{OB} wektor görnüşinde şekillendirmek mümkindir. (5.20) aňlatmanyň $(s - s_i)$ görnüşli her bir köpeldijisini bolsa başlangyjy C nokatda başlaýan we ahyry B nokatda gutarýan \overline{CB}

we \overline{OC} wektorlaryň aratapawudyny görkezýän wektor görnüşinde şekillendirip bolýar .

Eger-de $s = j\omega$ çalyşmany ulansak, (5.20) aňlatma aşakdaky görnüşini alar:

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega - s_1)(j\omega - s_2) \dots (j\omega - s_n). \quad (5.21)$$



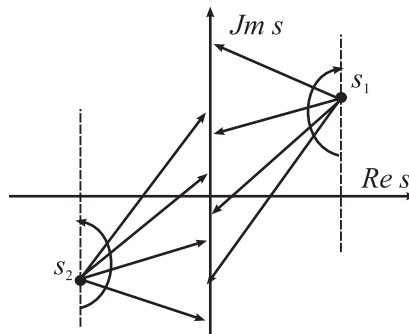
5.9-njy çyzgy

5.9-njy çyzgyda (5.21) aňlatmanyň köpeldijileriniň biri $(j\omega - s_1)$ \overline{CB} wektor görnüşinde teklipl edilip bilner. Öňden belli bolşy ýaly, wektorlar biri-birine köpeldilende olaryň modullary biri-birine köpeldilýär, argumentleri bolsa goşulýar.

Şonuň üçin $D(j\omega)$ wektoryň argumenti köpeldijileriň argumentleriniň jemine deňdir:

$$\text{Arg } D(j\omega) = \arg(j\omega - s_1) + \arg(j\omega - s_2) + \dots + \arg(j\omega - s_n). \quad (5.22)$$

Indi ω -nyň bahasyny üýtgedip, $(j\omega - s_1)$ wektorlaryň argumentleriniň üýtgemesini yzarlalyň.



5.10-njy çyzgy

Eger-de häsiýetlendiriji deňlemäniň s_1 köki hyýaly okdan sagda ýerleşen bolsa, onda wektor ω -nyň $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli üýtgän ýagdaýynda 5.10-njy çyzgydaky ýaly π burça öwürüler.

Eger-de häsiýetlendiriji deňlemäniň s_2 köki hyýaly okdan çepde ýerleşen bolsa, onda $(j\omega - s_1)$ wektor ω -nyň bahasy $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli üýtgän ýagdaýynda bolsa $+\pi$ burça öwrüler. (5.22) aňlatma laýyklykda, $D(j\omega)$ wektoryň argumentiniň artdyrmasy şol wektory düzýän köpeldijileriň argumentleriniň artdyrylmalarynyň jemine deňdir.

Şeýlelikde, häsiýetlendiriji deňlemäniň n sany kökleriniň içinde m sany hyýaly okdan sagda ýerleşýän kökleri bolsa, onda $D(j\omega)$ wektoryň argumentiniň artdyrmasy aşakdaky görnüşe geler:

$$\Delta \text{Arg } D(j\omega) = (n-m)\pi + m(-\pi) = (n-2m)\pi. \quad (5.23)$$

$-\infty \leq \omega \leq +\infty$

(5.23) formula hem argumentler prinsipini aňladýar.

5.6.2. Mihaýlowyň durnuklylyk kriterisi we godografy

Durnukly ulgamda häsiýetlendiriji deňlemäniň hemme kökleri hyýaly okdan “çepdäkiler”, “sagdaký” kökleriň sany $m = 0$. Onda durnukly awtomatiki sazlanýlan ulgamlar üçin (5.23) deňlemeden alarys:

$$\Delta \text{Arg } D(j\omega) = (n-m)\pi + m(-\pi) = n\pi, \quad (5.24)$$

$-\infty \leq \omega \leq +\infty$

ýagny durnukly ulgamda $D(j\omega)$ wektoryň aýlawy $n\omega$ ululyga deň bolmaly. Utgaşdyrylan awtomatiki sazlanýlan ulgamlaryň differensial deňlemesine gabat gelýän köpdüzüjili häsiýetlendiriji deňlemä seredip geçeliň, ýagny:

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n.$$

$D(j\omega)$ – funksiýanyň godografyny gurmak üçin ýokarky deňlemäniň s – ululygyny ululyga çalşalyň:

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_{n-1} (j\omega) + a_n. \quad (5.25)$$

Bu aňlatmadaky ululygyň jübüt derejesini saklaýan düzüjileri hakyky ululyklar, ululygyň täk derejesini saklaýan düzüjileri hyýaly ululyklar bolup durýar. Bu ýagdaýdan peýdalanylýan funksiýanyň hyýaly we hakyky böleklerini aýralaýarys:

$$U(\omega) = \text{Re } D(j\omega) = a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots \text{ hakyky bölek.}$$

$$V(\omega) = \text{Im } D(j\omega) = a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5 - \dots \text{ hyýaly bölek.}$$

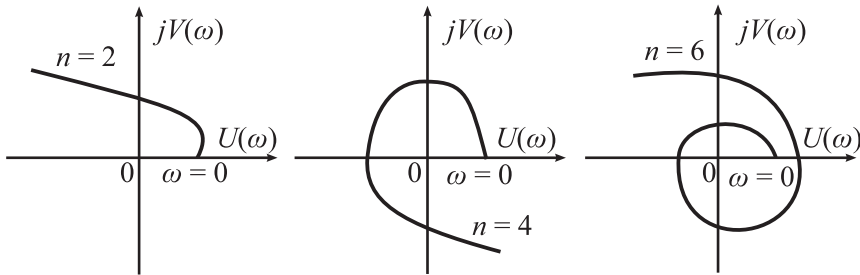
ω ýygylgy $-\infty$ den $+\infty$ -e çenli üýtgedip, $\text{Re } D(j\omega)$ we $\text{Im } D(j\omega)$ ululyklaryň birnäçe bahalaryny alarys. Şu bahalaryň esasynda bolsa $D(j\omega)$ radius-wektorlary

gurarys. Eger-de gurlan wektorlaryň hemmesiniň ahyryny ýuwaşlyk bilen birikdirsek, onda Mihaýlowyň godografyny alarys.

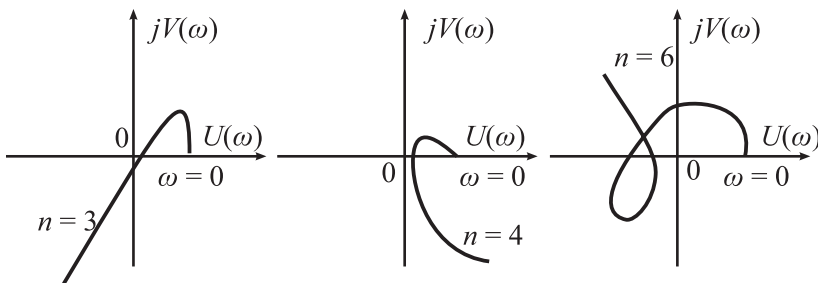
$$U(-\omega) = U(\omega); \text{ we } V(\omega) = -V(\omega).$$

Şeýlelikde, ω -nyň položitel bahalary üçin gurlan Mihaýlowyň godografy hakyky oka otositellikde ω -nyň otrisatel bahalary üçin hem takyk şekil bolup durýar. 1938-nji ýylda rus alymy **A.W. Mihaýlowyň** teklip eden durnuklylyk kriterisini onuň ady bilen atlandyrmagy kabul etdiler. Gönüçyzykly awtomatiki sazlanýlan ulgamyň durnuklylygy üçin ω ululygyň bahasy $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli üýtgän ýagdaýynda $D(j\omega)$ wektoryň ahyry koordinatalar başlangyjynyň daşyndan sagat peýkamynyň tersine $n\pi$ burça aýlanmagy zerur we ýeterlik şert bolup durýar ýa-da ω ululygyň bahasy 0-dan $+\infty$ -e çenli üýtgän ýagdaýynda bolsa $n = \frac{\pi}{2}$ - burça aýlanmagy zerurdyr. Bu ýerde n häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesidir. Bu kriterä başgaça kesgitleme hem bermek bolar, ýagny *gönüçyzykly awtomatiki sazlanýlan ulgamyň durnuklylygy üçin ýyglylygyň bahasy 0-dan $+\infty$ çenli üýtgän ýagdaýynda wektoryň ahyry özüniň hereketini hakyky okuň položitel ýarym böleginde ýatan nokatdan başlap sagat peýkamynyň tersine hiç ýerde nola salgylanman yzygider n kwadrantlary geçmelidir (I, II, III we ş.m.)*.

Bu ýerde n – häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesi.



5.11-nji çyzyg. Durnukly sistemalar üçin Mihaýlowyň godografynyň mysallarynyň görnüşleri



5.12-nji çyzyg. Durnuksyz ulgamlar üçin Mihaýlowyň godografynyň mysallarynyň görnüşleri

Gönükme. Ulgamyň häsiýetlendiriji köpdüzüjili deňlemesi aşakdaky görnüşde berlen:

$$D(s) = s^4 + 2s^3 + 10s^2 + 8s + 9.$$

A.W. Mihaýlowyň durnuklylyk kriterisiniň kömegi bilen ulgamyň durnuklylygy barada netije çykarmaly. Başlangyç aňlatma $s = j\omega$ çalşygy goýup alarys.

$$D(s) = s^4 + 2s^3 + 10s^2 + 8s + 9 \quad (j^2 = -1);$$

$$D(j\omega) = (j\omega)^4 + 2(j\omega)^3 + 10(j\omega)^2 + 8(j\omega) + 9;$$

$$D(j\omega) = \omega^4 - 2\omega^3 - 10\omega^2 + 8j\omega + 9;$$

$$Re D(j\omega) = \omega^4 - 10\omega^2 + 9;$$

$$Im D(j\omega) = -2\omega^3 + 8\omega.$$

ω ululygyň bahasyny 0-dan ∞ -e çenli üýtgedip, Mihaýlowyň godografynyň nokatlaryny hasaplaýarys (5.1-nji tablisa).

5.1-nji tablisa

ω	0	1	2	3	∞
$ReD(j\omega)$	9	0	-15	0	∞
$ImD(j\omega)$	0	6	0	-30	$-\infty$

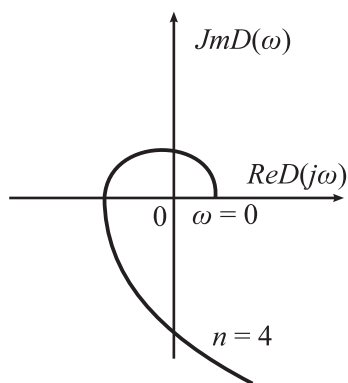
Wektoryň jemi aýlanmasyny kesgitlemek üçin taparys:

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{dReD(j\omega)}{dImD(j\omega)} = \lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{4\omega^3 - 20\omega}{6\omega^2 + 8} = -\infty.$$

Şeýlelikde, Mihaýlowyň godografy ösen ýagdaýynda hakyky oka ýakynlaşýar. Şu ýagdaýda:

$$\Delta Arg D(j\omega) = 4 \frac{\pi}{2}, \quad 0 \leq \omega \leq \infty.$$

Şeýlelikde, ulgam durnukly.



5.13-nji çyzgy. Mihaýlowyň godografy

5.7. Naýkwistiň durnuklylygyň amplituda-faza kriterisi

5.7.1. Umumy ýagdaýlar

1932-nji ýylda amerikan alymy **H. Naýkwist** tarapyndan otirisatel-öwranlaýyn arabaglanyşygy bolan elektron güýçlendirijileri öwrenmek üçin durnuklylygyň amplituda-faza kriterisi teklipl edilýär. Bu kriteriy özünüň köpugurlylygy bilen tapawutlanýar. 1936-njy ýylda H. Naýkwistiň bu kriterisini, ilki bilen, ASU-nyň durnuklylygyny öwrenmek üçin rus alymy A. W. Mihaýlow ulanýar. Naýkwistiň kriterisini yzagalmasy bolan, şeýle hem yzagalmasy bolmadyk ASU-lar üçin ulanmak mümkindir. Naýkwistiň kriterisi utgaşdyrylan ulgamyň durnuklylygyny utgaşdyrylmadyk ulgamyň ýygylýk häsiýetnamasynyň üsti bilen kesgitlemäge ýardam berýär. Bu ýagdaý ýerine ýetirilýän hasaplamaýary köp möçberde ýeňilleşdirýär, şeýle hem durnuklylyk barada netije çykarmak üçin utgaşdyrylmadyk ulgamyň analitiki ýa-da synag-derňew ýol bilen alnan ýygylýk häsiýetnamasyny peýdalanyp bolýar. Ýokarda görkezilen aýratynlyklar üçin Naýkwistiň kriterisi önümçilikde giňden ulanylýar.

5.7.2. Naýkwistiň durnuklylyk kriterisi

Naýkwistiň kriterisine matematiki nukdaýnazardan seredip geçeliň. Goý, utgaşdyrylmadyk ulgamyň operator formadaky hereket deňlemesi belli bolsun.

$$x_{çyk}(s) = W_u(s) \cdot x_{gir}(s); \quad (5.26)$$

$$W_{ut-çyk}(s) = \frac{k(s)}{d(s)}.$$

Bu ýerde:

$k(s)$ – utgaşdyrylmadyk ulgamyň giriş operatory;

$d(s)$ – utgaşdyrylmadyk ulgamyň hususy operatory.

Ulgamy çykyş ululygynyň otrisatel bahasyny berip utgaşdyralyň:

$$x_{gir}(s) = -x_{cyk}(s). \quad (5.27)$$

Onda (5.26) we (5.27) aňlatmalaryň esasynda utgaşdyrylan ulgamyň operator formasyndaky hereket deňlemesini alarys.

$$x_{cyk}(s) = W_u(s) \cdot x_{gir}(s) = W_u(s) [-x_{cyk}(s)];$$

$$x_{cyk}(s) + W_u(s) x_{cyk}(s) = 0;$$

$$[1 + W_u(s)] \cdot x_{cyk}(s) = 0. \quad (5.28)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly, utgaşdyrylan ulgam $F(s) = 1 + W_u(s)$ funksiýa bilen häsiýetlendirilýär. Bu funksiýa bolsa utgaşdyrylmadyk ulgamyň geçirijilik funksiýasyndan 1-birlige tapawutlanýar.

$$F(s) = 1 + W_u(s) = 1 + \frac{k(s)}{d(s)} = \frac{k(s)}{d(s)} + \frac{k(s)}{d(s)} = \frac{D(s)}{d(s)}.$$

5.29 funksiýa şol bir wagtda utgaşdyrylmadyk we utgaşdyrylan ulgamlaryň häsiýetlendiriji $d(P)$ we $D(P)$ köpagzalaryň arasynda baglanyşyk döredýär. Öz gezeginde, bu ululyklar bolsa ulgamyň durnuklylygyny häsiýetlendirýärler.

Utgaşdyrylmadyk ulgamyň häsiýetlendiriji köpagzasynyň köklerini s_1', s_2', \dots, s_n' , utgaşdyrylan ulgamyň häsiýetlendiriji köpagzasynyň köklerini bolsa s_1, s_2, \dots, s_n bilen belgiläliň. Onda (5.29) aňlatmany aşakdaky görnüşde aňladyp bolar.

$$F(s) = 1 + W_u(s) = \frac{D(s)}{d(s)} = \frac{(s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_n)}{(s - s_1')(s - s_2') \dots (s - s_n')}. \quad (5.29)$$

s – wektoryň ugruny hyýaly ok bilen gabat gelýär diýip kabul edýäris, ýagny $s = j\omega$ bilen çalyşýarys. Onda (5.30) aňlatma şeýle görnüşde ýazylar:

$$F(j\omega) = 1 + W_u(j\omega) = \frac{D(j\omega)}{d(j\omega)} = \frac{(j\omega - s_1)(j\omega - s_2) \dots (j\omega - s_n)}{(j\omega - s_1')(j\omega - s_2') \dots (j\omega - s_n')}. \quad (5.30)$$

Soňky aňlatmanyň sanawjysy we maýdalawjysy wektorlar görnüşinde teklipl edilip bilner. Şol wektorlaryň modullary $(j\omega - s)$ köpeldiji wektorlaryň absolýut bahalarynyň köpeltmek hasylyna deňdir, aýlanma burçlary (argumentleri) bolsa köpeldiji wektorlaryň aýlanma burçlarynyň jemine deňdir.

$F(j\omega)$ wektor iki wektoryň böleklerinden durýandyr. Onuň moduly sanawjynyň we maýdalawjynyň wektorlarynyň absolýut bahalarynyň böleklerinden durýandyr.

Onuň argumenti bolsa sanawjynyň we maýdalawjynyň argumentleriniň tapawudy bilen kesgitlenilýär.

$$\Delta \text{Arg } F(j\omega) = \Delta \text{Arg } D(j\omega) - \Delta \text{Arg } d(j\omega). \quad (5.31)$$

Bu ýerde:

$\Delta \text{Arg } F(j\omega) - F(j\omega)$ – funksiýanyň argumentiniň doly artdyrmasy;

$\Delta \text{Arg } D(j\omega) - D(j\omega)$ – funksiýanyň argumentiniň doly artdyrylmasy;

$\Delta \text{Arg } d(j\omega) - d(j\omega)$ – funksiýanyň argumentiniň doly artdyrmasy.

Mysal üçin, öwrenilýän utgaşdyrylmadyk ulgam n – tertipli deňleme bilen ýazylan bolsun. Durnukly, ýagny utgaşdyrylmadyk ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesiniň “sag” kökleriniň sany nola deň ($m_{a\text{çy}k} = 0$). Hemme n -sany kökleri hyýaly okdan “çepde” ýerleşýän kökler (hakyky bölegi nola deň bolan kökler hem “çep” köklere degişli bolsun).

Değişlilikde:

$$\Delta \text{Arg } d(j\omega) = n \frac{\pi}{2}, \quad 0 \leq \omega \leq \infty$$

Mihaýlowyň durnuklylyk kriterisine laýyklykda utgaşdyrylan ASU-nyň durnuklylygynyň zerur we ýeterlik şerti üçin aşakdaky deňlik ýerine ýetmelidir:

$$\Delta \text{Arg } D(j\omega) = n \frac{\pi}{2}, \quad 0 \leq \omega \leq \infty$$

Bu ýerde n – häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesi.

Onda $F(j\omega)$ wektoryň doly aýlanmasy nola deň bolýar.

$$\Delta \text{Arg } F(j\omega) = \Delta \text{Arg } D(j\omega) - \Delta \text{Arg } d(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - n \frac{\pi}{2} = 0, \quad 0 \leq \omega \leq \infty \quad (5.32)$$

Şeýlelikde, $F(j\omega)$ wektoryň jemleýji aýlanma burçy seredilip geçilen ($m_{a\text{çy}k} = 0$) şertlerde utgaşdyrylan durnukly ulgam üçin nola deňdir.

Eger-de awtomatiki sazlanýlan ulgam utgaşdyrylmadyk ýagdaýynda $m_{a\text{çy}k}$ sany hyýaly okdan sagda ýerleşýän kökleri we $n - m_{a\text{çy}k}$ sany hyýaly okdan çepde ýerleşýän kökleri saklaýan bolsun, onda argumentler prinsipine laýyklykda alarys:

$$\Delta \text{Arg } d(j\omega) = (n - 2m_{a\text{çy}k}) \frac{\pi}{2}, \quad 0 \leq \omega \leq \infty \quad (5.33)$$

Berlen şertlerde durnukly utgaşdyrylan ulgamyň wektorynyň jemleýji aýlanma burçy

$$\Delta \text{Arg } F(j\omega) = \Delta \text{Arg } D(j\omega) - \Delta \text{Arg } d(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - (n - 2m_{\text{a}\check{\text{c}}\text{y}\text{k}}) \frac{\pi}{2} = \quad (5.34)$$

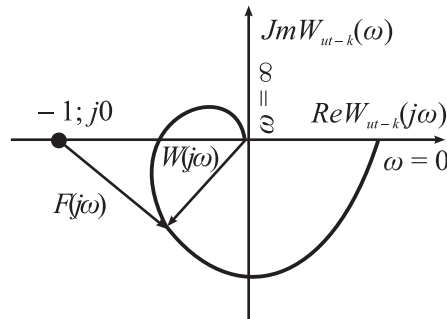
$$= \pi \cdot m_{\text{a}\check{\text{c}}\text{y}\text{k}}$$

ululyga deň bolýar.

$F(j\omega)$ wektoryň argumentiniň doly artdyrmasyny kesgitlemek üçin onuň godografyny bilmek, umuman, talap hem edilmeyär. Amplituda-faza häsiýetnamasynyň godografyny bilmek zerur ýa-da $F(j\omega)$ funksiýanyň wektory utgaşdyrylmadyk ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň wektoryndan birlige tapawutlanýandygyny hasaba almalydyr, ýagny $F(j\omega) = 1 + w_{\text{utgaş.}}(j\omega)$. Onda $F(j\omega)$ – wektoryň başlangyjy koordinatalar başlangyjynda bolman, $(-1; j0)$ koordinataly nokatda bolar.

$F(j\omega)$ – wektoryň ahyry bolsa utgaşdyrylmadyk ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň wektorynyň ahyry bilen gabat gelýär.

Şonuň üçin $F(j\omega)$ – wektoryň aýlawy koordinatalary $(-1; j0)$ bolan nokadyň daşynda aýlanýan utgaşdyrylmadyk ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň wektorynyň aýlawyna gabat gelýär (5.14-nji çyzgy).



5.14-nji çyzgy

Aýdylanlara esaslanyp durnuklylygyň amplituda-faza kriterisini aşakdaky ýaly formulirläp bolýar.

1. Eger-de ulgam utgaşdyrylmadyk (aýyk) ýagdaýda durnukly bolsa, onda utgaşdyrylan (ýapyk) ýagdaýda durnuklylygy üçin ω -yň 0-dan ∞ -e çenli üýtgän ýagdaýynda $W_{\text{ut-k}}(j\omega)$ görnüşli amplituda-faza häsiýetnamasynyň $(-1; j0)$ koordinataly nokady öz içine almazlygy zerur we ýeterlik şert bolup durýar.

2. Eger-de ulgam utgaşdyrylmadyk (aýyk) ýagdaýynda durnuksyz we $m_{\text{ut-k}}$ sany sag ýarymtekizlikde ýerleşýän kökleri bar bolsa, onda ulgamyň utgaşdyrylan (ýapyk) ýagdaýynda durnuklylygy üçin ω ululygynyň bahasy 0-dan ∞ -e çenli üýtgän ýagdaýynda $W_{\text{ut-k}}(j\omega)$ görnüşli amplituda-faza häsiýetnamasy öz hereketini sagat diliniň tersine dowam etdirip, koordinatalary $(-1; j0)$ bolan nokady $m_{\text{ut-k}}/2$ gezek öz içine almagy zerur we ýeterlik şert bolup durýar, şeýle-de seredilýän kriteriler

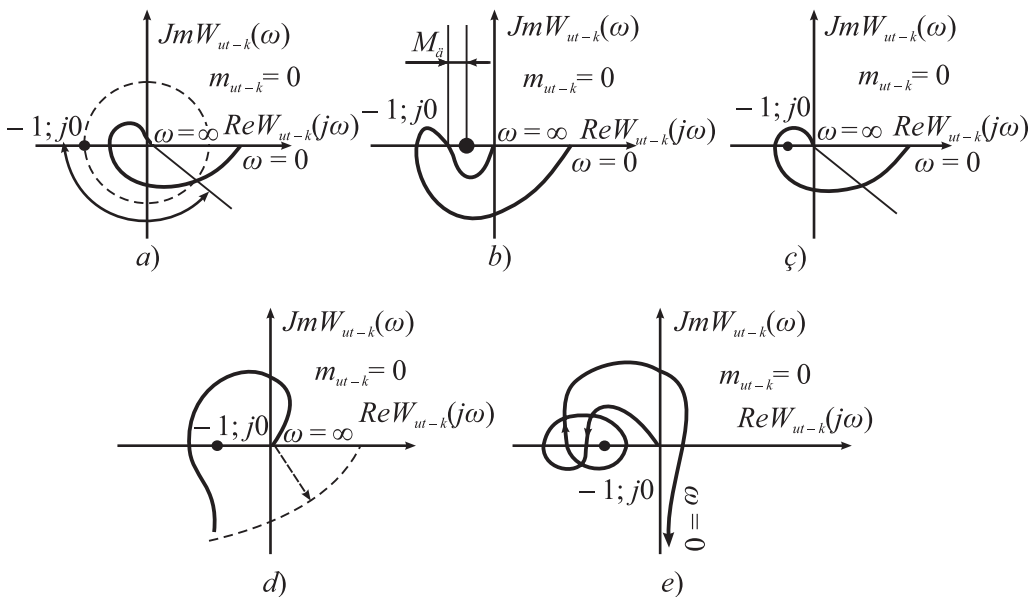
ulgamy astatiki häsiýetli bolup, $d(p)$ polinom 1 sany 0-a deň bolan köki saklan ýagdaýynda hem ulanylyp bilner. Bu ýagdaýda amplituda-faza häsiýetnamasy hakyky okuň položitel ýarym bölegini iň kiçi ýol bilen kesýänçä, ol radiusy tükeniksiz uly bolan töweregiň bölegi bilen doldurylýar we koordinatalary $(-1; j0)$ bolan nokada otositellikde onuň ýerleşşi kesgitlenilýär.

Koordinatalary bolan $(-1; j0)$ nokadyň daşynda aýlanmanyň sanyny amplituda-faza häsiýetnamasynyň hakyky okuň $(-\infty; -1)$ bölegini kesip geçmegiň sany boýunça kesgitläp bolýar. Bu bölegi häsiýetnamanyň aşagyndan ýokarlygyna kesip geçmesi otrisatel, ýokarsyndan aşaklygyna kesip geçmesi bolsa položitel diýlip kabul edilýär.

Utgaşdyrylan (yapyk) ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň $(-\infty; -1)$ şol bölegi položitel kesmesiniň sany otrisatel kesmesiniň sanyndan $m_{ut-k}/2$ gezek köp bolan ýagdaýynda sistema durnukly bolar.

Bu ýerde m_{utg} – utgaşdyrylmadyk (açyk) ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesiniň hyýaly okdan sagda ýerleşen kökleriniň sany.

Indi 5.15-nji çyzgyda görkezilen hersi üçin “sag” kökleriniň sany belli bolan utgaşdyrylmadyk (açyk) ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň mysallaryna seredip geçeliň.



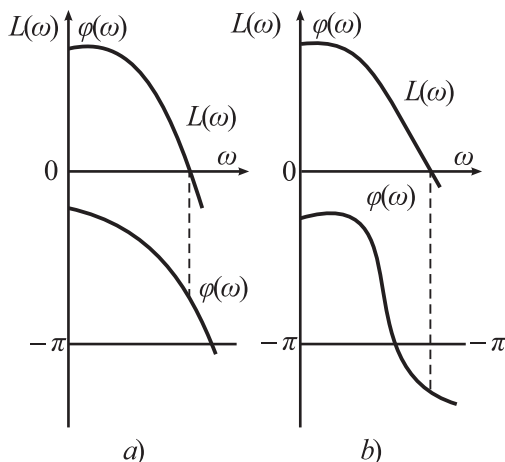
5.15-nji çyzgy

Häsiýetnamalaryň seljermesi ulgamlaryň durnuklylygyny utgaşdyrylan (ýapyk) görnüşde derňemäge ýardam berýär. 5.15-nji (a, b we ç) çyzgylardaky amplituda-faza häsiýetnamalary utgaşdyrylan ýagdaýynda durnukly, galanlary bolsa utgaşdyrylan ýagdaýda durnukly däl ulgamlar üçin maglumat berýärler.

5.7.3. Naýkwistiň logarifmiki durnuklylyk kriterisi

Eger-de utgaşdyrylmadyk (açyk) ulgamlaryň amplituda-faza häsiýetnamalarynyň ýerine áyratynlykda amplituda-ýygyllyk we faza-ýygyllyk häsiýetnamalary gurlan bolsa, onda olaryň özara ýerleşişleri boýunça hem utgaşdyrylan ulgamyň durnuklylygyny anyklap bolýar.

Bu ýagdaýda ýygyllyk häsiýetnamalarynyň $(-\infty; -1)$ bölekden geçme düzgüni ulanylýar. Bu ýerde üç sany ýagdaýa seredip geçeliň.



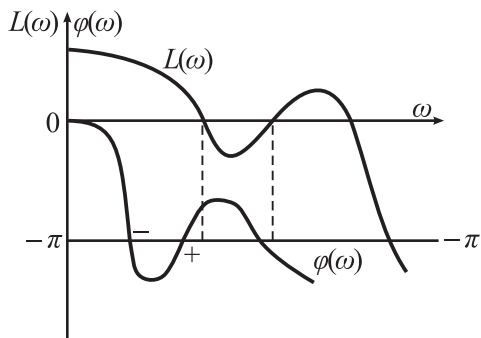
5.16-njy çyzgy

1-nji ýagdaý. Utgaşdyrylmadyk ýagdaýda ulgam durnukly we onuň adaty amplituda-faza häsiýetnamasy koordinatalary $(-1; j0)$ bolan nokady öz içine almaýar, ýagny hakyky okuň $(-\infty; -1)$ bölegini kesip geçmeýär. Bu ýagdaýda Naýkwist-Mihaýlowyň kriterilerine, degişlilikde, utgaşdyrylan ulgamyň durnuklylygy üçin adaty amplituda-faza häsiýetnamasynyň merkezi koordinatalar başlangyjyndan başlaýan birlik töwerek bilen kesişýänçä degişli bolan nokatlaryna φ – fazanyň $(-\pi)$ -ululykdan uly bahalary gabat gelmelidir, ýöne şeýle bolýanlygy sebäpli adaty amplituda-faza häsiýetnamasynyň merkezi koordinatalar başlangyjyndan başlaýan birlik töwerek bilen kesişýän nokadyna logarifmiki amplituda häsiýetnamasynyň ýygyllyklar oky bilen kesişýän nokady gabat gelýär. Şonuň üçin hem logarifmiki häsiýetnamalara durnuklylygyň şertini ýa-da kriterisini indiki görnüşde ýazyp bolar.

Utgaşdyrylmadyk ulgam durnukly we onuň adaty amplituda-faza häsiýetnamasy $(-\infty; -1)$ – aralygy kesip geçmeýän bolsa, onda şol ulgamyň utgaşdyrylan ýagdaýda durnukly bolmagy üçin ýygyllygyň ähli ululygynda onuň logarifmiki amplituda ýygyllyk häsiýetnamasy položitel we $\varphi(\omega)$ – fazasynyň bahasy bolsa $(-\pi)$ uly bolmalydyr. Kriterini ulanmagyň mysaly 5.16-njy (a we b) çyzgylarda görkezilen. a) ulgam durnukly; b) ulgam durnuksyz.

2-nji ýagdaý. Ulgam utgaşdyrylmadyk ýagdaýynda durnukly, ýöne onuň adaty amplituda-faza häsiýetnamasy hakyky okuň $(-\infty; -1)$ aralygyny kesip geçýän bol- sun. Bu ýerde ulgamyň utgaşdyrylan ýagdaýynda durnukly bolmagy üçin adaty amplituda-faza häsiýetnamasy hakyky okuň $(-\infty; -1)$ aralygyny položitel kesip geçmesiniň (ýokardan aşaklygyna) sany bilen otrisatel kesip geçmesiniň (aşakdan ýokarlygyna) sanynyň arasyndaky aratapawut nola deň bolmalydyr, ýöne adaty amplituda-faza häsiýetnamasynyň hakyky okuň $(-\infty; -1)$ aralygyny kesip geçýän nokadynda logarifmiki amplituda häsiýetnamasy položitel, sebäbi $20 \lg(1 + \dots) > 0$, logarifmiki faza häsiýetnamasy $(-\pi)$ göni çyzygy kesip geçmäniň alamatyna bagly- lykda aşakdan ýokarlygyna ýa-da ýokardan aşaklygyna kesip geçýär. Şonuň üçin hem logarifmiki faza häsiýetnamasynyň $(-\pi)$ göni çyzygy aşakdan ýokarlygyna kesip geçme nokady **položitel geçme**, $(-\pi)$ göni çyzygy ýokardan aşaklygyna ke- sip geçme nokady bolsa **otrisatel geçme** diýlip şertleşilse, onda seredilip geçilýän ýagdaýda logarifmiki häsiýetnamalar üçin durnuklylyk kriterisini indiki görnüşde ýazyp bolar:

Ulgam utgaşdyrylmadyk ýagdaýynda durnukly bolup, onuň utgaşdyrylan ýag- daýynyň hem durnukly bolmagy üçin $L(\omega)$ – logarifmiki amplituda häsiýetnama- synyň položitel ululykda bolýan ω -nyň bahalarynda $\varphi(\omega)$ – faza häsiýetnamasynyň $(-\pi)$ göni çyzygy položitel we otrisatel kesip geçmeleriniň sanynyň arasyndaky aratapawut nola deň bolmalydyr. Kriterini ulanmagyň mysaly 5.17-nji çyzygyda görkezilendir.



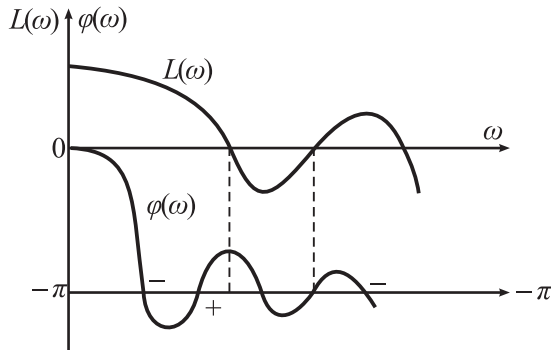
5.17-nji çyzygy

3-nji ýagdaý. Utgaşdyrylmadyk ýagdaýda ulgam durnukly däl. Bu ýagdaýda Naýkwist-Mihaýlowyň kriterilerine, degişlilikde, adaty amplituda-faza häsiýetna- masynyň hakyky okuň $(-\infty; -1)$ aralygyny položitel we otrisatel kesip geçmele- riniň sanynyň arasyndaky tapawut $m/2$ -ä deň bolsa, utgaşdyrylan ýagdaýda hem sistema durnukly bolup biler diýip aýdyp bolar.

Bu ýerde m -hakyky bölegi položitel bolan kompleks kökleriň sany. **Adaty amplituda-faza häsiýetnamasynyň položitel we otrisatel kesip geçmeleriniň sany** diýlip hakyky okuň $(-\infty; -1)$ aralygyny ýokardan aşaklygyna we aşakdan

ýokarlygyna kesip geçmesine düşünilýär. Aýdylyp geçilenleri hasaba almak bilen, logarifmiki amplituda-faza häsiýetnamalary üçin durnuklylyk kriterisini indiki görnüşde ýazyp bolar:

Utgaşdyrylmadyk ýagdaýda häsiýetlendiriji deňlemeleri m -sany položitel hakyky bölegi saklaýan kökleri bolan ulgamyň utgaşdyrylan ýagdaýda durnukly bolmagy üçin şol bir ω -ny H ululyklarynda logarifmiki amplituda häsiýetnamasynyň položitel bahalarynda logarifmiki faza häsiýetnamasynyň $(-\pi)$ göni çyzygy položitel we otrisatel kesip geçmeleriniň sanynyň arasyndaky aratapawudyň $m/2$ -ä deň bolmagy zerur we ýeterlik şert bolup durýandyr.



5.18-nji çyzgy

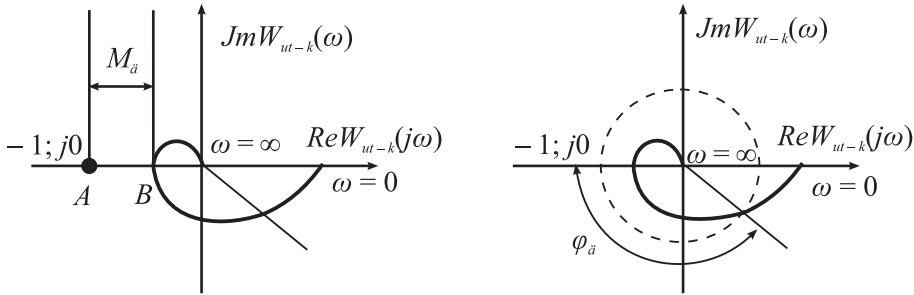
5.17-nji çyzgyda utgaşdyrylmadyk durnuksyz ulgamyň ($m = 2$) logarifmiki häsiýetnamalary görkezilendir.

5.8. ASU-nyň durnuklylygynyň ätiýaçlygy barada düşüňjeler

Her bir ulgam durnukly ýagdaýynda özüniň M_a – moduly we φ_a – fazasy boýunça häsiýetlendirilýär. Ulgamlaryň bu ululyklary bolsa ulgamlary durnukly ýagdaýdan durnuksyz ýagdaýa geçirmek üçin näçe deformirläp bolýandygyny görkezýärler. Moduly boýunça ätiýaçlyk koordinatalary $(-1; j0)$ bolan nokat bilen sistemanyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň hakyky okunyň otrisatel ýarym bölegi bilen iň ýakyn kesişme nokadynyň aralygyndaky (5.19-njy (a) çyzgy) AB uzynlyk bilen häsiýetlendirilýär. Fazasy boýunça durnuklylyk ätiýaçlygyny kesgitlemek üçin $W_{ut-k}(j\omega)$ tekizliginde merkezi koordinatalar başlangyjynda bolan 1-lik töwerek geçirilýär. Koordinatalar başlangyjyndan şol töwregiň amplituda-faza häsiýetnamasy bilen kesişme nokadyna çenli radius geçirilýär. Şol geçirilen radius bilen hakyky okuň otrisatel ýarym böleginiň arasynda emele gelen burça hem **ulgamyň fazasy boýunça ätiýaçlygy** diýilýär.

Elektrik energiýasy önümçiliginde hem yzagalmasy bolan ulgamlar bilen iş salşylýar. Şeýle ulgamlary öwrenmegiň, esasan hem, olaryň durnuklylygyny

öwrenmegiň özüniň ýörite aýratynlygy bolýar, sebäbi yzagalması bolan sistemaň häsiýetlendiriji deňlemesi transsendentaldyr. Şeýle deňlemeleriň sansyz köp kökleri bolýar. Şonuň üçin yzagalması bolan ulgamlaryň kompleks tekizlikdäki kökleriniň ýerleşme häsiýetlerini anyklamak kyn bolýar. Bu ýagdaý yzagalması bolmadyk sistemalar bilen deňeşdirilende has hem aýdyň görünýär. Bu mesele köp wagtlap özüniň çözüdini tapyp bilmeýär.



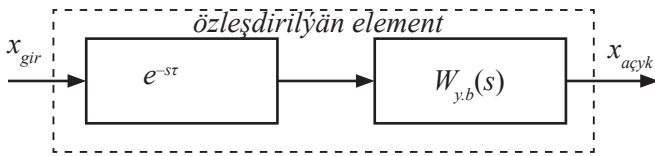
5.19-njy çyzgy

5.9. Yzagalması bolan ulgamyň durnuklylygy

5.9.1. Nazary başlangyçlar

XX asyryň 70-nji ýyllarynda rus alymlary **N. Z. Sypkiniň** we **Ý. I. Neýmarkyň** işleriniň esasynda awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary yzagalması bolan sistemalary öwrenmegiň usullary bilen baýlaşdyrylýar.

Öwrenilýän yzagalması bolan element iki sany yzygider birikdirilen halkalar görnüşinde approximirlenilýär. Olaryň biriniň arassa yzagalması bolýar, beýleki-siniň bolsa yzagalması bolmaýar (5.20-nji çyzgy).



5.20-nji çyzgy. Yzagalması bolan elementiň düzüm shemasy

Bu ýagdaýda öwrenilýän elementiň geçirijilik funksiýasy:

$$W(s) = W_{y.b}(s)e^{-s\tau}. \quad (5.35)$$

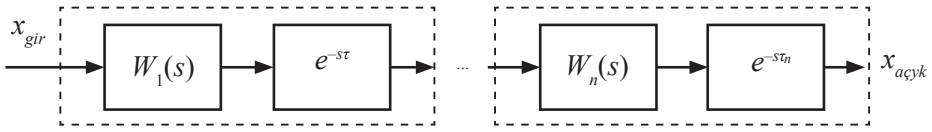
Bu ýerde:

$W_{y.b}(s)$ – yzagalması bolmadyk halkanyň geçirijilik funksiýasy;

$e^{-s\tau}$ – arassa yzagalması bolan halkanyň geçirijilik funksiýasy;

τ – yzagalma wagty.

Yzagalmary bolan n-sany elementi özünde saklaýan açyk ulgam indiki görnüşde teklip edilip bilner.



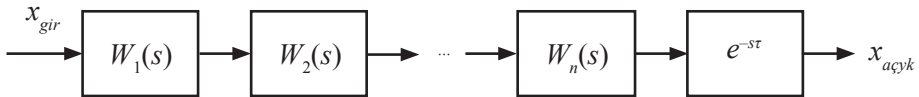
5.21-nji çyzgy

Şeýle ulgamyň geçirijilik funksiýasy indiki görnüşde bolar:

$$W_{acyk}(s) = \prod_{i=1}^n e^{-s\tau_i} \prod_{i=1}^n W_i(s) = e^{-s\tau} \prod_{i=1}^n W_i(s). \quad (5.36)$$

Bu ýerde $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$ – tutuş ulgamyň yzagalma wagty.

Eger şeýle bolsa, onda 5.20-nji çyzgydaky düzüm shemasy başga görnüşde hem hödürlenilip bilner.



5.22-nji çyzgy

Yzagalmary bolmadyk yzygider birikdirilen halkalaryň geçirijilik funksiýasy:

$$W_u(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot \dots \cdot W_n(s).$$

Onda yzagalmary bolan açyk ulgamyň geçirijilik funksiýasyny indiki görnüşde ýazyp bolar:

$$W_{acyk}(s) = W_u(s) \cdot e^{-s\tau}. \quad (5.37)$$

Bu ýerde $W_u(s)$ – aňlatma çäkli (yzagalmary) ulgamyň geçirijilik funksiýasynyň adyny görterýär.

Otrisatel öwranlaýyn arabaglanyşygy bolan ýapyk ulgamyň geçirijilik funksiýasynyň görnüşi aşkdaky ýaly bolar:

$$\Phi(s) = \frac{W_u(s) \cdot e^{-s\tau}}{1 + W_u(s) \cdot e^{-s\tau}} = \frac{\frac{k_u(s)}{d_u(s)} \cdot e^{-s\tau}}{1 + \frac{k_u(s)}{d_u(s)} \cdot e^{-s\tau}} = \frac{k_u(s) \cdot e^{-s\tau}}{d_u(s) + k_u(s) \cdot e^{-s\tau}}. \quad (5.38)$$

Bu ýerde:

$k_u(s)$ – açyk çäkli ulgamyň giriş operatory;

$d_u(s)$ – açyk çäkli ulgamyň hususy operatory.

Yzagalmasy bolan ýapyk ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi indiki görnüşde bolar:

$$k_u(s) \cdot e^{-s\tau} + d_u(s) = 0.$$

Onuň umumy çözüwi bolsa aşakdaky görnüşde bolar.

$$x_{\text{çyk}}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} c_i \cdot e^{-s_i t}. \quad (5.39)$$

5.9.2. Yzagalmasy bolan ulgamlaryň durnuklylygy

Ýokarda bellenen geçilişi ýaly, sazlanýan ulgamda bir ýa-da birnäçe yzagalmasy bolan element bar bolsa, onda onuň häsiýetlendiriji deňlemesi transsendentaldyr (kökleriniň sany tükeniksiz köpdür). Bu ýagdaý ýokarda seredilip geçilen durnuklylyk kriterileri arassa görnüşde yzagalmasy bolan ulgamlary öwrenmäge mümkinçilik bermeýär.

Ý.Z. Sypkin tarapyndan teklip edilen usul boýunça häsiýetnamasy gönüçyzykly bolan yzagalmaly ASU-nyň durnuklylygyna seredip geçeliň. Çäkli (yzagalmasy bolmadyk) açyk ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesini indiki görnüşde teklip edip bolar.

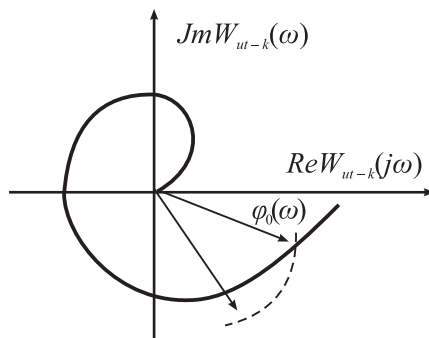
$$W_u(j\omega) = \frac{k_u(j\omega)}{d_u(j\omega)} = M_u(\omega) \cdot e^{j\varphi_u(\omega)}. \quad (5.40)$$

Yzagalmasy bolan ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesi:

$$W_{\text{açyk}}(j\omega) = W_u(j\omega) \cdot e^{-j\omega\tau} = M_u(\omega) \cdot e^{j[\varphi_u(\omega) - \omega\tau]}. \quad (5.41)$$

Soňky deňlemäniň seljermesi ulgam yzagalmasyny girizmäniň modul boýunça üýtgemäni girizmeýänligini we faza boýunça bolsa yzagalmany ýüze çykarýanlygyny görkezýär.

Değişlilikde, yzagalmasy bolan ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasyny gurmak üçin çäkli ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasyny gurmak zerurdyr. Şu häsiýetnamanyň her radius wektoryny sagat peýkamynyň ugry boýunça $\omega\tau$ – burça öwürmelidir, ýöne şu ýerde ýyglylygyň ulalmagy bilen faza boýunça gijä galmasynyň köpelyändigini hem hasaba alynmalydyr.



5.23-nji çyzgy

Amplituda-faza häsiýetnamasynyň deformasiýasynyň, köplenç, çäkli durnukly ulgam yzagalmasyny hasaba alsaň, durnuksyz bolmagy hem mümkindir.

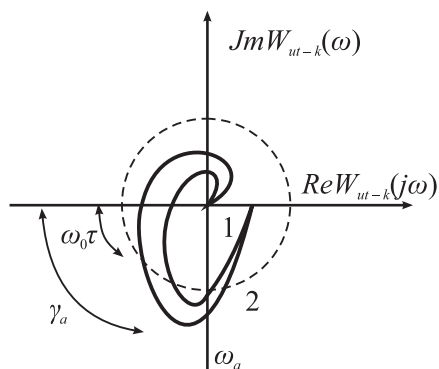
$$\varphi(\omega_1) = \varphi_0\omega_1 - \omega_1\tau;$$

$$\varphi(\omega_2) = \varphi_0\omega_2 - \omega_2\tau \text{ we ş.m.}$$

Yzagalmasy bolan ulgamyň durnuklylygyny nähili ýagdaýda öwrenip bolýar?

Goý, çäkli açyk ulgam durnukly we onuň amplituda-faza häsiýetnamasy koordinatalary $(-1; j0)$ bolan nokady öz içine almaýan bolsun (5.24-nji çyzgydaky 1-nji häsiýetnama).

Onda Naýkwistiň durnuklylyk kriterisine laýyklykda çäkli ýapyk ulgam hem durnukly bolar. Goý, ýapyk ulgamyň fazasy boýunça ätiýaçlygy burç bolsun. Ýygylyk häsiýetnamasynyň modulynyň 1-e deň bolan ýygylygyny ω_a bilen belgiläliň. Ulgama yzagalma girizeliň. Bu ýagdaýda amplituda-faza häsiýetnamasy deformirlenýär (5.23-nji çyzgydaky 2-nji häsiýetnama).



5.24-nji çyzgy

Eger-de $\omega_0\tau < \gamma_a$ bolsa, onda yzagalmasy bolan ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasy $(-1; j0)$ koordinatalary nokady öz içine almaýar we yzagalmasy bolan ulgam hem çäkli ulgam ýaly durnukly bolar.

τ – ululygyň ulalmagy bilen durnuklylygyň ätiýaçlygy azalýar we haýsy-da bolsa bir yzagalma wagtda yzagalmany ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasy $(-1; j0)$ koordinatalary nokadyň üstünden geçer. Şeýlelikde, $\gamma_a = \omega_a \cdot \tau_{kr}$.

Şu ýagdaýda ulgam durnuklylygyň araçäginde bolar.

$$\tau_{kr} = \frac{\gamma_a}{\omega_a} - \text{gatnaşyga kritiki yzagalma wagty diýilýär.}$$

Eger-de $\omega_a \cdot \tau > \gamma_a$ ýa-da edil şonuň ýaly $\tau > \tau_{kr}$ bolsa, onda ulgam durnuksyz bolar. Ýokarda beýan edilen durnuklylyk kriterisiniň esasynda seredilen ýagdaýy aşakdaky görnüşde jemläp bolar:

Eger-de çäkli ulgam durnukly bolup, yzagalma wagty özüniň kritiki bahasyndan kiçi bolan ýagdaýynda yzagalmasy bolan ulgam hem durnukly bolar.

Eger-de çäkli ulgamyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň birlik radiusly töwerek bilen kesişme nokatlary birnäçe bolsa, onda durnukly oblastlar durnukly däl oblastlar bilen gezeleşerler.

Çäkli ulgamyň durnuksyz ýagdaýynda onuň durnukly ýagdaýa geçmek mümkinçiligini yzagalma girizmek bilen amala aşyryp bolar.

VI BAP DURNUKLYLYK OBLASTLARYNY TAPAWUTLANDYRMAK. D-BÖLÜNME

6.1. Umumy maglumatlar

Ulgamlaryň halkalarynyň güýçlendirijilik koeffisiýentleri we wagt hemişelikleri awtomatiki sazlanýlan ulgamlaryň parametrleri bolup durýarlar. Bu parametrleriň ahlisini energiýa ulgamynyň awtomatlaşdyrylyşyna degişlilikde esasy üç topara bölýärler.

Birinji topara sazlanýlan ulgamyň esasy halkalarynyň parametrlerini degişli edýärler we olara generatorlaryň, transformatorlaryň hem-de elektrik geçiriji liniýalaryň parametrleri girýärler. Bu parametrleri sazlaýjylar taslanýlanda-da, ulanylanda-da üýtgedip bolmaýar. Şonuň üçin hem bu parametrler **öňünden berlen parametrler** diýlip atlandyrylýar. **Ikinji topara** sazlanýlan ulgamyň kömekçi enjamlarynyň parametrleri degişli edilýär hem-de olara oýandyryjy gurluşlaryň we sazlaýjylaryň wagt hemişelikleri girýärler. Bu parametrleri sazlaýjylary taslama prosesinde ýeterlik derejede öz erkine saýlanyp bilner, ýöne eýýäm olar ulanylanda, düzedilende we sazlanýlanda bolsa üýtgedilip bilinmeýär. Şonuň üçin hem olara **konstruktiv parametrler** diýilýär. **Üçünji topara** sazlaýjyny sazlamak üçin ulanylan parametrleri girýär. Bu parametrlere öwränläýyn baglanyşygyň parametrleri, güýçlendiriji we differensirleýji halkalaryň güýçlendirijilik koeffisiýentleri degişli edilýär.

Sazlaýjy ulanylanda olary sazlamakda, bahasyny kesgitli çäkde üýtgetmek mümkinçiligi bolýar. Şonuň üçin hem olara **sazlanýlan parametrler** diýilýär. Sazlanýlan ulgamyň durnuklylygynyň seljermesini onuň konstruktiv we sazlanýlan parametrleriniň ýagdaýyna baglylykda indiki iki ugruň biri boýunça geçirip bolar. **Birinji ugru** sazlanýlan ulgamyň durnuklydygy ýa-da durnukly däldegi baradaky soraga jogap gözlemek bilen häsiýetlendirilýär. Şu ýagdaýda ähli esasy we konstruktiv parametrleri çäk bilen öňden belli hem-de sazlanýlan parametrleri saýlanýan. Bu ýerde durnuklylygyň seljermesi barlag häsiýetli bolýar we onuň üçin islendik belli bolan durnuklylygyň algebraik ýa-da ýygylk kriterileri (Raus-Gurwisiň, Mihaýlowyň we beýl.) ulanylyp bilner. **Ikinji ugru** sazlanýlan ulgamyň konstruktiv we sazlanýlan parametrlerini üýtgedip durnuklylykda galyp bilýän oblastlaryň hemmesini gözlemek bilen häsiýetlendirilýär. Şu ýagdaýda diňe esasy parametrleri anyk kesgitlenilen we öňünden berlen. Bu ýerde bolsa durnuklylygyň seljermesi ulgamyň konstruktiv we sazlanýlan parametrlerini üýtgedip bolýan çäklerindäki durnuklylyk oblastynyň araçägini gurmaga syrykdyrylýar. Başgaça aýdylanda, konstruktiv ýa-da sazlanýlan parametrleriň tekizliginde durnuklylyk oblastynyň araçägini gurmak diýlip düşünilýär. **Durnuklylyk oblastynyň**

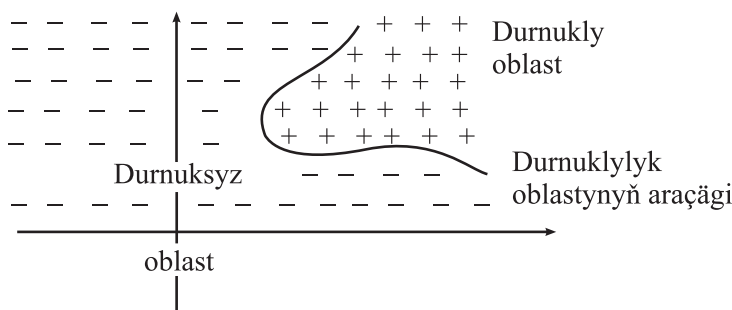
araçägi diýlip ulgamyň parametrleriniň tekizliginde durnuklylyk oblastyny durnuksyz oblastdan aýralaýan nokatlaryň köpçüligine aýdylýar. Ulgamyň durnuklylygyna galmagyny dowam etdirýän konstruktiv we sazlama parametrleriniň mümkin bolan ähli bahalaryny ýüze çykarmak, aýratyn hem, täze sazlanýan ulgamlar konstruirileninde örän möhüm ähmiýete eýedir, şeýle hem bu parametrler bar bolan ulgamlar ulanylanda olary düzeltmekde we sazlamakda giňden peýdalanylýar.

Durnuklylyk oblastyny gurmagy ulgamyň parametrleriniň tekizliginde, şeýle-de şu parametrleri görkezýän häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleriniň tekizliginde alyp barmak mümkindir. Durnuklylyk oblasty amaly taýdan göz önüne getirilende häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleriniň tekizliginde agzalyan oblast kesgitlenilse ýeňil bolýar. Goý, ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi indiki görnüşde bolsun:

$$f(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0. \quad (6.1)$$

Deňlemäniň koeffisiýentlerinden başga ähli koeffisiýentler belli. a_1 we a_n dekart koordinatalary bolan tekizligiň birinji kwadrantynda, ýagny $a_1 > 0$ we $a_n > 0$ bolan ýagdaýynda erkin nokady saýlaýarys we şol nokada gabat gelýän a_1 we a_n ululyklary (6.1) deňlemä goýýarys.

Eger-de bu ýagdaýda (6.1) deňlemäniň hemme kökleri otrisatel, ýagny kökler tekizliginiň hyýaly ululyklarynyň okundan çepde ýerleşen bolsa, onda 6.1-nji çyzgydaky saýlanylýan nokat “+” alamaty bilen belgilenilýär.

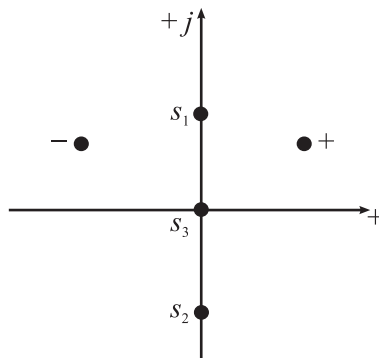


6.1-nji çyzgy. Durnuklylyk oblastlarynyň tapawutlandyrylyşy

Eger-de, bolmanda, bir kök položitel bolup, ol hem agzalyan okuň sag tarapynda ýerleşýän bolsa, onda 6.1-nji çyzgydaky saýlanylýan nokat “-” alamaty bilen belgilenilýär. Zygiderlikde ähli mümkin bolan $a_1 > 0$, $a_n > 0$ baglanyşykdaaky bahalary kesgitlenilip, olar a_1 , a_n – tekizliginde “+” we “-” alamatlary bilen belgilenilip ýerleşdirilýär.

Kökler tekizliginiň birinji kwadrantynda “+” we “-” alamatlarynyň bar bolanlygy sebäpli, ol ýerde “nol” bilen belgilenilen nokatlar hem bolmalydyr. Olar 6.2-nji çyzgyda görkezilen kökler tekizligindäki nol ýa-da arassa jübüt hyýaly

köklere gabat gelyärler. Eger-de a_1, a_n – tekizlikde şu “nol” kökleriň üstünden egri çyzyk geçirilse, onda şol egri çyzyk 6.1-nji häsiýetlendiriji deňlemäniň a_1, a_n – koeffisiýentleriniň tekizligindäki durnuklylygyň araçägini görkezär. Bu ýagdaýda “+” alamaty bilen belgilenilen nokatlaryň köpçüligi sazlanýan ulgamyň durnukly oblastyny, degişlilikde, “-” alamatly nokatlaryň köplügi bolsa durnuksyz oblastyny emele getirýär.



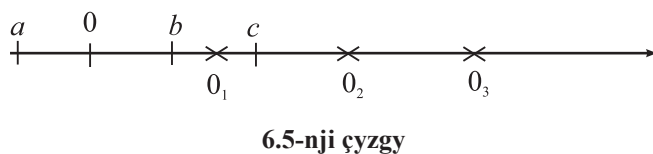
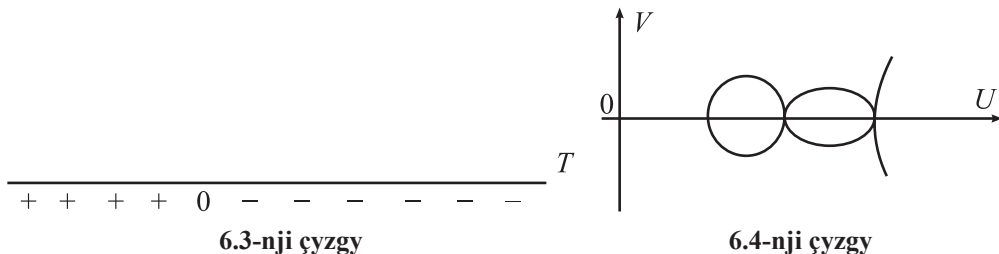
6.2-nji çyzgy

Şeýlelikde, häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleriniň tekizligindäki durnuklylyk oblastynyň serhedi (6.1-nji çyzgy) şu deňlemäniň kökler tekizligindäki hyýaly okuna gabat gelyändir. Häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleriniň durnuklylyk oblastynyň araçäginden durnuksyzlyk oblastyna geçmesi, bolmanda, bir hakyky ýa-da iki sany baglanyşdyrylan-kompleks kökleriň kökler tekizligindäki hyýaly okuň çep tarapyndan sag tarapyna geçmesi bilen gabat gelyändir.

Häsiýetlendiriji deňlemäniň parametrleriň tekizligindäki durnuklylyk oblastynyň araçägi diýen düşüňjäni indiki görnüşde düzüp bolar.

Goý, ulgamyň haýsy hem bir halkasynyň T wagt hemişeliginden başga onuň häsiýetlendiriji deňlemesine girýän ähli parametrleri kesgitlenilen ýa-da berlen bolsun. Bu ýagdaýda agzalýan T – parametr boýunça sazlanýan ulgamyň durnuklylyk oblastyny kesgitlemek mümkindir. Hakykatdan hem, eger-de T – wagt hemişeligine islendik bahany bersek, onda (6.1) görnüşli n –tertipli häsiýetlendiriji deňlemäniň hemme koeffisiýentlerini kesgitläp bolar. Degişlilikde, T – wagt hemişeliginiň her bahasyna n –sany kökleriň bahalary gabat geler. Olar umumy ýagdaýda *hakyky, hyýaly we kompleks* görnüşlerinde bolup bilerler. Hemme kökleriň kökler tekizliginde hyýaly ululyklaryň okundan çepde ýa-da iň bolmanda, bir köküniň okdan sagda ýatanlygyna baglylykda T – parametriň sanly ýarym okundaky her bir nokadyny, degişlilikde, “+”, “-” ýa-da “0” alamatlary bilen belläp bolar. “+” alamatly nokatlaryň köplügi T – parametr boýunça ulgamyň durnukly oblastyny, “-” alamatly nokatlaryň köplügi, degişlilikde, durnuksyz oblastyny we “0” bellikli nokat bolsa şol parametr boýunça durnuklylygyň araçägini görkezýär.

Edil şonuň ýaly islendik iki parametriň tekizliginde hem *durnukly oblastyň araçägi* diýen düşünje girizilýär. Mysal üçin, iki sany wagt hemişelikleriniň, güýçlendirijilik koeffisiýentleriniň tekizliginde ýa-da wagt hemişeligi bilen güýçlendirijilik koeffisiýentiniň tekizliginde durnuklylygyň araçägini kesgitläp bolýar.



6.5-nji çyzygyda bolsa üç parametriň giňişliginde durnuklylyk oblastynyň araçäginiň alnysy görkezilendir.

6.2. Parametrleriň tekizliginde D–bölünme barada düşüňjeler

Parametrleriň giňişligindäki durnuklylyk oblastynyň araçägi baradaky düşünjani girizmek bilen, mundan beýläk özleşdirilýän parametrleriň tekizligindäki her bir nokady (haçan-da bu nokatda häsiýetlendiriji deňlemäniň hemme kökleri kökler tekizliginde hyýaly ululyklaryň okundan çepde ýatan bolsa) “+” alamaty (haçan-da agzalýan okdan, bolmanda, bir kök sagda ýatanda) we “-” alamaty bilen belgilenilmän, eýsem kökler tekizliginde hyýaly ululyklaryň okundan çepde ýatýan kökleriniň sanyny görkezýän m -sany ululyk bilen belgilemek şertlendirilse, onda parametrleriň her nokady üçin hyýaly ululyklaryň okundan çepde ýerleşen kökleriň sany hasaba alynýar. Görnüşi ýaly, kökler tekizliginiň hyýaly ululyklarynyň okundan çepde ýerleşýän kökleriň sanyna parametrleriň tekizliginde nokatlaryň deň sany gabat geler.

Parametrler tekizliginiň hakyky bölegi otrisatel bolan kökleriň deň sanyny saklaýan oblastlara bölmek düşünjesi, ilki bilen, rus alymy **Ý.I. Neýmark** tarapyndan girizilýär we ol düşünjä **D–bölünme** ady berilýär. Özleşdirilýän parametrleriň tekizligini otrisatel kökleriň deňsanly oblastlaryna bölýän egri çyzyklara **D–bölünmäniň araçäkleri** diýilýär. Položitel kökleriň sany nola deň, otrisatel kökleriniň sany has köp bolan parametrleriň oblastyna **durnukly oblast** diýilýär.

D -bölünmäniň araçägi häsiýetlendiriji deňlemäniň kökler tekizligindäki hyýaly ululyklaryň okunyň üstünde ýatýan bir köküni saklaýan ýagdaýyndaky parametrleriň ululyklaryna gabat gelýär. Başgaça aýdylanda, D -bölünmäniň araçäginiň her bir nokadyna hyýaly ululyklaryň okunda ýerleşýän häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleriň bahalary gabat gelýändir. Bu ýerden bolsa parametrleriň giňişligindäki D -bölünmäniň egri çyzygyna kökler tekizligindäki hyýaly ululyklaryň okunyň gabat gelýänligi ýüze çykýar. Ýokarda beýan edilenlerden bolsa D -bölünmäniň araçägini gurmagyň ýönekeý usuly gelip çykýar. Munuň üçin hem (6.1) görnüşli häsiýetlendiriji deňlemä $s = j\omega$ ululyk (hyýaly ululyklaryň okundaky kök) goýulýarlar. Deňlemäniň hakyky we hyýaly böleklerini aýralap indiki deňligi alarys:

$$f(j\omega) = U(\omega) + V(\omega) = 0. \quad (6.2)$$

Eger-de $U(\omega)$ we $V(\omega)$ funksiýalar nola deň, ýagny $U(\omega) = 0$ we $V(\omega) = 0$ bolsa, onda ýokarky deňligi almak mümkindir. ω -nyň bahasyna haýsy hem bolsa bir ululygy bereliň. Onda $U(\omega_1)$ we $V(\omega_1)$ funksiýalary diňe häsiýetlendiriji deňlemäniň $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ görnüşli koeffisiýentlerine bagly bolarlar. Degişlilikde, bu koeffisiýentler bir wagtda $U(\omega_1) = 0$ we $V(\omega_1) = 0$ şertleri kanagatlandyrýarlar. Bu ýagdaý hem D -bölünmäniň araçäginiň bir nokadyny (parametrleri tekizliginde hyýaly ululyklaryň okundaky köki) kesgitleýär. ω -nyň bahasy $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli üýtgedilip, D -bölünmäniň ähli araçäk nokatlary kesgitlenilýär. D -bölünmäni bir, iki, üç we köpsanly parametrleri boýunça hem ýerine ýetirip bolýar.

6.3. Bir parametr boýunça D -bölünme

Häsiýetlendiriji deňlemäni islendik wagtda hemişeligi bolan T ýa-da güýçlendirijilik koeffisiýenti bolan K -ululyklara oňnositellikde işläp, ony umumy ýagdaýda μ - ululyk bilen belgiläliň. Onda öňden belli bolan $s = j\omega$ çalyşmany ulanyp, hakyky we hyýaly ululyklary biri-birinden aýralap ýazarys:

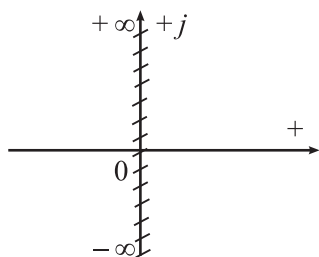
$$\mu = U(\omega) + jV(\omega).$$

μ - parametr boýunça D -bölünmäniň araçägini gurmak üçin U we V koordinatalary bolan tekizlige seredip geçeliň we ony μ - **parametriň tekizligi** diýip atlandyralyň, $\omega = \omega_1$ ululygy berip $U(\omega_1)$ we $V(\omega_1)$ funksiýalaryň bahasyny kesgitleliň. Bu funksiýalar, öz gezeginde, μ - parametriň tekizliginde degişli nokadyň ýerleşişini kesgitleýärler. Edil şonuň ýaly hem $\omega = \omega_2$ ululyk üçin $U(\omega_2)$ we $V(\omega_2)$ funksiýalar kesgitlenilip μ - parametriň tekizliginde ikinji nokat tapylýar. ω -nyň bahasyny $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli üýtgedip D -bölünmäniň ähli araçäk nokatlary kesgitlenilýär. D -bölünmäniň egri çyzygyny gurmagy ýönekeýleşdirip hem bolýar. Eger-de ω -nyň bahasy $-\infty$ -den $+0$ -a çenli üýtgedilip alnan ululyklaryň esasynda gurlan bölegi -0 -dan $+\infty$ -e çenli aralykdaky bahalarynyň aýnadan serpigýän şekili ýaly ýagdaýy göz önünde tutsak, onda egri çyzygy gurmak üçin diňe ω -nyň

bahasyny üýtgedip gurmak hem ýeterlikdir. D -bölünmäniň egri çyzygy gurlanda parametr umumy ýagdaýda kompleks san görnüşinde göz önüne getirilýär, ýöne hakykatda bolsa ol ululyk wagt hemişeliginini ýa-da güýçlendirijilik koeffisiýentini häsiýetlendirýär, agzalýan ululyklar bolsa hakyky sanlaryň bahalaryny alyp bilýärler. Şonuň üçin D -bölünmäniň ähli araçägi gyzyklanma döredip hem durmaýar. Şeýlelikde, diňe hakyky oky bölmegiň ýagdaýyna seredip geçmek ýeterlik bolýar, ýagny D -bölünmäniň egri çyzygy bilen U -ululygyň okunyň kesişýän nokatlaryna gabat gelýän μ – parametriň hakyky ululyklary bilen gyzyklanýarlar. Ýene-de bir aýdyňlaşdyrylmaly zat, ol hem μ – parametriň islendik bahasynda häsiýetlendiriji deňlemäniň näçe sany otrisatel kökünüň bardygyny kesgitlemeli. Bu soragyň jogabyny D -bölünmäniň egri çyzygyny ştrihlemek we durnuklylyk oblastyny hem kesgitlemek arkaly tapyp bolýar. Munuň üçin aşakdaky düzgünnamalary ýerine ýetirip hereket etmelidir, ýagny özleşdirilýän häsiýetlendiriji deňleme $\mu = a$ ýa-da $\mu = b$ bolanda otrisatel kökleriň sany şol bir ululyga deň bolsa, onda ol sanyň başga bir ululyga, $\mu = c-e$ deň boljakdygyny tassyklamak ýeterlikdir.

6.4. Bir parametriň tekizliginde D -bölünmäniň araçägini ştrihlemek we durnuklylyk oblastyny tapawutlandyrmak

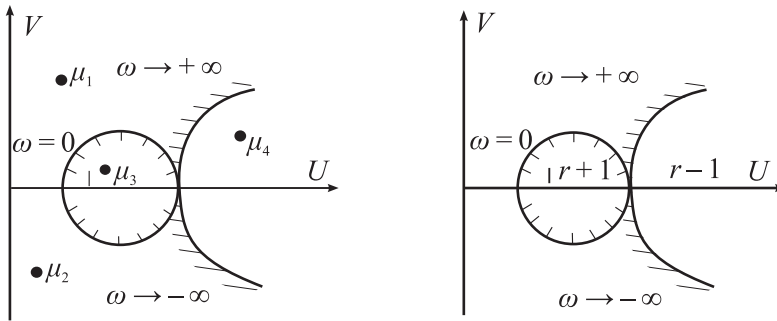
D -bölünmäniň araçägini ştrihleme düzgünnamasyny we durnuklylyk oblastyny tapawutlandyrmagy indiki ýol bilen aýdyňlaşdyryp bolar. Öňden belli bolşy ýaly, kökler tekizliginiň hyýaly ululyklarynyň oky boýunça $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli hereket edilse, häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleriniň ýerleşýän oblasty sazlanýan sistemanyň durnukly ýagdaýynda elmydama agzalýan okdan çepde ýerleşer. Bu ýagdaýa degişlilikde hyýaly ululyklaryň oky çep tarapyndan ştrihlenilýär.



6.6-njy çyzgy

Indi haýsy-da bolsa bir μ – parametr boýunça parametrler tekizliginde D -bölünmäniň egri çyzygy 6.7-nji çyzgydaky ýaly gurlan diýip göz önüne getireliň. Parametrler tekizligindäki D -bölünmäniň egri çyzygy, kökler tekizliginiň hyýaly ululyklarynyň okunyň suratlandyrylýanlygy sebäpli, D -bölünmäniň araçäginiň gyrasy bilen $\omega = -\infty$ nokatdan $\omega = +\infty$ nokada çenli hereket etse, onda şol egri çyzygyň hem çep tarapy ştrihlenilýär.

Umumy ýagdaýda kökler tekizliginde hyýaly ululyklaryň okunyň çep tarapy şekillendirilip, onuň hem parametrler tekizliginde D -bölünmäniň egri çyzygynyň ştrihlenen görnüşini şekillendirýänliginiň ýagdaýy 6.6-njy we 6.7-nji (a) çyzgylarda otrisatel kökleriniň sany meňzeş bolan oblastlara bölünişi hem-de durnuklylyk oblastlaryna ymtlýan has köp bellikli oblastyň bölünip çykarylyşy bolsa 6.7-nji çyzgyda getirilip görkezilendir. Ştrihleme netijesinde parametrler tekizliginde üç sany oblast emele gelýär.



6.7-nji çyzgy

Parametrler tekizliginiň her bir nokadyna häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleri we kökler tekizliginde kökleriň kesgitli ýerleşşi bilen kesgitlenilen μ – parametriň takyk kesgitli bahasy gabat gelýär. Eger-de parametrler tekizliginde μ_1 – nokada r -sany otrisatel kökler gabat gelýän bolsa, onda şol r -sany kökler μ_2 – nokada hem gabat gelýändir, sebäbi μ_1 – nokatdan μ_2 – nokada geçilende D -bölünmäniň egri çyzygyny kesip geçmek bolmaýar. Şeýlelikde, μ_1, μ_2 – nokatlar parametrleriň bir oblastyna degişli bolýar. μ_3 – nokat parametrleriň başga bir oblastyna degişli bolýar, sebäbi μ_1 – nokatdan μ_3 – nokada D -bölünmäniň egri çyzygyny kesmän geçip bolmaýar. Şeýlelikde, egri çyzygyň ştrihlenmedik tarapyndan ştrihlenilen tarapyna geçilmesi kökler tekizligindäki hyýaly ululyklaryň okunyň sagyndan çepine tarap bir köküň geçmesine gabat gelýär. Degişlilikde, μ_1 – nokat bilen deňeşdirilende μ_3 – nokada otrisatel kökleriň $r + 1$ ululyga artyk sany degişli bolýar. μ_4 – nokat parametrleriň üçünji oblastyna degişli bolýar. Bu ýerde hem μ_1 – nokatdan μ_4 – nokada geçmek üçin hökman D -bölünmäniň egri çyzygyny kesip geçmeli bolýar, ýöne bu ýagdaýda bir oblastdan başga bir oblasta geçmek, tersine, ştrihlenilen tarapdan ştrihlenmedik tarapa amala aşyrylýar. Bu ýagdaý bolsa kökler tekizligindäki ýerleşen köküň hyýaly ululyklarynyň okunyň çepinden sagyna geçmesine gabat gelýär. Degişlilikde, μ_1 – nokat bilen deňeşdirilende μ_4 – nokada otrisatel kökleriň $r-1$ ululyga kem sany degişli bolýar.

Şeýlelikde, 6.7-nji (a) çyzgyda görkezilen parametrler tekizligi özleşdirilende ony üç sany oblata, ýagny häsiýetlendiriji deňlemäniň otrisatel kökleriniň $r, r, r + 1$ we $r-1$ sanly kökleri bolan oblastlaryna bölýärler. Özleşdirilýän ýagdaýda (häsiýetlendiriji deňlemäniň üçünji tertibi bolanda) durnuklylyk oblastyny ýüze çykarmagy indiki ýol bilen ýerine ýetirip bolýar. Goý, μ – parametriň: mysal üçin, $\mu = 0$; (koordinatalar başlangyjy) bahasynda çözülen häsiýetlendiriji deňleme bir položitel ýa-da nol köki we iki sany otrisatel köki bersin. Onda koordinatalar başlangyjyny hem öz içine alýan r -bellikli oblata iki sany otrisatel köki gabat geler, ýagny $r = 2$. $r + 1$ bellikli oblata $2 + 1 = 3$ sany otrisatel kökler we $r-1$ bellikli oblata bolsa, degişlilikde, $2 - 1 = 1$ sany otrisatel kök gabat gelýär. Sazla-

nylýan ulgamyň durnuklylyk oblastyna $r + 1$ görnüşli has köp bellikli oblast gabat gelýär. Şeýlelikde, μ – parametriň haýsy hem bolsa bir bahasynda häsiýetlendiriji deňlemäniň otrisatel kökleriniň sany bilmek bilen D -bölünmäniň egri çyzygyny gurmak arkaly durnuklylyk oblastyna dalaş edýän oblasty ýüze çykarmak mümkindir. Şeýle oblast bolup 6.7-nji (b) çyzykdaky $r + 1$ bellikli oblast gulluk edip biler, sebäbi bu ýerde otrisatel kökleriň has köp bellikli sany bolýar. Eger-de in köp bellik häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesine gabat gelýän bolsa, onda şeýle bellikli oblast durnukly oblast bolup durýar. Eger-de in köp bellik häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesiniň sanyndan kiçi bolsa, onda özleşdirilýän μ – parametriň tekizliginde durnuklylyk oblasty hiç hili bolmaýar, ýagny parametriň islendik bahasynda sistema durnukly bolup bilmeýär.

1-nji gönükme. Sazlanylýan ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi indiki görnüşde berlen we ulgama degişli enjamlaryň parametrleri enjamlaryň pasportyndan alnan:

$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0.$$

Bu ýerde häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleri:

$$a_0 = 3,76; a_1 = 12,83; a_2 = 11,16; a_3 = K_{1-3} + 1 = K_1 K_2 K_3 + 1.$$

$K_1 = \frac{K_s}{n_n}$ – naprýaženiýe transformatorynyň transformasiýa koeffisiýentini hasaba almak bilen, $n_n = \frac{6300}{220}$ sazlaýjynyň halkasynyň güýçlendirijilik koeffisiýenti, naprýaženiýe transformatoryny hasaba almazdan, sazlaýjynyň halkasynyň güýçlendirijilik koeffisiýenti, $K_2 = 1,13$ oýandyryjynyň halkasynyň güýçlendirijilik koeffisiýenti, $K_3 = 25$ generatoryň halkasynyň güýçlendirijilik koeffisiýenti. Sazlanylýan parametr hökmünde koeffisiýent seredilip geçilýär. *Bir parametriň tekizliginde D -bölünme usuly boýunça berlen ulgamyň durnukly ýagdaýda galmagy üçin onuň güýçlendirijilik koeffisiýenti bolan ululygynyň mümkin bolan K_{1-3} ululyklarynyň we K_1 – parametriň sazlanylýan ululyklarynyň oblastlaryny kesgitlemek talap edilýär.*

Çözülişi.

Häsiýetlendiriji deňlemä a_3 – koeffisiýentden başga koeffisiýentleriň bahalaryny goýup alarys:

$$3,76s^3 + 12,83s^2 + 11,16s + a_3 = 0. \quad (6.3)$$

Bu ýerden $a_3 = -3,76s^3 - 12,83s^2 - 11,16s$ gelip çykýar. $s = j\omega$ çalyşmany ulanyp alarys:

$$a_3 = 3,76j\omega^3 + 12,83\omega^2 - 11,16j\omega$$

ýa-da hakyky we hyýaly ululyklary aýralap ýazarys:

$$a_3 = U(\omega) + jV(\omega);$$

$$U(\omega) = 12,83\omega^2;$$

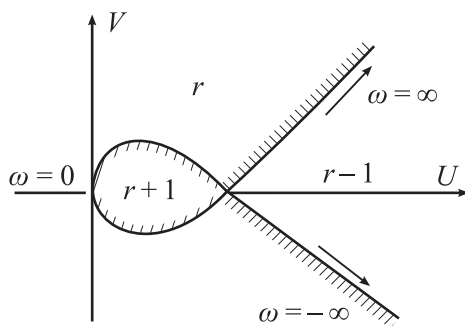
$$V(\omega) = 3,76j\omega^3 - 11,16j\omega.$$

ω -nyň bahalaryny $-\omega$ -den $+\omega$ -e çenli üýtgetmek bilen U we V dekart koordinatalary bolan tekizlikde D -bölünmäniň egri çyzygynyň doly görnüşini gurmak bolar, ýöne öňden belli bolşy ýaly, ω – ululygyň bahalaryny 0-a çenli üýtgedip, egri çyzygyň ýaryny gurmak hem ýeterlidir, sebäbi hakyky oka otosittelikde aýnadan serpigýän şekil görnüşinde häsiýetnamanyň galan ýarysyny dolduryp bolýar. 6.1-nji tablisada ω -nyň bahalarynyň položitel ululyklarynda $U(\omega)$ we $V(\omega)$ ululyklary getirilendir.

6.1-nji tablisa

ω	$U(\omega)$	$V(\omega)$	ω	$U(\omega)$	$V(\omega)$
0	0	0			
1	12,83	-7,4	2	51,3	7,6
1,5	28,8	-4,0	2,5	80,0	31,0
1,72	38,0	0	3	115	69,5

Tablisa girizilen bahalaryň esasynda gözlenilýän D -bölünmäniň egri çyzygy we onuň ştrihlenilişi 6.8-nji çyzygyda görkezilendir.



6.8-nji çyzygy

Iň köp bellikli, ýagny durnuklylyk oblastyna ymtylýan oblasty gözlemek, şeýle hem durnukly oblastyň umumy ýagdaýda bardygyny ýa-da ýokdugyny bilmek üçin, ilki bilen, häsiýetlendiriji deňlemäniň näçe sany otrisatel köküniň bardygy onuň koeffisiýentiniň haýsy hem bolsa bir bahasynda kesgitlenilýär.

Goý, bu ululyk $a_3 = 0$ bolsun. Onda (6.3) deňleme indiki görnüşe geler:

$$3,76s^3 + 12,83s^2 + 11,16s = 0$$

ýa-da

$$s(3,76s^2 + 12,83s + 11,16) = 0.$$

Bu deňlemäniň kökleri, degişlilikde, indiki tertipde tapylar:

$$s_1 = 0; s_{2,3} = \frac{-12,83 \pm \sqrt{12,83^2 - 3,76 \cdot 11,16}}{3,76} < 0,$$

ýagny bir köki nola deň, beýleki ikisi bolsa otrisatel (kökler tekizliginde hyýaly ululyklaryň okundan çepde ýerleşýän) kökler.

Haçan-da $a_3 = 0$ bolanda parametrler tekizliginiň koordinatalar başlangyjyna iki sany $r = 2$ otrisatel kök gabat gelýär. Otrisatel r kökleriniň şu sanyna koordinatalar başlangyjyndan D -bölünmäniň egri çyzygyny kesip geçmän geçip bolýan tekizligiň beýleki nokatlary hem gabat gelýändir. r – bellikli oblastyň ştrihlenmedik böleginden ştrihlenen bölegine D -bölünmäniň egri çyzygyny kesip geçýän oblast $r + 1$ bellikli oblast bolar. Degişlilikde, şol ştrihlenen oblastdan ştrihlenmedik oblata agzalýan egri çyzyk kesip geçilse, onda ol oblast $r - 1$ bellikli oblast bolar. Durnuklylyk oblastyna dalaş edýän in köp bellikli $r + 1$ oblastdyr, sebäbi bu oblast $r + 1 = 2 + 1 = 3$ sany kökleriň sanyna gabat gelýän oblastdyr. Ol san bolsa, öz gezeginde, häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesine gabat gelýändir. Şeýle bolsa, düzgüne laýyklykda, ol oblast, hakykatdan hem, durnukly oblast bolup durýandyr.

$a_3 = K_{1-3} + 1$ parametr özüniň manysy boýunça ulgamyň güýçlendirijilik koeffisiýentini häsiýetlendirýänligi sebäpli, özleşdirmek üçin parametriň diňe hakyky ululyklary wajypdyr. Ol ululyklar bolsa durnuklylyk oblastynyň içinde ýerleşýändirler, ýagny $r + 1$ bellikli bölek bilen U -okuň boýy boýunça kesgitlenilýär. Degişlilikde, sistemanyň durnuklylyk şertine a_3 – koeffisiýentiň grafikden alynýan birnäçe ululyklary jogap berer, ýagny $\omega = 1,72$ -ä deň bolanda, hyýaly ululyklar 0 -a, hakyky ululyklar bolsa, takmynan, 38 -e deňdir. Onda a_3 – koeffisiýent üçin üýtge-me çäkleri aşakdaky ýaly bolar.

$$0 < a_3 \leq 38$$

ýa-da

$$0 < (K_{1-3} + 1) \leq 38.$$

Değişlilikde, sistemanyň güýçlendiriji koeffisiýentiniň çäkli bahasy:

$$K_1 K_2 K_3 + 1 = 38;$$

$$K_{1-3} = 38 - 1 = 37.$$

Özleşdirilýän sazlanýlýan parametriň çäkli ululygy aşakdaky ýaly hasaplanylýar:

$$K_1 = \frac{37}{K_2 K_3} = \frac{37}{1,13 \cdot 25} = 1,31.$$

Napryaženiýe transformatorynyň transformasiýa koeffisiýenti hemişelik diýip kabul edilse, ýagny $n_n = \frac{6300}{220}$, onda hususy sazlaýjynyň çäkli güýçlendirijilik koeffisiýenti indiki görnüşde hasaplanylýar:

$$K_s = K_1 \cdot n_n = 1,31 \cdot \frac{6300}{220} = 37,5.$$

Ulgamyň güýçlendirijilik koeffisiýentiniň mümkin bolan beýleki bahalarynda, ýagny $K_{1-3} < 37$; bolanda, değişlilikde, K_1 we K_s parametrleriň üýtgeşik bahalary bolar.

6.5. Iki parametriň tekizliginde D -bölünme

Sazlanýlýan ulgamyň käbir μ we λ – parametrleri (6.1) görnüşli häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentleriniň düzümine çyzykly girýän bolsun, şeýle-de ol koeffisiýentleriň hiç birinde hem şu parametrleriň iň ýokary derejesi we önümleri bolmasyn. μ we λ – parametrleriň tekizliginde D -bölünme usuly boýunça sazlanýlýan sistemanyň durnuklylygyny kesgitlemek talap edilýär.

Aýdyňlyk üçin μ we λ – parametrleriň tekizliginiň ordinatalar oky boýunça λ – parametriň ululyklary, abssissalar oky boýunça bolsa μ – parametriň ululyklary goýulýar. Onda D -bölünmäniň araçagini almak üçin häsiýetlendiriji deňlemäni indiki görnüşe özgerdýärler:

$$D(s) = \mu P(s) + \lambda Q(s) + R(s) = 0.$$

Bu ýerde $P(s)$, $Q(s)$, $R(s)$ – ululyklar seredilip geçilýän μ we λ – parametrleri saklamaýan, s ululyga bagly bolan hakyky polinomlar. $s = j\omega$ (hyýaly ululyklaryň okundaky kök) çalyşmany deňlemä goýup alarys:

$D(j\omega) = \mu P(j\omega) + \lambda Q(j\omega) + R(j\omega) = 0$ ýa-da $D(j\omega)$ – ululygy hakyky $U(\omega)$ we hyýaly böleklere bölekläp ýazarys:

$$\left. \begin{aligned} U(\omega) &= \mu P_1(\omega) + \lambda Q_1(\omega) + R_1(\omega) = 0 \\ V(\omega) &= \mu P_2(\omega) + \lambda Q_2(\omega) + R_2(\omega) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

Bu ýerde $P_1(\omega), Q_1(\omega), R_1(\omega), P_2(\omega), Q_2(\omega), R_2(\omega)$ – ululyklar seredilip geçilýän $\mu - \lambda$ parametrleri saklamaýan, ω – ululyga bagly bolan polinomlar.

(6.4) deňlemeler ulgamyny çözüp alarys:

$$\mu = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \text{ we } \lambda = \frac{\Delta_2}{\Delta}. \quad (6.5)$$

Bu ýerde Δ – esasy kesgitleýji bolup, indiki görnüşde kesgitlenilýär:

$$\Delta = \begin{vmatrix} P_1(\omega) & Q_1(\omega) \\ P_2(\omega) & Q_2(\omega) \end{vmatrix} = P_1(\omega) \cdot Q_2(\omega) - P_2(\omega) \cdot Q_1(\omega), \quad (6.6)$$

ýagny esasy kesgitleýji düzülende birinji sütüne μ – parametriň oky boýunça goýulýan polinomlar ýazylyar.

Galan kesgitleýjiler we çözüw aşakdaky görnüşde bolýar.

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} -R_1(\omega) & Q_1(\omega) \\ -R_2(\omega) & Q_2(\omega) \end{vmatrix} = R_2(\omega) \cdot Q_1(\omega) - R_1(\omega) \cdot Q_2(\omega), \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} P_1(\omega) & -R_1(\omega) \\ P_2(\omega) & -R_2(\omega) \end{vmatrix} = P_2(\omega) \cdot R_1(\omega) - P_1(\omega) \cdot R_2(\omega). \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

ω -nyň bahalaryny $-\infty$ -den $+\infty$ -e çenli üýtgetmek bilen, $\Delta; \Delta_1; \Delta_2$ – degişli ululyklary kesgitläp (6.5) aňlatma boýunça $\mu - \lambda$ parametrleriň ululyklaryny hasaplaýarlar. Şol bahalar boýunça hem D -bölünmäniň egri çyzygynyň doly görnüşini gurmak bolar. Bir parametriň tekizliginde D -bölünmäniň araçäğine seredilip geçilende D -bölünmäniň egri çyzygy absissalar okuna otnositellikde simmetrik görnüşde bolýardy. Şonuň üçin hem ony ω -ň -0 -dan $+\infty$ -e çenli üýtgän ýagdaýynda bir bölegini gurmak hem ýeterlikdi. Iki parametriň tekizliginde bolsa D -bölünmäniň egri çyzygy simmetrik bolmaýar, ýöne alamatlary boýunça garşylykly nokatlar $\omega = \omega_1$ we $\omega = -\omega_1$ bu ýerde gabat gelýänligi sebäpli-de, bu ýerde hem egri çyzygy gurmak ýeterlik bolýar. Şeýle hem bolsa ω -ň otrisatel bahalarynda D -bölünmäniň egri çyzygy ikinji gezek aýlanyp geçýänligini ştrihleme girizilende hasaba almaly bolýar. Iki parametriň tekizliginde D -bölünmäniň egri çyzygyny gurmagyň ýene bir aýratynlygyny belläp geçmeli, ýagny ω -ň üýtgemesinde esasy kesgitleýji Δ -noldan geçmek bilen özüniň alamatyny üýtgetmegi mümkindir. Şu ýerde iki sany ýagdaýyň bolmagy mümkin:

1) $\Delta = 0$; Δ_1 we Δ_2 – gutarnykly bahalaryny alýarlar we olar nola deň dälidirler. Şu ýagdaýda (6.5) aňlatma laýyklykda $\mu = \infty$ we $\lambda = \infty$.

2) $\Delta = 0$; $\Delta_1 = 0$ ýa-da $\Delta_2 = 0$. Bu ýagdaýda (6.4) iki deňleme biri-birinden diňe hemişelik köpeldijä tapawutlanýarlar. Olar gabat gelmek bilen bir deňlemä getirilýär we seredilýän μ we λ – parametrleriň tekizliginde nokady kesgitlemän göni çyzygy teklipe edýär. Bu ýerde λ – parametr μ – ululygyň çyzykly funksiýasy bolup durýar. Şeýle baglanyşygy görkezýän göni çyzyklara *áýratyn çyzyklar* diýlip at berilýär.

Áýratyn göni çyzyklary tapmak üçin kesgitleýjileriň bir wagtda $\Delta = 0$; $\Delta_1 = 0$ ýa-da $\Delta_2 = 0$ ýagdaýy ýa-da şu kesgitleýjileriň bir wagtda ∞ -e deň ýagdaýyny kesgitleýän ω -ň ähli zerur bolan ululyklaryny tapmaly. Hususy ýagdaýda ω -ň şeýle bahalaryna $\omega = 0$ we $\omega = \infty$ ululyklar gabat gelýärler $\omega = 0$ ululyga gabat gelýän áýratyn göni çyzygyň deňlemesini kesgitlemek üçin häsiýetlendiriji deňlemäniň azat düzüjisini nola deňlemek ýeterlidir $\omega = \infty$ ululyga gabat gelýän áýratyn göni çyzygy tapmak üçin bolsa häsiýetlendiriji deňlemäniň uly düzüjisiniň ýanyndaky koeffisiýenti nola deňlenilýär. Eger-de $\text{const} = 0$ görnüşli aňlatma emele gelse, onda gözlenilýän áýratyn göni çyzyk tükeniksizlige geçip gidýär we şeýle ýagdaýyň hiç hili manysy bolmaýar. Garşylykly ýagdaýda bolsa tapylan göni çyzygy özleşdirilýän μ we λ parametrleriň tekizligine geçirmek maksadalaýykdyr.

Eger-de kesgitleýjiler bir wagtda ω -ň ululyklarynda $\Delta = 0$; $\Delta_1 = 0$ ýa-da ($\Delta_2 = 0$) noldan we tükeniksizlikden tapawutly bolsalar, onda, her bir ululyklary (6.4) deňlemä goýup, göni çyzygyň deňlemesini alarys. Ol göni çyzygy hem μ we λ – parametrleriň tekizligine geçirmelidir.

Şeýlelikde, iki parametriň tekizliginde D -bölünmäniň araçägi umumy ýagdaýda ω -ň 0-dan $+\infty$ -e çenli üýtgände nokatlar bilen gurlan D -bölünmäniň egri çyzygyndan we áýratyn göni çyzyklardan durýandygy ýokarda beýan edilenlerden gelip çykýandyr.

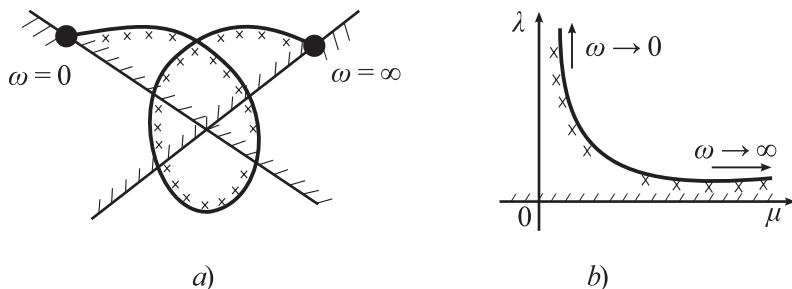
Araçäk gurlandan soňra onda ştrihleme geçirmek bilen özleşdirilýän parametrleriň tekizliginde durnuklylyga dalaş edýän oblastlar kesgitenilýär.

6.6. Iki parametriň tekizliginde D -bölünmäniň araçäginii ştrihlemek we durnuklylyk oblastyny ýüze çykarmak

Ýokarda beýan edilenlerden görnüşi ýaly, D -bölünmäniň egri çyzygynyň her bir nokadyna ω -ň we Δ -ň kesgitli ululyklary gabat gelýändir. Δ -ň alamatynyň üýtgemesi özleşdirilýän μ we λ - parametrleriň tekizliginde bir okuň alamatynyň üýtgemesine gabat gelýär. Bu ýagdaýa laýyklykda esasy kesgitleýji Δ -ň alamaty ştrihlemäniň ugruny kesgitlemäge şert döredýär.

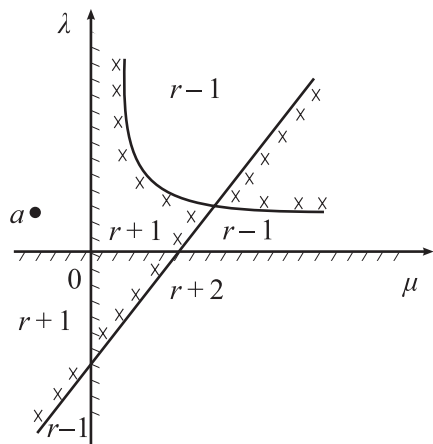
Eger-de $\Delta > 0$ ω -ň $-\infty + \infty$ -e çenli bolsa üýtgände D -bölünmäniň egri çyzygy çep tarapyndan $\Delta < 0$ bolsa, onda sag tarapyndan ştrihlenilýär. ω -ň alamaty üýtgände esasy kesgitleýji hem alamatyny üýtgetýänligi üçin D -bölünmäniň egri çyzygynyň iki gezek aýlanýanlygy sebäpli, ol iki tarapyndan hem ştrihlenen görnüşde bolýar. Esasy kesgitleýjiniň Δ diňe $\omega = \pm \infty$ ýa-da ω -ň áýratyn göni çyzyklara ga-

bat gelyän ululyklarynda özüniň alamatyny çalyşýar. Şonuň üçin islendik ýagdaýda, ýagny ω -ň ahyrky bahalarynda D -bölünmäniň egri çyzygynyň ştrihleme ugry diňe μ we ω - parametrleriň tekizliginde egri çyzyk bilen aýratyn göni çyzyklaryň kesişýän nokatlarynda üýtgeýär. D -bölünmäniň egri çyzygy ştrihlenilenden soňra aýratyn göni çyzyklar ştrihlenilýär. Olar bir gat ştrihleme bilen ştrihlenilip, onuň ugry ω – nokatdaky aýratyn göni çyzyklary gurlan D -bölünmäniň egri çyzygynyň ştrihlenmesiniň ugry bilen baglanyşdyrylýar. $\omega = 0$ ýa-da $\omega = \infty$ ululyklara gabat gelyän aýratyn göni çyzygy şu nokadyň töwereginde göni çyzyk bilen egri çyzyk bir tarapda ştrihlenilen taraplary biri-birine bakar ýaly bu nokatdan başga tarapda bolsa ştrihlenmedik taraplary bilen biri-birine bakar ýaly ştrihlemelidir.



6.9-njy çyzygy

Mundan beýläk aýratyn göni çyzygyň ştrihlenmesi, egri çyzyk bilen ýa-da beýleki aýratyn göni çyzyk bilen kesişendigine ýa-da kesişmändigine garamazdan, özüniň ugruny üýtgetmeýär. Eger-de egri çyzyk bilen aýratyn göni çyzyk ($\omega = \infty$) tükeniksizlikde kesişýän bolsalar, onda nokadyň töwereginde aýratyn göni çyzygy



6.10-njy çyzygy

indiki görnüşde, ýagny egri çyzyk we göni çyzyk diňe ştrihlenen ýa-da diňe ştrihlenmedik taraplary bilen ugrykdyrylan bolmalydyr.

Eger-de bir wagtda kesgitleýjiler $\Delta=0; \Delta_1=0$ -adaň bolýan ω -ň ululygyna gabat gelyän nokatda aýratyn göni çyzyk egri çyzyk bilen kesişýän bolsa, onda aýratyn göni çyzyk esasy kesgitleýjiniň alamatynyň üýtgemesi bilen egri çyzygyň ştrihlenilmesiniň ugrunyň üýtgeýänligini hasaba almak bilen, ikeldilen ştrihlemede ştrihlenilýär. D -bölünmäniň egri çyzygy we hemme aýratyn göni çyzyklar gurlandan hem-de ştrihlenme ýerine ýetirilenden soňra oblastlar belgilenilmäge geçilýär. Bellik etmek düzgüni bir parametriň

tekizligindäki ýagdaý bilen birmeňzeşdir. Eger-de özleşdirilýän μ we λ – parametrleriň tekizliginiň haýsy hem bolsa bir nokadynda, häsiýetlendiriji deňlemäniň

kökler tekizliginde hyýaly okdan çepde ýerleşýän kökleriň, ýagny otrisatel kökleriň sany belli bolsa, bellik etmek meselesi uly kynçylyk döretmeýär.

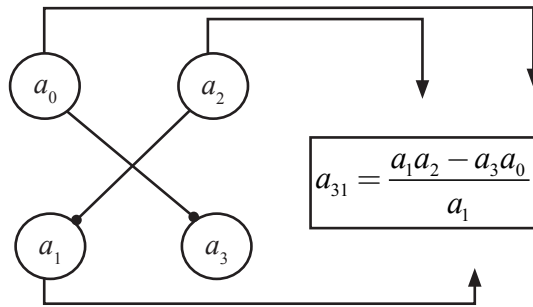
Parametrler tekizliginde şeýle nokat görnüşinde a nokady kabul edýärler. Ol nokadyň koordinatalary $\mu = -1$, $\lambda = 1$ we parametrleriň şu ululyklaryndaky häsiýetlendiriji deňleme indiki görnüşde bolýar:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0. \quad (6.8)$$

Otrisatel kökleriň sanyny kökler tekizligindäki hyýaly okuň sagynda ýerleşen položitel kökleriň sanyny kesgitlemek arkaly bilip bolýar. Olaryň sanyny bolsa häsiýetlendiriji deňlemäniň koeffisiýentlerinden düzülen Rausyň belli bolan matrisasy boýunça kesgitläp bolýar. (5.8)-(5.15) formulalary ulanmak bilen, olary özümize amatly görnüşde ýazýarys, ýagny düzgüne laýyklykda alarys:

$$\left. \begin{aligned} a_{31} &= \frac{a_1 a_2 - a_3 a_0}{a_1}; \\ a_{32} &= \frac{a_3 a_4 - a_5 a_2}{a_3}; \\ a_{41} &= \frac{a_{31} a_3 - a_{32} a_1}{a_{31}}. \end{aligned} \right\} \quad (6.9)$$

Rausyň matrisasynyň hatarlarynyň elementlerini almak üçin ulanylýan düzgüniň shemasy 6.11-nji çyzgyda görkezilendir.



6.11-nji çyzgy

(6.8) deňlemäniň položitel kökleriniň sany Rausyň matrisasynyň birinji (çep) sütüniň elementleriniň alamatlarynyň çalyşmasynyň sany bilen kesgitlenilýär. Položitel kökleriniň sanyny bilmek bilen, a nokatdaky r -otrisatel kökleriň sanyny kesgitleýäris we oblastlary kesgitlemäge girişýäris.

r -bellikli oblastda ýerleşen a nokada deň bolan aýratyn göni çyzygyň ştrihlenmedik tarapyndan ştrihlenen tarapyna geçilende otrisatel kökleriň sany bir birlik artýar. Şonuň üçin degişli oblasty $r + 1$ bellik bilen belleýäris. Soňra D -bölümäniň iki gat ştrihlenen oblastyndan ştrihlenmedik tarapyndaky oblata geçmek bilen ol oblasty

$r-1$ bellikde belgileýäris, iki gat ştrihlenmesi bolan aýratyn göni çyzygy ştrihlenilmedik tarapyndan ştrihlenilen tarapyna gelende bolsa şol oblast $r + 1$ **bellikli oblast** diýlip aňladylýar. Mundan beýläk hem edil şunuň ýaly hereket edip, ahyrky netijede $r + 2$ oblasty alýarys. Eger-de $r + 2 = n$ ýagdaý ýüze çyksa (bu ýerde n - (6.8) görnüşli häsiýetlendiriji deňlemäniň derejesi), onda bu oblast durnukly oblast bolup durýar. Eger-de $r + 2 < n$ ýagdaýda bolsa, oblastlaryň hiç biri hem durnukly bolup bilmeýär.

2-nji gönükme. Ulgamyň häsiýetlendiriji deňlemesi indiki görnüşde berlen we ulgama degişli enjamlaryň parametrleri enjamlaryň pasportyndan alnan:

$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0.$$

Onuň koeffisiýentleriniň ululyklary:

$$a_0 = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3;$$

$$a_1 = T_1 \cdot T_2 + T_2 \cdot T_3 + T_3 \cdot T_1;$$

$$a_2 = T_1 + T_2 + T_3;$$

$$a_1 = T_1 \cdot T_2 + T_2 \cdot T_3 + T_3 \cdot T_1;$$

$$a_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 + 1 = K_{1-3} + 1 = K.$$

Onda häsiýetlendiriji deňlemäni indiki görnüşde ýazyp bolar:

$$T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot s^3 + (T_1 \cdot T_2 + T_2 \cdot T_3 + T_3 \cdot T_1) \cdot s^2 + (T_1 + T_2 + T_3) \cdot s + K = 0.$$

T_1 ; K – parametrleriň tekizliginde D -bölünmäniň egri çyzygyny gurmaly we durnuklylyk oblastyny kesgitlemeli. Sistemanyň enjamlarynyň beýleki parametrleri aşakdakylara deňdir:

$$T_2 = 0,76 s; T_3 = 9,9 s.$$

Çözülişi.

T_2 we T_3 parametrleriň ululyklaryny ýerine goýup hem-de $T_1 = \mu$; $K = \lambda$; täze belgileme girizip, häsiýetlendiriji deňlemäni indiki görnüşde alarys:

$$\mu \cdot 0,76 \cdot 9,9 \cdot s^2 + (\mu \cdot 0,76 + 0,76 \cdot 9,9 + 9,9 \cdot \mu) \cdot s^2 + (\mu + 0,76 + 9,9) \cdot s + \lambda = 0$$

ýa-da:

$$7,52 \cdot \mu \cdot s^3 + (10,66 \cdot \mu + 7,52) \cdot s^2 + (\mu + 10,66) \cdot s + \lambda = 0 \quad (6.10)$$

çalyşmany ulanyp alarys:

$$-7,52 \cdot \mu \cdot j\omega^3 - (10,66 \cdot \mu + 7,52) \cdot \omega^2 + (\mu + 10,66) \cdot j\omega + \lambda = 0.$$

Hakyky we hyýaly bölekleri aýratynlykda nola deňläp alarys:

$$U(\omega) = -10,66\mu\omega^2 - 7,52\omega^2 + \lambda = 0,$$

$$V(\omega) = -7,52\mu\omega^3 + \mu\omega + 10,66\omega = 0.$$

Indi bolsa bu deňlemeleri (6.4) görnüşli aňlatmalar görnüşinde, ýagny μ – köpeldijisi bolan $P_1(\omega)$ we $P_2(\omega)$ – polinomlaryň, λ – köpeldijisi bolan $Q_1(\omega)$ we $Q_2(\omega)$ – polinomlaryň hem-de μ we λ köpeldijileri bolmadyk $R_1(\omega)$ we $R_2(\omega)$ – polinomlaryň üsti bilen we:

$$P_1(\omega) = -10,66\omega^2; \quad Q_1(\omega) = 1; \quad R_1(\omega) = -7,52\omega^2;$$

$$P_2(\omega) = -7,52\omega^3 + \omega; \quad Q_2(\omega) = 0; \quad R_2(\omega) = 10,66\omega$$

görnüşli belli bolan ululyklary hasaba alyp ýazarys:

$$\left. \begin{aligned} U(\omega) &= -10,66\omega^2\mu + \lambda - 7,52\omega^2 = 0, \\ V(\omega) &= (-7,52\omega^3)\mu + 0\cdot\lambda + 10,66\omega = 0. \end{aligned} \right\} \quad (6.11)$$

(6.11) deňlemeler ulgamyny (6.5) formula bilen işläp alarys:

$$\mu = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad \text{we } \lambda = \frac{\Delta_2}{\Delta}.$$

Bu ýerde esasy kesgitleýji (6.6) aňlatma boýunça:

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} P_1(\omega) & Q_1(\omega) \\ P_2(\omega) & Q_2(\omega) \end{vmatrix} = P_1(\omega) \cdot Q_2(\omega) - P_2(\omega) \cdot Q_1(\omega) = \\ &= -10,66\omega^2 \cdot 0 - (-7,52\omega^3 + \omega) \cdot 1 = 7,52\omega^3 - \omega = (7,52\omega^2 - 1) \cdot \omega. \end{aligned}$$

Galan kesgitleýjiler bolsa (6.7) aňlatma boýunça kesgitlenilýär, ýagny:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} -R_1(\omega) & Q_1(\omega) \\ -R_2(\omega) & Q_2(\omega) \end{vmatrix} = R_2(\omega) \cdot Q_1(\omega) - R_1(\omega) \cdot Q_2(\omega) = \\ &= 10,66\omega \cdot 1 - (7,52\omega^3 + \omega) \cdot 0 = 10,66\omega; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \begin{vmatrix} P_1(\omega) & -R_1(\omega) \\ P_2(\omega) & -R_2(\omega) \end{vmatrix} = P_2(\omega) \cdot R_1(\omega) - P_1(\omega) \cdot R_2(\omega) = \\ &= (-7,52\omega^3 + \omega) \cdot (-7,52\omega^2) - (-10,66\omega^2) \cdot 10,66\omega = \\ &= 56,6\omega^5 - 7,52\omega^3 + 113,63\omega^3 = (56,6\omega^3 + 105,12)\omega^2. \end{aligned}$$

ω -ň bahasyny 0-dan $+\infty$ -e çenli üýtgedip, μ we λ ululyklaryň bahalaryny kesgitläp, 6.1-nji tablisa girizýäris. Şu tablisanyň bahalary boýunça hem $\lambda = f(\mu)$ – baglanyşygyň egri çyzygy gurulýar. Kabul edilen ölçegiň şerti boýunça tablisanyň 6-8-nji we 17-19-njy hatarlarynda duran bahalary ulanylmady. $\omega = 0$ bolanda kesgitleýjiler hem $\Delta = \Delta_1 = 0$.

$\omega = 0$ ýagdaý üçin aýratyn göni çyzygy häsiýetlendiriji deňlemäniň erkin düzüjisini nola deňläp, $\lambda = 0$ alarys. Bu bolsa μ – absissalar okuna gabat gelýän göni çyzykdyr.

6.1-nji tablisa

№	ω	ω^2	ω^3	$\Delta = (7,52\omega^2 - 1)\omega$	$\Delta_1 = 10,66 \omega$	$\Delta_2 = (56,6 \omega^2 + 105,12) \omega^3$	$\mu \frac{\Delta_1}{\Delta}$	$\lambda = \frac{\Delta_2}{\Delta}$
1	0	0	0	0	0	0	-10,66	0
2	0,1	0,01	0,001	-0,0925	1,066	0,1057	-11,52	-1,14
3	0,2	0,04	0,008	-0,14	2,132	0,859	-15,21	-6,14
4	0,25	0,0625	0,0156	-0,1325	2,665	1,695	-20,11	-12,8
5	0,3	0,09	0,027	-0,097	3,2	2,98	-33	-30,7
6	0,36	0,13	0,047	-0,008	3,84	5,29	-480	-661
7	0,3645	0,133	0,048	0	3,885	5,26		
8	0,365	0,133	0,049	0,0006	3,89	5,145	6483	8575
9	0,4	0,16	0,064	0,08	4,264	7,307	53,3	91,3
10	0,45	0,203	0,091	0,238	4,8	10,6	20,1	44,5
11	0,5	0,25	0,125	0,44	5,33	14,9	12,1	34
12	0,6	0,36	0,216	1,024	6,396	27,1	6,24	26,4
13	0,75	0,563	0,422	2,43	7,99	57,8	3,3	23,8
14	1,5	2,25	3,375	23,9	16,0	785	0,67	32,8
15	2	4	8	58,6	21,32	2652	0,366	45,6
16	3	9	27	200	32,0	16592	0,16	82,9
17	4	16	64	477	42,6	64686	0,089	135
18	10	100	1000	7510	106,6	5765000	0,0142	767
19							0	

$\omega = 0$ ýagdaý üçin aýratyn göni çyzygy häsiýetlendiriji deňlemäniň uly düzüjisiniň ýanyndaky koeffisiýenti nola deňläp, $\mu = 0$ alarys, ýagny $7,52 \mu = 0$ ýa-da $\mu = 0$. Bu bolsa $\lambda = 0$ ordinatalar okuna gabat gelýän göni çyzykdyr.

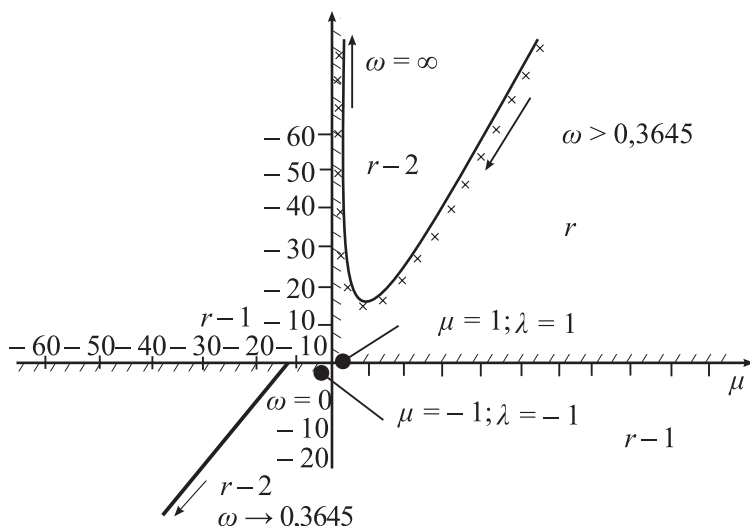
Şeýlelikde, egri çyzyk we koordinatalar oky D -bölünmäniň araçägi bolup durýar.

Bu ýerde bellemeli zatlaryň ýene-de biri – ol hem $\omega \neq 0$ bolanda esasy kesgitleýji hem nola salgylanýar. Hakykatdan hem, onuň üçin ýokarda aňlatma kesgitlenipdi:

$$\Delta = (7,52\omega^2 - 1) \cdot \omega.$$

Ýaýyň içindäki ululygy nola deňläp, alarys:

$$7,52\omega^2 - 1 = 0.$$



6.12-nji çyzygy

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{7,52}} = 0,3645.$$

ω -ň şu bahasynda μ we λ – parametrler indiki baha deň bolýarlar: $\mu = \infty$ we $\lambda = \infty$, $0 < \omega < 0,3645$ bolanda esasy kesgitleýji $\Delta < 0$.

$\omega > 0,3645$ bolanda $\Delta > 0$.

Ýokarda beýan edilen düzgünnamanyň esasynda D -bölünmäniň egri çyzygyny ştrihlemäni geçirýäris. $\omega = 0$ nokatda $\omega = 0,3645$ nokada çenli egri çyzygyň gyrasy bilen hereket edip, ýagny $\Delta < 0$ meýdançada egri çyzygyň sag tarapyna iki gat ştrihleme goýýarys. Soňra $\omega > 0,3645$ bolanda, meýdançada egri çyzygyň çep tarapyna iki gat ştrihleme goýýarys. Indi aýratyn göni çyzyklary ştrihlemäge girişýäris.

Ilki bilen, $\lambda = 0$ ýagdaýdaky göni çyzygy, ýagny absissalar okuny $\omega = 0$ nokatdan başlap ştrihleýäris. Düzgün boýunça, bu nokadyň ýanynda göni çyzygyň bir tarapy D -bölünmäniň egri çyzygynyň ştrihlenen tarapy bilen gabat geler ýaly we onuň ştrihlenmedik tarapy bolsa D -bölünmäniň egri çyzygynyň ştrihlenmedik tarapy bilen gabat geler ýaly ştrihlemeli. Şeýle ştrihlemäni aýratyn göni çyzygy, ýagny ordinatalar okuny kesip geçýänligine garamazdan, ony ahyryna çenli dowam etmeli.

Soňra bolsa $\mu = 0$ ýagdaýdaky göni çyzygy, ýagny ordinatalar okuny ştrihleýäris. Bu ýerde hem göni çyzyk we D -bölünmäniň egri çyzygy ştrihlenilen taraplary hem-de ştrihlenilmedik taraplary bilen özara gabat geler ýaly ştrihleme geçirmeli. Şeýle ştrihlemäni $\lambda = 0$ görnüşli aýratyn göni çyzygy, ýagny absissalar okuny kesip geçýänligine garamazdan, ahyryna çenli dowam etmeli.

Ştrihlemäni tamamlamak bilen oblastlara bellik etmäge geçýäris. Umumy ýagdaýda munuň üçin (6.10) deňlemä μ we λ – parametrleriň tekizligiň haýsy hem bolsa bir nokadynyň koordinatalaryny goýmak maksadalaýykdyr.

Mysal. Şeýle nokat indiki koodinataly bolsun. $\mu = -1$, we $\lambda = -1$. Şu ýagdaýda (6.10) deňleme indiki görnüşi alýar:

$$-7,52s^3 - 3,14s^2 + 9,66s - 1 = 0.$$

Rausyň matrisasynyň elementleri indiki ululyklary alýarlar:

$$a_0 = -7,52;$$

$$a_1 = -3,14;$$

$$a_{31} = \frac{a_1 a_2 - a_3 a_0}{a_1} = \frac{-3,14 \cdot 9,66 - (-1)(-7,52)}{-3,14} = \frac{-30,3 - 7,52}{-3,14} = 12;$$

$$a_{41} = \frac{a_{31} a_3 - a_{32} a_1}{a_{31}} = \frac{12 \cdot (-1) - 0,0(-3,14)}{12} = -1;$$

$$a_{51} = \frac{a_{41} a_{32} - a_{42} a_{31}}{a_{41}} = \frac{-1 \cdot 0,0 - 0,0 \cdot 12}{-1} = 0;$$

$$a_2 = 9,66;$$

$$a_3 = -1;$$

$$a_{32} = \frac{a_3 a_4 - a_5 a_2}{a_3} = \frac{-1 \cdot 0,0 - 0,0 \cdot 9,66}{-1} = 0;$$

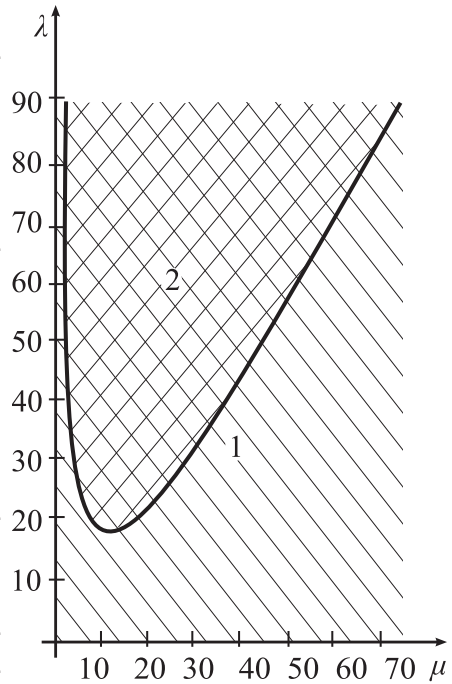
$$a_{42} = 0;$$

$$a_{52} = 0.$$

Birinjiden, Rausyň matrisasynyň birinji sütüniniň hemme koeffisiýentleri položitel däl-dir. Şonuň üçin hem sazlanýlýan sistema $\mu = -1$ we $\lambda = -1$ ululyklarda durnukly däl-dir.

Ikinjiden, matrisanyň birinji sütüninde alamat iki gezek üýtgeýänligi sebäpli, kökler tekizliginiň sag tarapynda, ýagny hyýaly okdan sagda mümkin bolan üç sany köküň ikisi ýerleşýär. Değişlilikde, $\mu = -1$, we $\lambda = -1$ koordinataly nokadyň ýerleşýän oblastyny $r-2$ bellik bilen belgilemek maksadalaýykdyr.

Seredilip geçilýän ýagdaýda (6.10) deňleme üçünji derejeli bolanlygy sebäpli, tekizlikdäki islendik oblastyň belligini kesgitlemegi Rausyň matrisasyna salgylanman, has ýönekeý ýol bilen amala aşyryp bolýar. Munuň üçin (6.10) deňlemäniň görnüşine değişlilikde 6.12-nji çyzygdaky tekizlikde koordinatalary $\lambda = 0$ we $\mu = 1$ nokady saýlamak amatlydyr. Bu ýagdaýda (6.10) deňlemäniň görnüşü aşakdaky ýaly bolar:



6.13-nji çyzygy

$$7,52s^3 + (10,66 + 7,52)s^2 + (1 + 10,66)s = 0,$$

$$7,52s^3 + 18,18s^2 + 11,66s = 0,$$

$$(7,52s^2 + 18,18s + 11,66)s = 0. \quad (6.12)$$

Deňlemäniň kökleri:

$$s_1 = 0, s_{2,3} = \frac{-18,18 \pm \sqrt{18,18^2 - 4 \cdot 11,66 \cdot 7,52}}{2 \cdot 7,52} < 0.$$

Değişlilikde, (6.12) deňlemäniň üç kökünüň ikisi, ýagny s_2, s_3 – kökler kökler tekizliginde hyýaly okdan çepde ýerleşýärler, s_1 – köki bolsa şu okuň üstünde ýerleşýär. Ol 6.12-nji çyzygda görkezilen parametrlar tekizliginde $\mu = 1$, $\lambda = 0$ koordinataly $\lambda = 0$ ýagdaýly aýratyn göni çyzygyň üstünde ýerleşýän nokat bolup, ol kökler tekizliginde iki sany otrisatel köki ýerleşen oblastyna değişlidir. Şonuň üçin hem otrisatel kökleriň mümkin bolan maksimal sanyny r -ululyk bilen

belgilemekden ugur alyp, $\mu = 1, \lambda = 0$ koordinataly nokatdan ştrihlenmedik tarapy bilen göni çyzykdan düşüp barýan oblastymyzy $r-1$ bellik bilen belgimek maksadalaýykdyr. Bu ýerde 1-lik san şu oblasta bir položitel köküň gabat gelýändigini görkezýär.

Soňra ştrihlenen aýratyn göni çyzygy onuň ştrihlenen tarapyndan ştrihlenilmedik tarapyna geçmegi amala aşyryp düşýän (bir birlige az oblast) oblastymyzy $r-2$ bellik bilen belgileýäris. Şu oblasty belgilemek hem Rausyň matrisasynyň kömegi ýerine ýetirilipdi.

Bu oblastdan iki gat ştrihlenen aýratyn göni çyzygy ştrihlenmedik tarapyndan ştrihlenen tarapyna geçmegi amala aşyrmak bilen düşýän oblastymyzy r -bellik bilen belgileýäris. $\lambda = 0$ bolan aýratyn göni çyzygyň ştrihlenen tarapyndan ştrihlenmedik tarapyna geçmek bilen $r-1$ bellikli oblasta düşýäris, soňra hem $\mu = 0$ bolan aýratyn göni çyzygyň ştrihlenmedik tarapyndan ştrihlenen tarapyna geçmek bilen r -bellikli oblasta düşýäris.

Hereketi dowam etmek bilen r -bellikli oblastdan D -bölünmäniň egri çyzygynyň iki gat ştrihlenen tarapyndan ştrihlenmedik tarapyna geçmek bilen $r-2$ bellikli oblasta düşýäris.

Şeýlelikde, hemme oblastlar belgilenilýär. Durnuklylyk oblastyna dalaş edýän has köp r -bellikli oblastlaryň sany iki, ýagny otirisatel kökleriniň sany $r = 3 = n$, ýöne $\mu < 0$ we $\lambda < 0$ parametrli oblast real şertlerde manysyzlygy sebäpli durnukly oblast r -bellikli oblast bolup galýar. Bu ýerde bolsa parametrler položitel ýagdaýda, ýagny bu oblast 6.13-nji suratdaky 2-nji oblast bilen görkezilendir.

VII BAP

DETERMINIRLENILEN ÇYZYKLY AWTOMATIKI SAZLANYLÝAN ULGAMLARYŇ ÖZLEŞDIRILIŞI WE SINTEZI

7.1. Tipleýin sazlanylýan obýektler.

Umumy ýagdaýlar

Sazlanylýan desga diýlip sazlamak hadysasy ýerine ýetirilen ýa-da ýerine ýetirmek göz önünde tutulan tehnologik maşynlara, mehanizmlere, abzallara we enjamlara düşünilýär.

Önümçilik gurnawlary umumy ýagdaýda çylşyrymly obýektlere degişli bolýar, sebäbi ol ýerde birnäçe parametrler sazlanylýar. Çylşyrymly obýektleri käbir ýagdaýlarda birnäçe yönekey (tipleýin) obýektlere bölüp bolýar. Olarda bolsa diňe bir parametr sazlanylýar.

Onda bu ýerde we mundan beýläk *sazlanylýan obýekt* diýlip bir sazlanylýan ululyk bilen häsiýetlendirilýän ýönekeý obýekte düşüneris.

Sazlanylýan ululyk, köplenç, *obýektiň çykyş ululygy*, onuň peýda bolýan ýeri bolsa *obýektiň çykyşy* diýlip atlandyrylýar.

Sazlanylýan ululyga diňe sazlaýjy agzadan gelýän sazlaýjy täsir etmän, eýsem oýandyryjy täsirler hem täsir edýärler. Oýandyryjy we sazlaýjy täsirleri *obýektiň giriş ululyklary* diýip atlandyrmak kabul edilen. Olaryň goýulýan ýerleri bolsa *obýektiň girişi* diýlip atlandyrylýar, şeýle-de giriş we çykyş ululyklary *umumlaşdyrylan koordinatalar* diýlip hem atlandyrylýar.

Eger-de şol girişlere oýandyryjy täsirleriň şol bir formasy bilen (mysal üçin, birden üýtgeýän birlik signal görnüşli) täsir edilende şol girişler geçiş prosesleriniň dürli-dürli formasyny beren ýagdaýynda “girişler” dürli-dürli diýip hasaplanylýar.

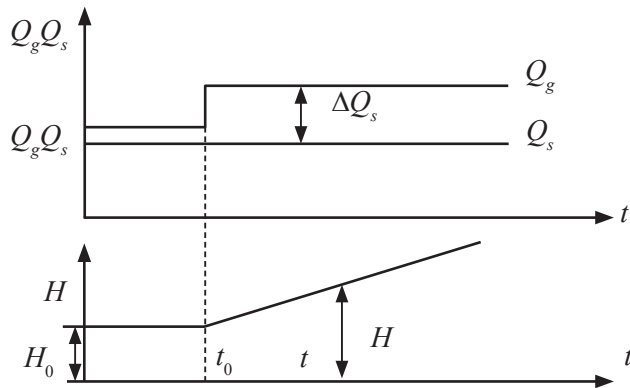
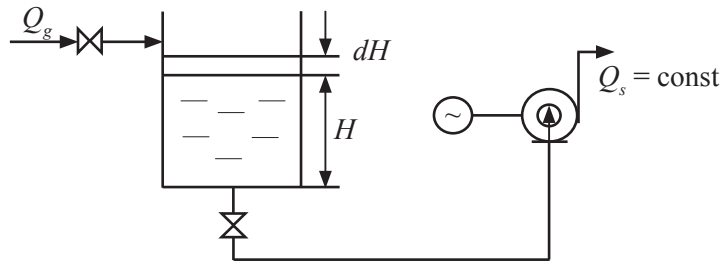
Ylmy we önümçilik nazaryýet tejribesi obýektleriň köpdürlüliginiň dinamikasynyň tertibini ikinji tertipden uly bolmadyk deňleme bilen ýazylýan tipleýin desgalaryň uly bolmadyk sanyna ýygnaý bolýandygyny görkezýär. *Tipleýin sazlanýlan desgalar* düşünjesini ulanmak çylşyrymly desgalary analitiki barlamak meselesini düýpgöter ýeňilleşdirmäge mümkinçilik berýär. Elektrik energiýasyny öndürmekde ulanylýan köp enjamlar bolsa çylşyrymly desgalara degişlidir.

7.2. Astatiki obýektler

Astatiki desgalar diýlip öz-özi deňagramly ýagdaýa gelip bilmeýän desgalarla düşünilýär. Daşyndan goşulmazlyk şerti bilen materiýanyň we energiýanyň gelmeginiň we sarp edilmeginiň arasyndaky deňligiň çaltlyk bilen bozulan ýagdaýynda desganyň birnäçe wagtdan soň başdaky ýa-da täze bir durnukly ýagdaýa gelip bilmek ukybyna **desganyň öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelip bilmeği** diýlip düşünilýär. *Öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelip bilmeýän obýektlere* mysal edip bug turbinalarynyň pes we ýokary basyşly gyzdyryjylaryny getirmek bolar, sebäbi ol ýerde gyzdyryjy buglar energiýasyny berip kondensata öwrülenden soň olary hemişelik tizlikli sorujy enjamlaryň kömegi bilen ol ýerden sorup aýyrmaly bolýar.

Grafiğiň ýokary böleginde ordinatalar oky boýunça suwuklygyň gelmesiniň Q_g we sarp edilmesiniň Q_s ululyklary, aşaky böleginde bolsa çykyş parametri bolan H -ululyk ýerleşdirilen, absissalar oky boýunça bolsa wagtyň ululygy ýerleşdirilýär. Wagtyň t_0 – pursadyna çenli suwuklygyň gelmesi sarp edilişine deňdir. Suwuklygyň derejesi bolan H -ululyk bolsa H_0 – ululyga deň, ýagny $H = H_0$. Wagtyň t_0 – pursadyndan soň suwuklygyň gelmesiniň ΔQ_g – ululyga artmasy bilen deňagramly ýagdaý bolýar. Şu pursatdan başlap suwuklygyň derejesi ýokarlanyp başlaýar. Birnäçe wagtdan soň bolsa gyzdyryjy suwuklykdan dolar. Eger-de täsir suwuklygyň gelmesiniň azalmasy ýa-da sarp edilmesiniň köpelmegi bilen aňladyl-

sa, onda gyzdyryjydyaky suwuklygyň derejesi ýuwaşlyk bilen azalar we birnäçe wagtdan soň bolsa gyzdyryjy suwuklykdan boşar.



7.1-nji çyzgy. Astatiki desgalar we olaryň häsiýetnamalary

Deňagramlylyk ýagdaýy bozulan mahalynda astatiki obýektlerde çykyş parametriniň üýtgeme tizligi oýandyryjy täsiriň ululygyna göni proporsionaldyr.

Astatiki desga üçin hereket deňlemesini getirip çykaralyň.

Durnuklaşan düzgünde statikanyň deňlemesi aşakdaky ýaly bolar:

$$Q_{g_0} - Q_{s_0} = 0; \quad H = H_0 = \text{const.} \quad (7.1)$$

Suwuklygyň gelmesini çaltlyk bilen $\Delta Q_g = Q_g - Q_{g_0}$ – ululyga üýtgedýäris. Onda durnuklaşmadyk ýagdaý üçin aşakdaky gatnaşyk ýerlikli bolar:

$$(Q_g - Q_{s_0}) \cdot dt = F \cdot dH.$$

Bu ýerde F – gabyň kese kesiginiň meýdany.

Soňky deňlemäni dt ululyga bölüp alarys:

$$F \cdot \frac{dH}{dt} = Q_g - Q_{s_0}. \quad (7.2)$$

(7.2) görnüşli dinamikanyň deňlemesinden (7.1) görnüşli statikanyň deňlemesini aýryp, özüme amatly görnüşde ýazyp alarys:

$$F \cdot \frac{dH}{dt} - 0 = [Q_g - Q_{s_0}] - [Q_{g_0} - Q_{s_0}]$$

$$F \cdot \frac{dH}{dt} = Q_g - Q_{s_0} - Q_{g_0} + Q_{s_0}$$

$$F \cdot \frac{dH}{dt} = Q_g - Q_{g_0} = Q_g$$

Alnan deňlemäni ölçeg birliksiz görnüşe getirýäris. Değişlilikde, derejäniň üýtgemesini onuň nominal bahasyna, suwuklygyň gelşiniň üýtgemesini bolsa maksimal bahasyna gatnaşdyrýarys:

$$\frac{F \cdot H_0}{Q_{g_{\max}}} \cdot \frac{d\left(\frac{H - H_0}{H_0}\right)}{dt} = \frac{Q_g - Q_{g_0}}{Q_{g_{\max}}}$$

Bellik. $d\left(\frac{H - H_0}{H_0}\right)$ – şu ululykdaky sanawjynyň tapawut görnüşinde alynmagy $dH_0 = 0$ bolýanlygy bilen düşündirilýär (H_0 – hemişelik san).

$$\frac{\frac{\text{m}^2 \cdot \text{m}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\frac{\text{m}^3}{\text{s}} - \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

Soňra deňlemä belgileme girizýäris:

$$\frac{F \cdot H_0}{Q_{g_{\max}}} = T_0 - \text{obýektiň badyny artdyrma wagty}^*. \text{ Ölçeg birligi } \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{m}}{\text{m}^3 / \text{s}} = \text{s} \right];$$

* – fiziki nukdaýnazardan **desganyň badyny artdyrma wagty** diýlip suwuklygyň gelmesi bilen sarp edilmesiniň arasyndaky tapawudyň maksimal bahasynda gabyň doly dolmagy ýa-da doly boşamagy üçin gerek bolan wagta düşünilýär.

$$\frac{H - H_0}{H_0} = \varphi - \text{parametriň otnositel üýtgemesi.}$$

$$\frac{Q_g - Q_{g_0}}{Q_{g_{\max}}} = \mu - \text{suwuklygyň gelmesiniň otnositel artdymasy.}$$

Onda:

$$T_0 \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \mu. \quad (7.3)$$

(7.3) deňleme operator formada ýazylsa, onda deňleme aşakdaky görnüşi alar:

$$T_0 \cdot s \cdot \varphi = \mu. \quad (7.4)$$

Bu ýerde $s = \frac{d}{dt}$.

Eger-de suwuklygyň gelmesini hemişelikde saklamak bilen, sarp etmegi bir-den üýtgetsek, onda hereketiň deňlemesi operator formada indiki görnüşi alar:

$$T_0 \cdot s \cdot \varphi = -\lambda. \quad (7.5)$$

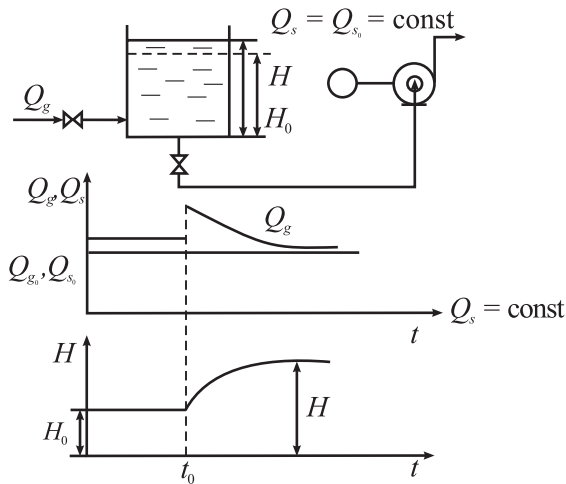
Bu ýerde $\lambda = \frac{Q_s - Q_{s_0}}{Q_{s_{\max}}}$ – sarp etmegiň otnositel üýtgemesi.

Önümçilikde suwuklygyň gelmesi we sarp edilmesi taraplarynyň ikisinde hem oýandyryjy täsirleriň gelmegi mümkindir. Eger-de şeýle ýagdaý ýüze çyksa, onda astatiki desgalaryň deňlemesi indiki görnüşde ýazylyp bilner:

$$T_0 \cdot s \cdot \varphi = \mu - \lambda. \quad (7.6)$$

7.3. Bir sygymly statiki obýektler

Desganyň sygymlylygy diýlip şol obýektiň energiýany ýa-da materiýany ýygnap bilijilik ukybyna düşünilýär. Sygym san taýdan sygym koeffisiýenti bilen häsiýetlendirilýär. Temperaturany sazlaýan desgalarda **sygym koeffisiýenti** diýlip işçi jisimiň temperaturasyny 1°C üýtgetmek üçin gerek bolýan ýylylyk mukdaryna aýdylýar ýa-da desga näçe ýylylyk getirmelidigine (äkitmelidigine) düşünilýär.



7.2-nji çyzygy Statiki desgalar we olaryň häsiýetnamalary

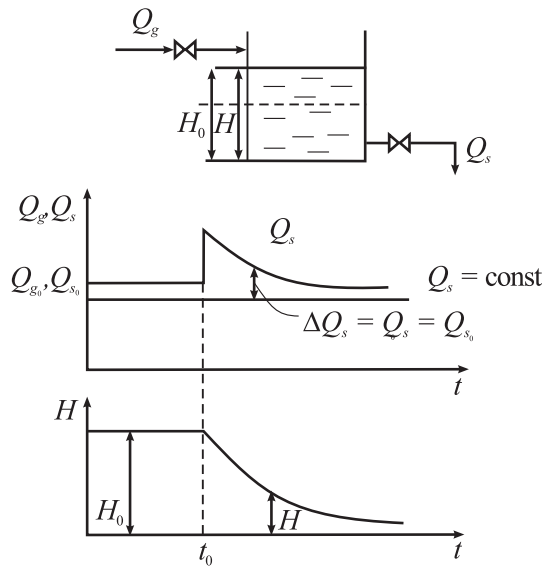
Dereje sazlanlyan obýektlerde sygym koeffisiýenti diýlip sazlanlyan obýektdeki suwuklygyň derejesini bir gezek üýtgetmek üçin gerek bolan suwuklygyň mukdaryna aýdylýar. Obýektler *birsygymly* ýa-da *köpsygymly* bolýarlar. Ilki bilen, *bir sygymly statiki obýektler* bilen tanyş bolup geçeliň. Statiki obýektler öz-özünden deňagramlaşma ukybyny suwuklygyň gelýän we sarp edilýän liniýalarynda saklaýarlar.

Suwuklygyň gelýän liniýasynda öz-özünden deňagramlaşma ukyby bolan statiki obýektiň mysaly 7.2-nji çyzgyda görkezilendir. Bu ýerde gaba (baga) suwuklyk goýlan derejesinden aşakda berilýär (sarp edilme hemişelikde).

Deňagramly ýagdaýda:

$$Q_{g0} - Q_{s0} = 0; \quad H = H_0 = \text{const}; \quad m = m_0 = \text{const}. \quad (7.7)$$

Bu ýerde m – sazlaýjy agzanyň duran ýagdaýyny görkezýän ululyk.



7.3-nji çyzgy Suwuklygyň gidýän tarapyndaky prosesiniň häsiýetnamasy

Eger-de sazlaýjy agzanyň suwuklygyň öňüni ýapyjysy birden üýtgeme görnüşinde ýokaryk galdyrylsa, suwuklygyň derejesi ýokarlanyp başlaýar. Derejäniň ýokarlanmasy suwuklygyň gelmesiniň azalmagyna getirýär. Birnäçe wagtdan soň öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelmeginiň hasabyna täze bir deňagramly ýagdaý emele gelýär we ýene-de suwuklygyň gelmesi hem-de sarp edilmesi deňleşýär.

Bu ýagdaý üçin dinamikanyň deňlemesini getirip çykarýarys:

$$Q_g = f(H, m); \quad Q_s = Q_{s_0} = \text{const}. \quad (7.8)$$

Ýönekeý özgertmeleri ýerine ýetirýäris, sarp etmek hemişelik, $dH_0 = 0$ we $dm_0 = 0$. Şu ýagdaýlary hasaba alyp ýazarys:

$$dQ_g = \frac{\partial Q_g}{\partial H} \cdot dH + \frac{\partial Q_g}{\partial m} \cdot dm = F \frac{dH}{dt}. \quad (7.9)$$

$$dQ_g = \frac{\partial Q_g}{\partial H} \cdot (H - H_0) + \frac{\partial Q_g}{\partial m} \cdot (m - m_0) = F \frac{dH}{dt}. \quad (7.10)$$

$$\frac{\partial Q_g}{\partial H} \frac{H_0}{Q_{g \max}} \frac{H - H_0}{H_0} + \frac{\partial Q_g}{\partial m} \frac{m_{\max}}{Q_{g \max}} \frac{m - m_0}{m_{\max}} = \frac{F \cdot H_0}{Q_{g \max}} \frac{d\left(\frac{H - H_0}{H_0}\right)}{dt}; \quad (7.11)$$

Belgileme girizýäris:

$$\frac{\partial Q_g}{\partial H} \frac{H_0}{Q_{g \max}} = -\rho_g - \text{suwuklygyň gelýän liniýasyndaky öz-özünden deňleşme}$$

koeffisiýenti.

$$\frac{H - H_0}{H_0} = \varphi - \text{parametriň öz kadasyndan üýtgemesi.}$$

$$\frac{m - m_0}{m_{\max}} = \mu - \text{sazlaýjy täsiriň otnositel üýtgemesi.}$$

$$\frac{F \cdot H_0}{Q_{g \max}} = T_a - \text{desganyň badalma wagty.}$$

Eger-de sazlaýjy agza *gönüçyzykly sarp edýän häsiýetnamaly* diýip kabul etsek, onda:

$$\frac{\partial Q_g}{\partial m} \frac{m_{\max}}{Q_{g \max}} = 1.$$

Kabul edilen belgilemelerimizi (7.11) deňlemä goýsak, onda ol deňlemäni ölçeg birliksiz görnüşde aşakdaky ýaly ýazarys:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \rho_g \varphi = \mu. \quad (7.12)$$

Indi öz-özünden deňagramlaşma suwuklygyň sarp edilýän tarapynda bar diýip göz önüne getireliň.

Wagtyň t_0 – pursadynda suwuklygyň sarp edilişini birden üýtgame görnüşinde köpeldeliň. Bu pursatdan başlap suwuklygyň derejesi peselip başlar. Şonuň bilen bir wagtda gidrostatiki H güýç hem azalyp başlar. Şeýlelikde, obýektde suwuklygyň sarp edilmegi hem azalar. Değişlilikde, sarp edilmäniň azalmasy bilen ΔQ_s – görnüşli

oýandyryjy täsir hem kiçeler. Netijede, suwuklygyň derejesiniň üýtgeme tizligi hem peseler. Birnäçe wagtdan soň bolsa suwuklygyň gelmesi bilen sarp edilmesi ýene-de deňleşer. Şondan soňra suwuklygyň derejesiniň peselmesi kesiler. Suwuklygyň derejesiniň has pes bolan ýagdaýynda täze bir deňagramlylyk ýagdaýy emele geler.

Bu ýagdaý üçin dinamikanyň deňlemesi indiki görnüşi alar:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \rho_s \varphi = -\lambda. \quad (7.13)$$

$\frac{\partial Q_s}{\partial H} \frac{H_0}{Q_{s \max}} = -\rho_s$ – suwuklygy sarp edilýän liniýadaky öz-özünden deňagramlaşma koeffisiýenti.

$$\frac{Q_s - Q_{s \max}}{Q_{s \max}} = \lambda - \text{sarp etmegiň otnositel üýtgemesi.}$$

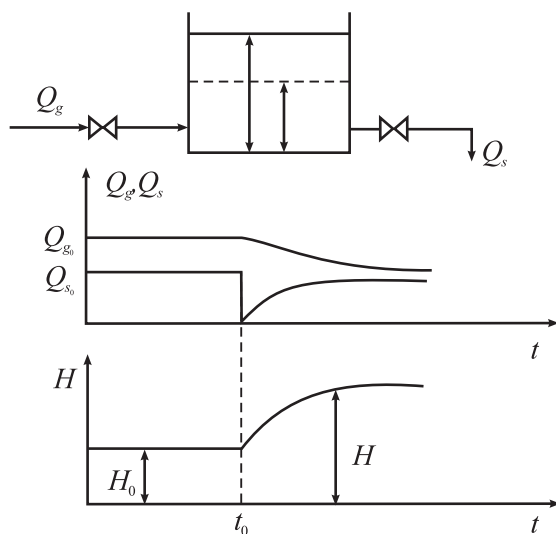
Öz-özünden deňagramlaşma bir wagtda iki tarapda hem, ýagny suwuklygyň gelýän we sarp edilýän taraplarynda bolup biler. Şeýle ýagdaý üçin dinamikanyň deňlemesi aşakdaky görnüşi alar:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \rho \varphi = \mu - \lambda. \quad (7.14)$$

Bu ýerde $\rho = \left(\frac{\partial Q_s}{\partial H} - \frac{\partial Q_g}{\partial H} \right) \frac{H_0}{Q_{\max}}$; $Q_{g \max} = Q_{s \max} = Q_{\max}$ bolan ýagdaýynda

öz-özünden deňagramlaşmanyň umumylaşdyrylan koeffisiýenti.

7.4-nji suratda öz-özünden deňagramlaşýan bir sygymly statiki halkanyň geçiş prosesi görkezilendir. Bu ýerde deňagramlaşma suwuklygyň gelýän we sarp edilýän taraplarynda hem bolup geçýär.



7.4-nji çyzgy. Öz-özünden deňagramlaşýan bir sygymly statiki zwenonyň geçiş prosesi

Bir sygymly statiki desganyň deňlemesiniň operator formadaky görnüşi bolsa indiki görnüşde bolar:

$$T_a p \varphi + \rho \varphi = \mu - \lambda;$$

$$(T_a p + \rho) \varphi = \mu - \lambda. \quad (7.15)$$

Soňky aňlatmanyň ähli düzäjilerini bölüp alarys:

$$\left(\frac{T_a}{\rho} p + 1 \right) \varphi = \frac{1}{\rho} (\mu - \lambda). \quad (7.16)$$

Belgileme girizýäris:

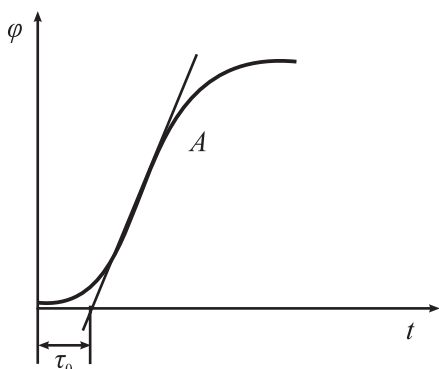
$$\frac{T_a}{\rho} = T - \text{obýektiň wagt hemişeligi};$$

$$\frac{1}{\rho} = k_g - \text{obýektiň güýçlendirijilik koeffisiýenti}.$$

Onda (7.16) deňleme aşakdaky ýaly ýazylar:

$$(Tp + 1) \varphi = k_g (\mu - \lambda). \quad (7.17)$$

7.4. Iki sygymly statiki desgalar



7.5-nji çyzgy. Iki sygymly statiki desganyň wagt häsiýetnamasy

Iki sygymly statiki obýektlere, esasan, ýylylyk desgalary degişlidir. Bu ýerde iki sany desganyň görnüşi tapawutlandyrylýar, ýagny ýylylygy berýän we kabul edýän tarapdaky obýektlere. **Ýylylygy berýän tarapdaky sygym** diýlip gyzdyryjy bug bilen we ýylylyk çalşyjynyň diwarlaryndaky ýylylygyň mukdaryna hemde ýylylygy kabul edýän tarapda bolsa gyzdyrylýan esasy kondensatyň ýylylygynyň mukdaryna düşünilýär.

Iki sygymly desgalaryň dinamikasi ikinji tertipli deňleme bilen ýazylýar:

$$T_2^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + T_1 \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_g (\mu - \lambda). \quad (7.18)$$

Bu ýerde T_1 we T_2 – desganyň wagt hemişelikleri.

Iki sygymly statiki obýektiň wagt häsiýetnamasy 7.5-nji suratda görkezilendir.

7.5. Arassa yzagalması bolan desgalar

Çylşyrymly desgalar. Elektrik energiýasynyň önümçiliginde arassa yzagalması bolan desgalar bilen hem iş salyşmaly bolýar. Bu desgalar arassa yzagalma wagty bilen häsiýetlendirilýär. Şeýle desgalara mysal bolup ýönekeý transportýor gulluk edip biler. Berlen ýagdaýda giriş ululyk bolup enjama gelýän materialyň mukdary, çykyş ululygy bolup hem kabul ediji gaba berilýän materialyň mukdary gulluk edip biler. Bu ýerde çykyş ululygy giriş ululygynyň ýagdaýyny t_0 – ululykly arassa yzagalma bilen gaýtalaýar:

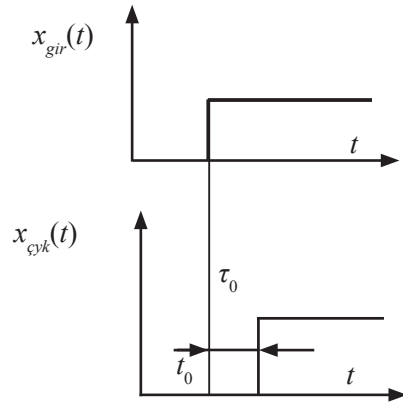
$$x_{\text{çyk}}(t) = x_{\text{gir}}(t - \tau_0). \quad (7.19)$$

Çylşyrymly desgalar diýlip birnäçe köpsygymly, sazlanýlan we paýlanylýan parametrleri bolan desgalara düşünilýär. Bu desgalar ýokary tertipli differensial deňlemeler bilen ýazylýar. Şeýle deňlemeleri düzmek we çözmek çylşyrymly we köp zähmet siňdirilýän iş bolup durýar.

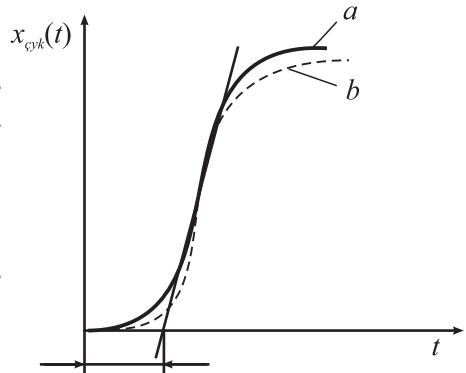
Şonuň üçin hem ýokary takyklygy talap edilmeyän tehniki meseleler çözülende çylşyrymly desgalar ýönekeý desgalaryň köplügi bilen çalşylýar.

Şeýle ýönekeý desgalaryň geçiş häsiýetnamalary jemleýji görnüşleri özleşdirilýän desganyň häsiýetnamasyna ýeterlik ýakynlyk bilen gabat gelýär. Şeýle çalyşma **aproksimasiýa** diýilýär.

Köpsygymly desgalaryň ýönekeý deňlemelerini düzmeğiň amatly we has şowly ýaýradylany şol obýektiň islendigini iki sany ýönekeýine çalyşma usulydyr. Mysal üçin, öz-özünden deňagramlaşýan desgany iki sany tipleýin desgalaryň köplüğine çalyşýarlar. Bir sygymly statiki we arassa yzagalma ly desgalar. 7.7-nji (a) çyzgyda köpsygymly statiki desganyň badalma çyzgysy, 7.7-nji (b) çyzgyda bolsa τ_0 – arassa yzagalma wagtly birinji tertipli egri çyzyk görkezilen. Has takyk öwrenilýän köpsygymly desgalar üç sany tipleýin obýektlere çalyşylýar. Mysal üçin, çylşyrymly öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelip bilýän desga zygider birikdirilýän iki sany bir sygymly statiki we bir arassa yzagalması bolan desgalara çalyşylýar.



7.6-njy çyzgy. Yzagalma wagtly desgalaryň wagt häsiýetnamasy



7.7-nji çyzgy:

a) köpsygymly statiki desganyň badalma çyzgysy; b) τ_0 – arassa yzagalma wagtly birinji tertipli egri çyzyk

7.6. Synag-derñew ýoly bilen önümçilik desgalarynyň dinamiki häsiýetnamalaryny kesgitlemek

7.6.1. Nazary maglumatlar

Mälim bolşy ýaly, awtomatiki sazlanýlýan ulgamlaryň dinamiki häsiýetnamalary bilen sazlanýlýan prosesini hili kesgitlenilýär. Sazlama geçirilýän wagty geçiş prosesiniň tehnologiýanyň talaplaryna jogap bermegi üçin hökman awtomatiki sazlanýlýan ulgamlaryň doly kesgitlenilen dinamiki häsiýetnamalary edinilmelidir. Desga awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň az üýtgeýän bölegi bolup durýandyr. Onuň dinamiki häsiýetnamasyny doly kesgitlep bolýar. Sazlaýjy barada aýdylanda bolsa ol korrektirleýji enjam bolup gulluk edýär we tehnologik desganyň dinamiki häsiýetnamasyny gerekli tarapyna üýtgetmäge ýardam berýär.

Eger-de geçiş prosesiniň hiline bolan talaplar belli bolsa, obýektiň dinamiki häsiýetlerini bilmek sazlaýjynyň deňlemesiniň görnüşini kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Şeýle deňlemäni kesgitlep bolýan bolsa, onda şol deňlemäniň kömegi bilen sazlaýjynyň gerekli tipini saýlap we onuň optimal sazlaýjylyk parametrlerini hem hasaplap bolýar. Şeýlelikde, sazlaýjynyň gerekli görnüşini saýlamak we onuň optimal sazlaýjylyk parametrlerini hasaplamak üçin sazlanýlýan obýektiň dinamiki häsiýetini kesgitlep bilmek gaty zerur mesele bolup durýar.

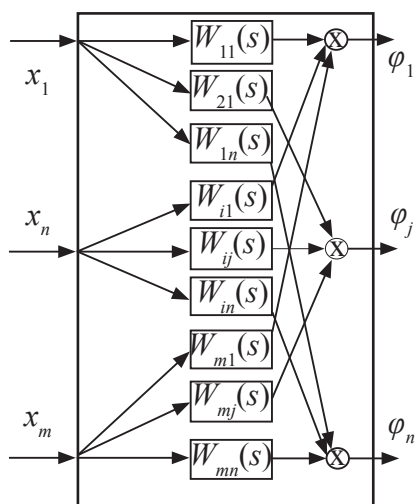
Elektrik energiýasy önümçiliginde gabat gelýän obýektleriň köplügi çylşyrymly desgalara degişlidir. Olaryň dinamiki häsiýetnamalaryny analitiki ýol bilen özleşdirmek mümkin däldir. Bu ýerde önde goýulýan meseläni çözüýän zat bolup synag-derñew işi gulluk edýär. Synag-derñew işiniň manysy hem ulgama berilýän oýandyryjy täsire gaýtarýan reaksiýasyny öwrenmekden ybaratdyr. Sazlanýlýan desganyň dinamiki häsiýetini öwrenmegiň desga berilýän synag täsiriniň berlişine baglylykda iki usul tapawutlandyrylýar. Birinji usul *aktiv*, ikinji usul bolsa *passiw* usuldyr.

Birinji ýagdaýda synag geçirýän işçiniň özi oýandyryjy täsiri ulgama berýär. Ikinji *passiw* usulda bolsa ulgamlaryň dinamikasi öwrenilende synag täsiri hökmünde giriş koordinatalarynyň tötänleýin üýtgemesi ulanylýar. Bu ýerde synag geçiriji gözegçiniň wezipesini ýerine ýetirýär. Aktiv usul bilen önümçilik desgalarynyň dinamiki häsiýetnamalary kesgitlenilende oýandyryjy täsirleriň üç görnüşü ulanylýar.

1. Giriş ululygynyň bir gezek birden üýtgame görnüşli üýtgemesi. Bu ýagdaýa desganyň badalma egri çyzygy diýlip atlandyrylýan geçiş prosesi gabat gelýär.

2. Bir gezeklik impulsly oýandyryjy täsir. Oýandyryjy täsiriň bu görnüşine geçiş prosesiniň impuls häsiýetnamasy gabat gelýär.

3. Garmoniki yrgyldylar ýa-da gönüburçly tolkunlar görnüşinde bolan periodiki oýandyryjy täsirler. Bu ýagdaýa geçiş prosesiniň ýygylyk häsiýetnamalary gabat gelýär.



7.8-nji çyzgy. Çylşyrymly obýektiň düzüm shemasy

Özleşdirilýän desga 7.8-nji çyzgyda getirilip görkezilendir we ol umumy görnüşde m -sany giriş ululygyny we n -sany hem çykyş ululygyny saklaýar. Giriş we çykyş ululyklarynyň arasynda içki dinamiki arabaglanyşyk bolýar. Olar $W_{ij}(s)$ geçirijik funksiýasy görnüşinde bolýarlar. Synag-derňew işiniň geçirilýän wagty goňşy giriş ululyklar tarapyndan girizilýän ýalňyşlyklary aradan aýyrmak üçin olar nominal bahalarynyň golaýynda durnuklaşdyrylýar we arakesmesiz görnüşde abzalyň ýadyna ýazylýar. Önümçilik şertlerinde giriş we çykyş ululyklarynyň arasyndaky aragatnaşyklary hasaba almasaň hem bolýar.

Bu ýagdaýda öwrenilýän desganyň düzüm shemasy gowy ýeňilleşýär, şeýle-de bu ýerde bellemeli zatlaryň biri – ol hem synag-derňew usullary desgalaryň parametrleriniň bir ýere jemlenilmegine esas döredýär. Olaryň dinamiki häsiýetnamalarynyň wagta baglylykda üýtgeşsiz galýanlygyny, giriş koordinatalarynyň kiçi üýtgemelerinde häsiýetnamalarynyň gönüçyzyklydygyny bellemelidir.

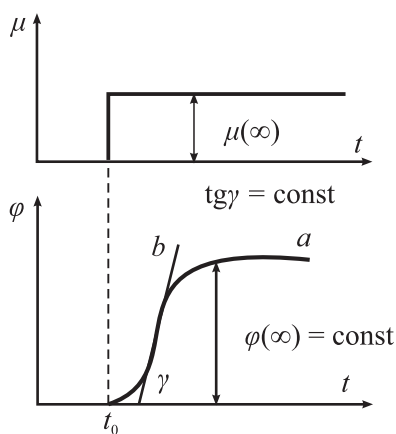
7.6.2. Badalma egri çyzygynyň we impuls häsiýetnamasynyň alnyşy

Öňden belli bolşy ýaly, *badalma egri çyzygy* giriş ululygy bir gezek birden üýtgedilenden soňra çykyş ululygynyň wagta baglylykda berýän häsiýetnamasydyr.

Badalma egri çyzygyny aşakdaky ýagdaýda alyp bolýar, ýagny özleşdirilýän desga oýandyryjy täsirleri dowamly berip bolýan ýagdaýynda gözlenilýän häsiýetnamany almak mümkinçiligi döreýär. Oýandyryjy täsirleriň ululygy saýlanylanda indiki düşünjelerden ugur alnýar. **Birinjiden**, ol ululyk ýeterlik derejede uly bolmaly, sebäbi badalma egri çyzygyna tötänleýin täsirler täsir etmeli däldir. **Ikinjiden** bolsa oýandyryjy täsiriň ululygy gaty uly bolmaly däldir, sebäbi ol täsirleriň tehnologik proseslere täsir etmegi mümkindir. Bulardan başga-da uly oýandyryjy

täsirler obyektin häsiýetnamalaryna we olaryň gönüçyzyklylygyna özüniň täsirini ýetirip biler. Ýokarda aýdylanlardan ugur alyp oýandyryjy täsirleriň ululygyny giriş ululygynyň nominal bahasyndan 5–15% aralykda almak maslahat berilýär. Oýandyryjy täsirleri bermezden öň çykyş ululygyna täsir edýän giriş ululygyny, onuň ýüküni we beýleki kömekçi ululyklary durnuklaşdyrmaly. Durnukly düzgüniň talap edilýän dowamlylygy öwrenilýän desganyň inersionlygy bilen kesgitlenilýär. Eger-de desganyň inersionlygy uly bolsa, onda durnuklaşan režimi, mümkin bolsa, 2–3 minut saklamaly. Inersionlygy kiçi bolan desgalarda (mysal üçin, sarp etmek, basyş ölçemek bilen iş geçirilýän bolsa) 20–30 sekunt bilen çäklenmek ýeterlidir. Soňra sazlaýjy agza birden süýşürilip birden üýtgame görnüşli oýandyryjy täsir berilýär. Oýandyryjy täsiriň ululygy synag-derňew işini geçirmegiň dowamynda hemişelikde galmalydyr. Çykyş ululygynyň üýtgesimini geçiş prosesi tamamlanýança haýsy hem bolsa bir abzal bilen ýazyp durmalydyr. Öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelip bilmeýän astatiki desgalarda badalma egri çyzygy alnanda obyektin çykyş ululygynyň üýtgame tizligi durnuklaşan düzgünine ýeten ýagdaýynda geçiş prosesini tamamlamak maslahat berilýär.

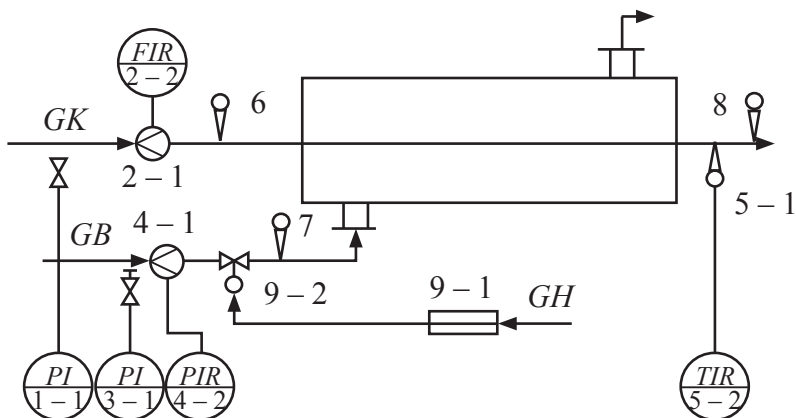
Statiki desgalar, ýagny **öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelip bilýän desgalar üçin geçiş hadysasynyň gutarýan wagty** diýlip çykyş ululygynyň 7.9-njy çyzgydaky ýaly täze bir durnukly ýagdaýa eýe bolan wagtyna düşünyärler. Synag-derňew wagtynda alnan häsiýetnama daşky täsirleriň täsiriniň ýetendigini ýa-da dälidigini bilmek üçin olar hem degişli abzallar bilen arakesmesiz ölçenilip durulsa maksadalaýyk bolýar.



7.9-njy çyzgy

Sazlanylýan desganyň badalma häsiýetnamasyny almak usulyňy takyk mysalda görüliň. Özleşdirilýän desga hökmünde “turbanyň içinde turba” tipli ýylylyk çalşyjyny alýarys. “Gyzdyryjy akymyň sarp edilişi – ýylylyk çalşyjynyň çykyşyndaky temperatura” kanaly boýunça badalma egri çyzygyny almak üçin niýetlenilen

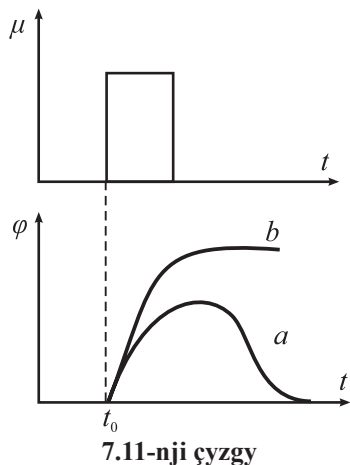
“turbanyň içinde turba” tipli ýylylyk çalşyjynyň abzallar bilen enjamlaşdyrylan mysaly shemasy 7.10-njy çyzgyda görkezilendir.



7.10-njy çyzgy. “Turbanyň içinde turba” tipli ýylylyk çalşyjynyň funksional shemasy

Bu shemada çykyş ululygy hökmünde ýylylyk çalşyjynyň çykyşyndaky temperatura alynýar. Ol temperatura 5–1-nji pozisiýada duran termogarşylyk bilen ölçenilýär. Ol abzal 5–2-nji pozisiýada bolan pnewmo sazlaýjysy bolan elektron köprüsi bilen bilelikde işleýär. Haçan-da badalma egri çyzygy alnanda onuň pnewmo sazlaýjysy öçürilýär. Basgançak görnüşli oýandyryjy signal 9–2-nji pozisiýada bolan sazlaýjy agzanyň üsti bilen berilýär. Ol abzal hem 9–1-nji pozisiýadaky aralykdan dolandyrylýan gurluş bilen bilelikde işleýär. Oýandyryjy täsiriň ululygy bolsa 4–1-nji pozisiýadaky gysyp goýberiji ölçeýji we 4–2-nji pozisiýalarda duran difmanometriň kömegi bilen ölçenilýär. Bu ýerde özleşdirilýän desgadan, ölçeýji abzaldan we sazlaýjy agzadan durýan açyk ulgamyň badalma egri çyzygynyň alynýandygyny bellemelidir. Daşyndan täsir edip biljek faktorlary we olaryň badalma egri çyzygyna edip biljek täsirleri ölçemek üçin 1–1-nji; 2–1-nji; 2–2-nji; 3–1-nji; 6-njy; 7-nji pozisiýalarda duran abzallar ulanylýar. 8-nji pozisiýalardaky duran termometr çykyş ululygyny ölçeýän 5–1-nji we 5–2-nji pozisiýadaky abzallaryň barlagy üçin goýulýar. Haçan-da tehnologik nukdaýnazardan seredilende birden üýtgeýän täsiri dowamly berip bolmaýan ýagdaýynda impulsly oýandyryjy täsirler ulanylýar. Nazary taýdan seredilende impulsly oýandyryjy täsir pursatda üýtgeýän gönüburçly impuls görnüşinde bolmalydyr, ýöne önümçilikde impulsly oýandyryjy täsiriň ululygy giriş ululygynyň nominal bahasynyň 15–25% ululygynda saýlanylýar. Impuls häsiýet-namasynyň alnyşy indiki tertipde amala aşyrylýar. Giriş ululygynyň birden üýtgemesi bolup geçenden soňra, çykyş ululygynyň artmagy netijesinde özüniň çäkli bahasyna ýakynlaşan ýagdaýynda oýandyryjy täsiri aýyrýarlar. Geçiş prosesi sta-

tiki desgalarda çykyş ululygy 7.11-nji (a) çyzgydaky ýaly täzeden başdaky ýagdaýa gelen wagtynda, astatiki desgalarda bolsa çykyş ululygynyň täze bir durnuklaşan bahasyna ýeten wagtynda 7.11-nji (b) çyzgydaky ýaly gutarýar.



7.11-nji çyzgy

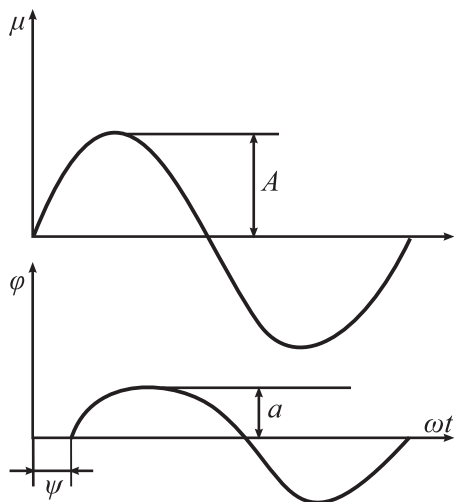
Özleşdirilýän desgalar, adatça, gönüçyzyksyz häsiýetnamaly bolýarlar. Şeýle obýektleriň göni çyzyksyzlyk derejesini kesgitlemek üçin, desganyň dinamiki häsiýetnamasyny oýandyryjy täsirleri iki ugrada bermek arkaly ýerine ýetirmek maksadalaýykdyr. Eger-de bu şertlerde çykyş ululygynyň üýtgemesiniň egri çyzyklary simmetriki däl bolsa, onda özleşdirilýän desgalaryň gönüçyzyksyz ýagdaýdadygynyň alamatydyr, şeýle hem synag-derňew işi geçirilýän wagtynda ýalňyşlyklaryň gitmek mümkinçiligini aradan aýyrmak üçin desganyň dinamiki häsiýetnamasyny iki gezekden az almaly däldir.

7.6.3. Ýygylyk häsiýetnamalarynyň kesgitlenilishi

Eger-de gönüçyzykly (ýa-da şoňa ýakynlaşdyrylan), durnukly, sazlanýlan ulgamyň girişine 7.12-nji çyzgydaky ýaly

$$\mu = A \cdot \sin \omega t$$

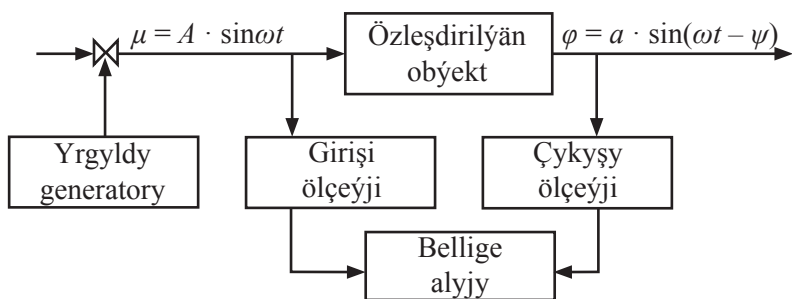
görnüşli oýandyryjy täsir berilse, bu ýerde A – amplituda; ω – yrgyldynyň burç ýygylygy, onda wagtyň geçmegi bilen çykyşda durnuklaşan, şol ýygylykly yrgyldy peýda bolar, ýöne onuň amplitudasy giriş yrgyldysynyň parametrlerine oňusitel-



7.12-nji çyzgy

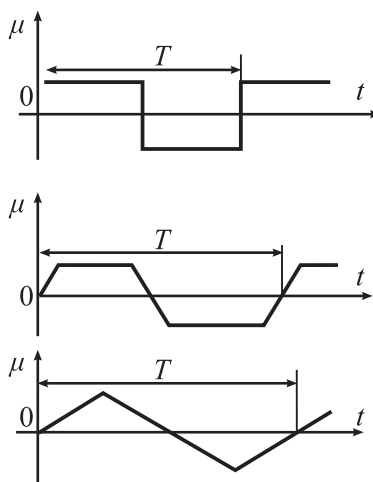
likde fazasy boýunça käbir ululyga süýşürilen ýagdaýda bolýar, ýagny $\varphi = a \sin(\omega t - \psi)$, ψ – ululygyň öňündäki minus alamaty real şertlerde desgalaryň çykyş ululygynyň yrgyldysynyň fazasy, adatça, giriş ululygynyň fazasyndan gijä galýar.

Ýygylyk häsiýetnamasy kesgitlenilende, ilki bilen, aýratynlykda amplituda-ýygylyk we faza-ýygylyk häsiýetnamalary gurulýar. Soňra şol häsiýetnamalar esasynda obýektiň amplituda-faza häsiýetnamasy gurulýar. 7.13-nji çyzgyda ýygylyk häsiýetnamasyny kesgitlemek üçin niýetlenilen synag-derňew gurluşynyň blok shemasy görkezilendir.

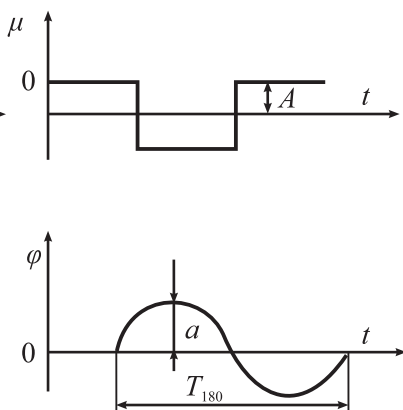


7.13-nji çyzgy. Ýygylyk häsiýetnamasyny kesgitlemek üçin niýetlenilen synag-derňew gurluşynyň düzüm shemasy

Bu gurluşyň esasy elementi bolup infrapes ýygylykly garmoniki yrgyldynyň generatory gulluk edýär. Synag-derňew bilen ýygylyk häsiýetnamasy kesgitlenilende önümçilik şertlerinde elmydama sinusoidal formaly oýandyryjy täsiri döretmek mümkinçiligi bolmaýar. Ýylylyk energetikasynyň desgalary infrapes ýygylykly süzgüçler bolup durýarlar. Olar ýokary garmonikalary goýbermeýärler. Şonuň üçin hem 7.14-nji çyzgydaky ýaly gönüburçly, trapesiýa ýa-da üçburçly täsirleri döredip, öwrenilýän desganyň ýygylyk häsiýetnamalaryny kesgitlep bolýar.



7.14-nji çyzgy



7.15-nji çyzgy

Täsirleriň bu görnüşlerini–sazlaýjy agzalaryň süýşmesini deň wagt aralyklarynda gezekli-gezegine ilki bir tarapa, soňra beýleki tarapa üýtgedip alyp bolýar. Önümçilikde köp ulanylýan täsirleriň görnüşi gönüburçly formadadyr. Birinji tejribäni – giriş we çykyş yrgyldylarynyň faza süýşmesini 180°-a deň bolan ýygylykda geçirmek maslahat berilýär. Munuň üçin desganyň girişine giriş ululygynyň nominal bahasynyň 5–15%-i berilýär we ony çykyş ululygynyň başlangyç durnuklaşan bahasyndan üýtgemesi ýüze çykýança hemişelikde

saklanylýar. Üýtgemäniň ýüze çykan wagtynda bolsa çaltlyk bilen giriş ululygynyň polýarlylygy üýtgedilýär we ýene-de ol hemişelikde saklanylýar. Çykyş ululygy başlangyç durnuklaşan bahasynyň liniýasyndan geçýänçä proses dowam edýär. Soňra ýene-de polýarlylyk üýtgedilýär we ş.m. Tejribe yrgyldyly prosesini durnuklaşan ýagdaýy gazanylýança geçirilýär we 2-3 sany doly yrgyldy alynýança öwrenilýär.

Desganyň gözlenilýän ýygyllygy:

$$\omega_{180} = \frac{2\pi}{T_{180}}.$$

Bu ýerde T_{180} – giriş we çykyş yrgyldylarynyň arasyndaky 180° -a deň bolan faza süýşmesine gabat gelýän yrgyldynyň periody.

Desganyň häsiýetine mahsus bolan ýygyllyga **kesme ýygyllygy** diýlip at berilýär. Ol ýygyllyk desganyň goýberýän ýygyllyklarynyň ýokary çägi bolup durýar we takmynan, $2\pi\omega_{180}$ -e deň bolýar.

Desganyň ýygyllyk häsiýetnamalaryny almak üçin 0,5-den $2\pi\omega_{180}$ – ýygyllyk diapazonynda bolan yrgyldylardan 4–5 nokady kesgitlemek ýeterlikdir. Godografiýň bir nokady badalma egri çyzygy boýunça kesgitlenilýär, ýagny:

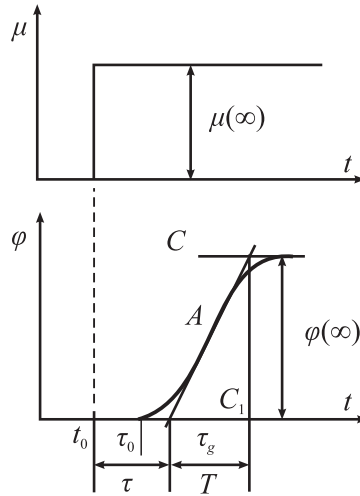
$$(\omega = 0, \psi(\omega) = 0; M(\omega) = k_0);$$

Bu ýerde k_0 – obýektiň güýçlendirijilik koeffisiýenti.

VIII BAP BADALMA EGRI ÇYZYGynyň WE IMPULSLY HÄSIÝETNAMALARYň ÖZLEŞDIRILIŞI

8.1. Badalma egri çyzygy boýunça desganyň dinamiki parametrlerini kesgitlemek

Badalma egri çyzygy boýunça desganyň indiki parametrlerini: τ_0 we τ_g – yzagalma wagtlaryny, T – wagt hemişeligini hem-de güýçlendirijilik koeffisiýentini 8.1-nji çyzygy boýunça kesgitlep bolýar. Bu maksatlar üçin badalma egri çyzygyna galtaşýan göni çyzyk geçirilýär. Galtaşýan göni çyzyk bilen wagtlar okunyň keşişýän nokady bilen oýandyryjy täsiriň berlen ýerine çenli bolan aralyga (t_0 -dan B nokada çenli bolan OB -aralyk) **jemlenen yzagalma wagty** diýilýär. Jemlenen yzagalma wagty iki sany düzüjiden durýar. Olaryň biri τ_0 – *arassa yzagalma*, beýlekisi bolsa τ_g – *geçiş yzagalma* wagtydyr. Önümçilik şertlerinde awtosazlaýjylar hasaplanylýanda yzagalma wagty düzüjilere bölünmeýär.



8.1-nji çyzgy

Şonuň üçin hem mundan beýläk ýörite talap edilmese ýa-da aýratyn şertleşilmese, yza galmagy doly iki düzüjiniň jemi görnüşinde alyp, ol *desganyň yzagalmasy* diýlip atlandyryljakdyr. Eger-de oýandyryjy täsiri bermek maksady bilen giriş ululygy birden çalt üýtgedip bolmaýan ýagdaý ýüze çyksa (mysal üçin, sazlaýjy agzanyň süýşme wagty uly bolsa ýa-da gidro urgynyň ýüze çykmak mümkinçiligi bolsa we ş.m.), onda sazlaýjy agzanyň bar bolan süýşme t_{0r} – wagtyny hasaba almaly bolýar. Bu ýagdaýda τ – ululygy kesgitlemek üçin hakyky bar bolan oýandyryjy täsiri tiplýin täsir bilen çalyşmaly bolýar. Şertli täsiriň bermeli pursady bolsa F_1 we F_2 meýdanlar deň bolar ýaly saýlanylýar. Önümçilikde, umuman:

$$\tau = \tau' - \frac{t_{0r}}{2} \quad (8.1)$$

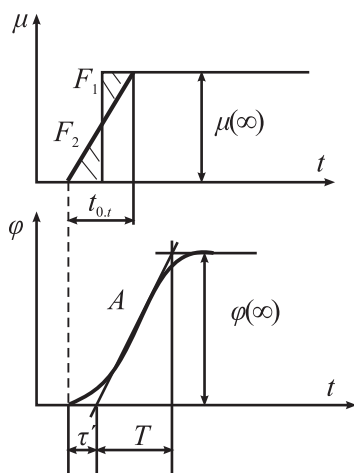
formula bilen yzagalma wagty kesgitlenilýär. 8.1-nji çyzgydaky BC_1 -aralyk bolsa durnuklaşan düzgünde desganyň T -wagt hemişeligi diýlip atlandyrylýar.

Statiki desgalaryň güýçlendirijilik koeffisiýentleri (başgaça geçirijilik koeffisiýenti) indiki aňlatma boýunça kesgitlenilýär:

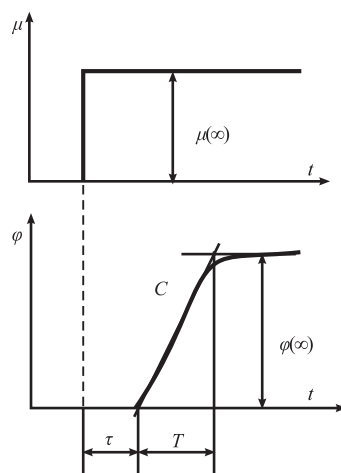
$$k_0 = \frac{\varphi(\omega)}{\mu(\omega)}. \quad (8.2)$$

Bu ýerde $\varphi(\omega)$; $\mu(\omega) - t \rightarrow \infty$ -e ymtylanda durnuklaşan düzgün üçin çykyş we giriş ululyklarynyň bahalary.

Eger-de özleşdirilýän desga bir sygymly bolsa, onda yzagalma wagty arassa yzagalma wagtyna deň bolar. T -wagt hemişeligi bolsa galtaşýan göni çyzygyň wagty okuny kesýän nokady bilen çykyş ululygynyň täze durnuklaşan bahasynyň kesişýän nokadyna çenli bolan aralykda alynýar.



8.2-nji çyzgy



8.3-nji çyzgy

Bu ýerde özleşdirilýän obýekt üçin k_0 – ululyk hem (8.2) formula bilen kesgitlener. Ýerine ýetirilýän approximasıya operasiýasyny barlamak üçin tapylan k_0 , T we τ – ululyklaryň bahasy boýunça badalma egri çyzygy gurulýar. Eger-de gurlan we synag-derňew badalma egri çyzyklarynyň arasynda aratapawut gaty uly bolmasa, approximasıya operasiýasy kanagatlanarly diýlip kabul edilýär. Badalma egri çyzygyna geçirilýän galtaşýan göni çyzyk dogry geçirilmese, uly aratapawut ýüze çykýar. Galtaşýan göni çyzyklaryň gysarmalaryna üýtgetmeler girizmek bilen synag-derňew we analitiki badalma egri çyzyklarynyň ýeterlik takyklyk bilen gabat gelmesini gazanyp bolýar.

Astatiki desgalaryň dinamiki parametrleriniň badalma egri çyzygy boýunça tapylyşy indiki bölümlerde seredilip geçiler.

8.2. Badalma egri çyzygy boýunça desganyň geçirijilik funksiýasynyň gözlenilişi

Ýokarda seredilip geçilen sazlanýan desgalaryň badalma egri çyzygy boýunça onuň parametrlerini we häsiýetnamalaryny kesgitleýän usul diňe ýakynlaşan häsiýetnamalary ýazyp beýan edýär. Şonuň üçin hem ol usuly diňe ýakynlaşdyrylan hasaplamlarda ulanyp bolar, ýöne önümçilikde, köplenç, badalma egri çyzygy boýunça has takyk dinamiki häsiýetnamalary kesgitlemek meselesi ýüze çykýar.

Inžener **M. P. Simoýu** tarapyndan badalma egri çyzygy boýunça geçirijilik funksiýasynyň kesgitlenilşi üçin iki sany usul teklip edilýär.

1. *Simoyunyň birinji usuly (meýdanlar usuly)*

Usulyň esasynda öwrenilýän desganyň hemişelik koeffisiýentli, gönüçyzykly differensial deňleme bilen ýazyp bolýanlygy durýandyr. Ol deňleme operator formada aşakdaky görnüşde bolýar:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) \cdot \varphi = \mu. \quad (8.3)$$

Bu ýerde:

$a_0; a_1 \dots a_n$ – hemişelik koeffisiýentler;

φ – sazlanýlan parametriň bolmaly bahasyndan oňnositel üýtgemesi (çykyş ululygy);

μ – sazlaýjy agzanyň oňnositel süýşmesi (giriş ululygy).

Onda obýektiň geçirijilik funksiýasy aşakdaky görnüşde bolar:

$$W(s) = \frac{\varphi}{\mu} = \frac{1}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}. \quad (8.4)$$

Badalma egri çyzygy boýunça $a_0; a_1 \dots a_n$ hemişelik koeffisiýentleri gözlemek talap edilýär.

Başlangyç şertler nola deň diýip göz önüne getireliň, ýagny:

$$\varphi(0) = \varphi'(0) = \varphi''(0) = \dots = \varphi^n(0) = 0. \quad (8.5)$$

Desga durnukly bolsa, onda aşakdaky aňlatmany alarys:

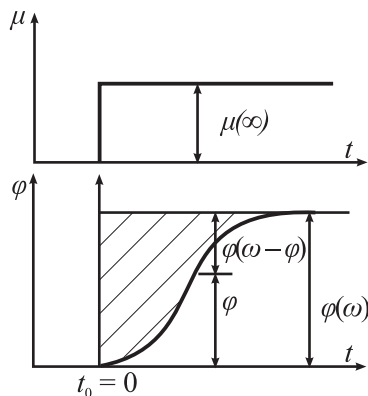
$$\varphi'(\infty) = \varphi''(\infty) = \dots = \varphi^n(\infty) = 0. \quad (8.6)$$

Haçan-da $t \rightarrow \infty$ -e ymtylanda (8.3) deňlemeden göni a_0 – koeffisiýentiň bahasyny kesgitläp bolýar, ýagny:

$$a_0 = \frac{\mu(\infty)}{\varphi(\infty)}. \quad (8.7)$$

Bu ýerde $\mu(\infty); \varphi(\infty)$ – $t \rightarrow \infty$ -e ymtylanda giriş we çykyş ululyklarynyň çäkli bahalary.

Olaryň bahalaryny 8.4-nji çyzygydaky grafikden aňsat kesgitläp bolýar.



8.4-nji çyzygy

Indi (8.3) deňlemäni özümize amatly görnüşe getirmek üçin özgerdýäris, onda ýokary matematika dersine salgylanyp ýazarys:

$$df = f' dt; \int_0^{\infty} d(\varphi^{(k-1)}) = \varphi^{(k-1)} \Big|_0^{\infty}.$$

Biziň ýagdaýymyz üçin alarys:

$$a_n \cdot \varphi^{(n)} + a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-1)} + \dots + a_1 \cdot \varphi' = a_0 \cdot \left(\frac{\mu}{a_0} - \varphi \right). \quad (8.8)$$

Aňlatmanyň sag we çep taraplaryny 0-dan ∞ -e çenli integrirläp alarys:

$$a_n \cdot \varphi^{(n-1)} \Big|_0^{\infty} + a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)} \Big|_0^{\infty} + \dots + a_1 \cdot \varphi \Big|_0^{\infty} = a_0 \cdot \int_0^{\infty} \left(\frac{\mu}{a_0} - \varphi \right) dt. \quad (8.9)$$

Integrirlemäniň çäklerini goýup ýazarys:

$$\begin{aligned} & a_n \cdot \varphi^{(n-1)}(\infty) - a_n \cdot \varphi^{(n-1)}(0) + a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)}(\infty) - a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)}(0) + \dots \\ & \dots + a_1 \varphi(\infty) - a_1 \varphi(0) = a_0 \cdot \int_0^{\infty} \left(\frac{\mu}{a_0} - \varphi \right) dt. \end{aligned}$$

(8.5) we (8.7) formulalardaky şertleriň güýçde galýanlygyny hasaba almagyň netijesinde goşulyjylaryň belli bir bölegi deňlemeden düşüp galýar. Onda aňlatmany indiki görnüşde ýazarys:

$$a_1 \cdot \varphi(\infty) = a_0 \int_0^{\infty} \left(\frac{\mu(\infty)}{\mu(\infty)} - \varphi \right) dt = a_0 \int_0^{\infty} (\varphi(\infty) - \varphi) dt.$$

Bu ýerden a_1 – hemişelik koeffisiýenti kesgitleýäris:

$$a_1 = \frac{a_0 \int_0^{\infty} [\varphi(\infty) - \varphi] dt}{\varphi(\infty)}. \quad (8.10)$$

Badalma egri çyzygynyň grafiginden $\int_0^{\infty} [\varphi(\infty) - \varphi] dt$ görnüşli integraly hasaplamak uly kynçylyk döretmeýär. Ol integral 8.4-nji suratdaky ştrihlenen meýdanyň ululygyna deňdir. Seredilýän meýdan hem $\varphi = f(t)$ – görnüşli egri we $t_0 = 0$; we $\varphi(\infty)$ – görnüşli göni çyzyklar bilen çäklendirilendir.

a_2 koeffisiyenti kesgitlemek üçin, ilki bilen, (8.8) deňlemäniň iki tarapyny hem t -dan ∞ -e çenli integrirleýäris:

$$a_n \cdot \varphi^{(n-1)} \Big|_t^\infty + a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)} \Big|_t^\infty + \dots + a_1 \cdot \varphi \Big|_t^\infty = a_0 \cdot \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt.$$

Integrirlemäniň çäklerini ýerine goýup ýazarys:

$$\begin{aligned} & a_n \cdot \varphi^{(n-1)}(\infty) - a_n \cdot \varphi^{(n-1)}(t) + a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)}(\infty) - a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)}(t) + \dots + \\ & + a_2 \cdot \varphi'(\infty) - a_2 \cdot \varphi'(t) + a_1 \cdot \varphi(\infty) - a_1 \cdot \varphi(t) = a_0 \cdot \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt. \end{aligned} \quad (8.11)$$

(8.11) deňlemä çäkli bahalary goýup alarys:

$$\begin{aligned} & -a_n \cdot \varphi^{(n-1)}(t) - a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-2)}(t) - \dots - a_2 \cdot \varphi'(t) + a_1 \cdot [\varphi(\infty) - \varphi] = \\ & = a_0 \cdot \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt. \end{aligned} \quad (8.12)$$

Indi bolsa (8.12) deňlemäni 0-dan ∞ -e çenli bolan çäklerde integrirleseň, aşakdaky ýaly aňlatmany ýazarys:

$$\begin{aligned} & -a_n \cdot \varphi^{(n-2)}(t) \Big|_0^\infty - a_{n-1} \cdot \varphi^{(n-3)}(t) \Big|_0^\infty - \dots - a_2 \cdot \varphi(t) \Big|_0^\infty + a_1 \cdot \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt = \\ & = a_0 \cdot \int_0^\infty \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2. \end{aligned}$$

Başlangyç we ahyrky bahalary aňlatma goýup alarys:

$$-a_2 \cdot \varphi(\infty) + a_1 \cdot \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt = a_0 \cdot \int_0^\infty \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2.$$

Bu ýerden hem a_2 – koeffisiyenti tapýarys:

$$a_2 = \frac{1}{\varphi(\infty)} \left\{ a_1 \cdot \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt - a_0 \cdot \int_0^\infty \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2 \right\}. \quad (8.13)$$

Edil şonuň ýaly ýol bilen amallary geçirip, a_3 hem-de a_4 we ş.m. koeffisiyentleriň formulalaryny hem tapyp bolýar.

$\int_0^\infty \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2$ – integral san taýdan ştrihlenen meýdana deňdir. Ol meýdany $\int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt$ görnüşli egri çyzyk, $\int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt$ we $t = 0$ görnüşli göni çyzyklar bilen emele getirýärler. 8.5-nji suratdaky görkezilen

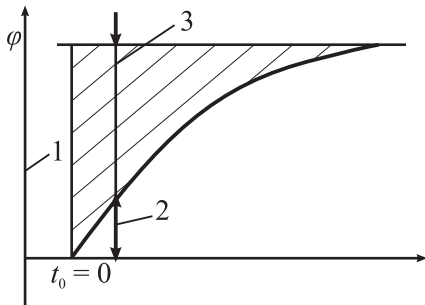
1- $\int_0^t [\varphi(\infty) - \varphi] dt$ -integralyň oky;

2- $\int_0^t [\varphi(\infty) - \varphi] dt$ -integralyň bir bölegi;

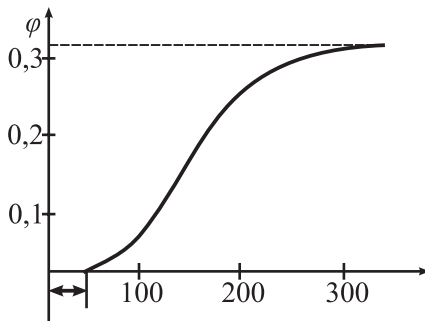
3- $\int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt - \int_0^t [\varphi(\infty) - \varphi] dt$ ululyklary aňladýarlar;

$\int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt$.

$\int_0^\infty \int_0^t [\varphi(\infty) - \varphi] dt we \int_0^\infty \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2$ - integrallaryň san taýdan bahalaryny trapesiýa usuly boýunça kesgitlemek mümkindir. Bu maksat üçin oýandyryjy täsiriň berlen pursadyndan başlap täze bir durnuklaşan baha ýetýänçä gerek bolan wagt aralygy n -sany interwallara bölünýär, ýagny approksimirlýji egri çyzyk, mümkin boldugyndan, synag-derňew ýoly bilen alnan badalma egri çyzygyna ýakynlaşar ýaly şert döretmelidir, ýöne interwallaryň bölünme sany gaty uly bolmaly däldir. Öňümçilik üçin, umuman, $n \leq 10$ - ululyk bilen çäklenilýär. Soňra her bir kiçi bölegiň meýdanynyň ululygy kesgittenilýär we alnan meýdanlaryň hemmesiniň meýdanlary jemlenilýär. Eger-de desga arassa yzagalma wagty bolan τ_0 - ululyk mahsus bolsa, onda ol ululyk obýektiň koeffisiýentleri kesgittenilende hasaba alynmaýar we badalma egri çyzygynyň arassa yzagalmadan soňky bölegi öwrenilýär. Diňe şondan soňra τ_0 - ululygy hasaba alyş nokadynyň başlangyjyny süýşürmek ýoly bilen hasaba girizýärler.



8.5-nji çyzygy



8.6-njy çyzygy

$a_2 \varphi''(t) + a_1 \varphi'(t) + a_0 \varphi(t) = \mu \cdot (t - \tau_0)$. (8.14)

Badalma egri çyzygy boýunça geçirijilik funksiýasynyň kesgittenilişine deňişli bir meselä seredip geçeliň. Wagt bölegini 6 sany interwala bölýäris. Gönümel badalma egri çyzygyndan aşakdaky ululyklary kesgitleýäris:

$$\tau_0 = 22 \text{ sek}; \varphi(\infty) = 0,32.$$

Oýandyryjy täsiriň bahasy $\mu = \mu(\infty) = 1$; . Onda degişli formulalary ulanyp, gerekli koeffisiýentleri kesgitläp başlaýarys, ýagny:

$$a_0 = \frac{\mu(\infty)}{\varphi(\infty)} = \frac{1}{0,32} = 3,1.$$

8.1-nji tablisa

t	Δt	φ	$\varphi(\infty) - \varphi$	$\frac{(4)_k + (4)_{k+1}}{2 \Delta t}$	$\sum_{i=k}^n (5)_i \int_t^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt$	$\frac{(4)_k + (4)_{k+1}}{2 \Delta t}$	$\sum_{i=k}^n (7)_i \int_t^\infty \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
22	23	0,0	0,32	7,13	32,97	676	2393
45	30	0,02	0,30	8,25	25,84	651	
75	45	0,07	0,13	8,77	17,59	594	
120	60	0,18	0,14	6,00	8,82	349	
180	75	0,26	0,06	2,67	2,82	111	
255	30	0,31	0,1	0,15	0,15	2,3	
285		0,32	0,00	0,00	0,00	0	

Hasaplamaalaryň netijeleri 8.1-nji tablisa ýerleşdirilendir.

Eger-de önümçilik desgasynyň tertibi üçünji tertipli bolsa, onda üçünji önümiň koeffisiýenti indiki aňlatma bilen tapylýar.

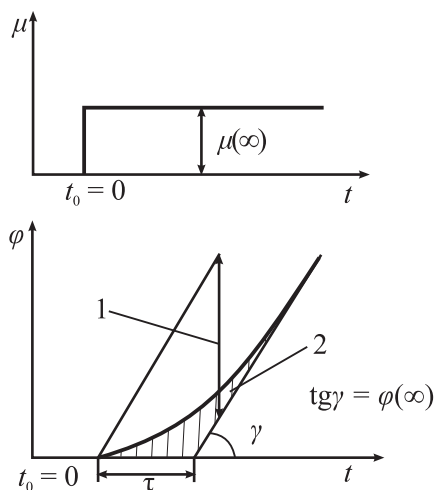
$$a_3 = \frac{1}{\varphi(\infty)} \left\{ a_2 \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt - a_1 \int_0^\infty \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2 + a_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^3 \right\}. \quad (8.15)$$

Bu ýerde $\int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^3$ – görnüşli integralyň san taýdan bahasy

$\int_0^t \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2$ – görnüşli egri çyzyk, $\int_0^\infty \int_0^\infty [\varphi(\infty) - \varphi] dt^2$ – hem-de $t = t_0 = 0$ göni çyzyklar bilen çäklendirilen meýdanyň ululygyna deňdir.

Ýakynlaşan integrirlemäni ýerine ýetirmek uly kynçylyk döretmeýär. Tablisa-daky bahalary kesgitlemek üçin personal kompýuteriň kömeginden peýdalanylsa amatly bolýar. Gönüçyzykly astatiki desganyň özleşdirilişiniň netijeleriniň nähili öwrenilýändigini indiki tertipde beýan edip bolar.

Haçan-da öwrenilýän desga astatiki bolan ýagdaýynda onuň badalma egri çyzygy 8.7-nji suratda görkezilendir.



8.7-nji çyzgy

Bu ýerde

$$1- \int_0^{\infty} [\varphi'(\infty) - \varphi'] dt ;$$

$$2- \int_0^{\infty} \int_t^{\infty} [\varphi'(\infty) - \varphi'] dt^2 .$$

Şeýle obýektleriň deňlemelerinde φ – ululygy saklaýan düzüji bolmaýar, ýagny $a_0 = 0$. Badalma egri çyzygyna geçirilen galtaşýan göni çyzyk bilen wagt okunyň kesişýän ýerinden seredilýän egri çyzygyň başlanýan ýerine çenli bolan aralyga **obýektiň yzagalma wagty** diýilýär. Astatiki desgalara birden üýtgeýän birlik signal berlende çykyş ululygynyň tizliginiň üýtgemesiniň durnuklaşan bahasy görünüşinde geçirijilik koeffisiýentini hem girizmek mümkindir. Eger şeýle mümkinçilik bar bolsa, onda astatiki desgalaryň geçirijilik koeffisiýentini indiki formula bilen kesgitleýärler:

$$k_0 = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\mu(\infty)}. \quad (8.16)$$

Astatiki desgalaryň hereket deňlemesiniň koeffisiýentleriniň hasaplanylýşy aşakdaky formulalaryň kömegi bilen ýerine ýetirilýär:

$$a_0 = 0; \quad a_1 = \frac{\mu(\infty)}{\varphi(\infty)}; \quad (8.17)$$

$$a_2 = \frac{a_1}{\varphi'(\infty)} \cdot \int_0^{\infty} [\varphi'(\infty) - \varphi'] dt. \quad (8.18)$$

$$a_3 = \frac{1}{\varphi'(\infty)} \left\{ a_1 \int_0^{\infty} \int_t^{\infty} [\varphi'(\infty) - \varphi'] dt^2 - a_2 \int_0^{\infty} [\varphi'(\infty) - \varphi'] dt \right\}. \quad (8.19)$$

8.7-nji çyzygyda (8.17-8-19) formulalar boýunça integrallaryň hasaplanylşy-nyň usullary düşündirilýär. Arassa yzagalma wagty hem statiki desgalaryňky ýaly hasaba alynýar.

2. Simoýunyň ikinji usuly (asimptotalar usuly).

Asimptotalar usulynyň esasynda aşakdaky şertleşilmeler goýlan:

Özleşdirilýän desga ($n \geq m$) şerti ýerine ýetirýän hemişelik koeffisiýentli gönüçyzykly differensial deňleme bilen ýazylýar.

$$a_n \frac{d^n \varphi}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} \varphi}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{d\varphi}{dt} + a_0 \cdot \varphi = b_m \frac{d^m \mu}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} \mu}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{d\mu}{dt} + b_0 \mu. \quad (8.20)$$

Bu ýerde μ we φ – degişlilikde, giriş we çykyş ululyklary.

Ýakynlaşdyrylan hasaplamalar üçin adaty ýagdaýda deňlemeleriň tertibini üçünji tertipden uly görnüşde almaýarlar.

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s_1 + a_0 = 0 \quad (8.21)$$

görnüşli häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleri *hakyky, ýönekeý we otrisatel* bolmalydyr. Bu şert bolsa islendik gönüçyzykly ulgamlaryň durnukly bolmagy üçin zerur şertdir.

Eger-de badalma egri çyzygy arassa yzagalma wagtyny özünde saklaýan bolsa, onda ony *Simoyunyň birinji usulyndaky* ýaly hasaba almaýarlar we badalma egri çyzygynyň özleşdirilişi yzagalma hasaba alynman ýerine ýetirilýär. Geçirijilik funksiýasy gözlenilende bolsa arassa yzagalma ululygy $e^{-s \cdot t_0}$ – köpeldijini girizmek bilen hasaplamanı ýerine ýetirýärler. Bu ýerde τ_0 – arassa yzagalma wagty.

Eger-de $t < 0; \mu = 0$; we $t \geq 0; \mu \neq \text{const}$ hasap edilse, onda, matematika dersinden belli bolşy ýaly, hemişelik koeffisiýentli differensial deňlemeleriň çözüwi

$$\varphi(t) = K - \sum_{i=1}^n c_i \cdot e^{s_i t}; \quad [i = 1; 2; 3; \dots, n]. \quad (8.22)$$

Bu ýerde:

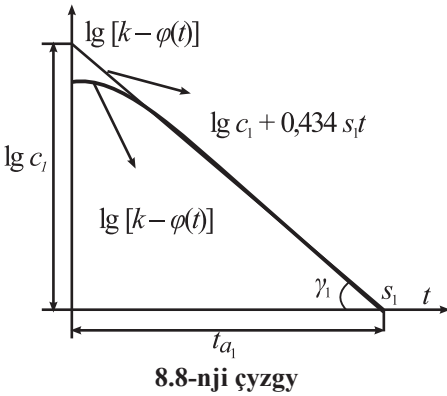
K – geçiş prosesiniň ahyrynda parametriň ilki başdaky bahasyndan üýtgemesi (hususy ýagdaýda ol ululyk nola hem deň bolup biler);

s_i – (8.21) görnüşli häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleri;

C_i – hemişelik koeffisiýentler;

n – hakyky otrisatel kökleriň sany.

Belli bolşy ýaly, differensial deňlemäniň tertibiniň (derejesiniň) ululygy deňlemäniň kökleriniň sanyna gabat gelýändir. t – wagtyň artmagy bilen $c_i \cdot e^{s_i t}$ – düzüjiler kiçelýärler we t – wagtyň käbir ululygynda olar $c_i \cdot e^{s_i t}$ – düzüji bilen deňeşdirilende hasaba alardan hem kiçi bolýarlar.



Bu ýerde s_1 – absolýut ululygy boýunça iň kiçi kökdür.

Şu nukdaýnazardan bolsa wagtyň käbir ululygyndan başlap

$$K - \varphi(t) \cong c_1 \cdot e^{s_1 t} \quad (8.23)$$

ýa-da edil şonuň ýaly logarifmiki ölçeglerde ýazarýs:

$$\lg [K - \varphi(t)] \cong \lg c_1 + s_1 t \lg e = \lg c_1 + 0,434 s_1 t. \quad (8.24)$$

Değişlilikde, geçiş funksiýasy ýarymlogarifmiki ölçeglerde gurulsa, onda t – wagtyň käbir pursadyndan başlap $\lg [K - \varphi(t)]$ – egrî çyzyk özünüň $\lg c_1 + 0,434 s_1 t$ görnüşli asimptotasyndandan gaty tapawut etmeýär. Asimptotanyň gyşarma burçy s_1 – kök bilen 8.8-nji çyzgydaky ýaly häsiýetlendirilýär we aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$s_1 = -\frac{\operatorname{tg} \gamma_1}{0,434}. \quad (8.25)$$

Formuladaky minus alamaty asimptota bilen wagt okunyň položitel ugrunyň arasyndaky burçuň $180^\circ - \gamma_1$ deňligi bilen düşündirilýär. Eger şeýle bolsa, onda $\operatorname{tg}(180^\circ - \gamma_1) = -\operatorname{tg} \gamma_1$. Beýleki tarapdan bolsa grafikden görnüşi ýaly:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{\lg c_1}{t_a}. \quad (8.26)$$

Değişlilikde,

$$s_1 = -\frac{\operatorname{tg} c_1}{0,434 \cdot t_a}. \quad (8.27)$$

Şeýlelikde, geçiş hadysasynyň ýarymlogarifmiki egrî çyzygyna asimptotany geçirip, s_1 we c_1 – ululyklaryň bahalaryny tapyp bolýar, ýagny birinji ýakynlaşmada meseläni çözüp bolýar. Şeýle ideýany ulanyp galan kökleri hem tapyp bolýar. Hakykatdan hem, s_1 we c_1 – ululyklaryň bahalary tapylandan soň $c_1 \cdot e^{s_1 t}$ – düzüjiniň bahasyny kesgitläp bolýar. Eger şeýle bolsa, onda, değişlilikde, indiki s_2 (absolýut ululygy boýunça s_1 – kökden soň iň kiçi kök) köki tapmak hem uly kynçylyk döretmeýär.

$$K - \varphi(t) - c_1 \cdot e^{s_1 t} \cong c_2 \cdot e^{s_2 t} \quad (8.28)$$

ýa-da edil şonuň ýaly logarifmiki ölçeglerde ýazarys:

$$\lg \left\{ [K - \varphi(t)] - c_1 \cdot e^{s_1 t} \right\} \cong \lg c_2 + 0,434 s_2 t. \quad (8.29)$$

Edil şonuň ýaly ýagdaýda $\lg \left\{ [K - \varphi(t)] - c_1 \cdot e^{s_1 t} \right\}$ görnüşdäki egri çyzyga asimptota geçirip s_2 we c_2 – ululyklary tapyp bolýar, ýagny:

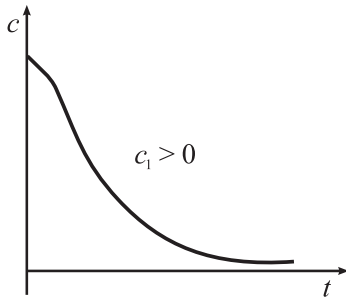
$$s_2 = -\frac{\text{tg} \gamma_2}{0,434} = -\frac{\lg c_2}{0,434 t_{a_2}}. \quad (8.30)$$

$c_2 \cdot e^{s_2 t}$ – hasaplap mundan beýläk c_3 we s_3 – ululyklary hem kesgitlep bolýar, ýöne tehniki hasaplamalar üçin s_2 – köki tapmak ýeterlidir. Haçan-da asimptota $\lg c_2 e^{s_2 t}$ – egri çyzyk bilen gabat gelmesniň ýalňyşlygy ulalsa, onda hasaplamany s_3 – köki tapylýança geçirmek gerek bolýar.

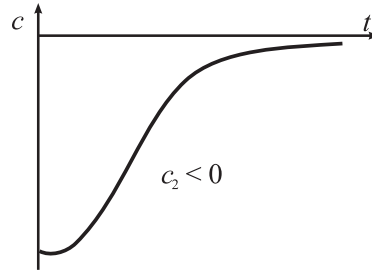
c_i – koeffisiýentleriň alamatyny kesgitlemek üçin birnäçe jemlemeleri geçirmeli bolýar. Goý, badalma egri çyzygy s_1 we s_2 sany kök bilen ýazylyan bolsun.

$k - \varphi(t)$ we $k - \varphi(t) - c_1 e^{s_1 t}$ ululyklaryň wagta baglylykdaky grafiklerini guralyň.

Egri çyzyklaryň grafiginden görnüşi ýaly, $c_1 \cdot e^{s_1 t} + c_2 \cdot e^{s_2 t}$ – eksponentialaryň jemi absissalar okuna položitel tarapyndan ýakynlaşýar. $c_1 \cdot e^{s_1 t}$ – wagta baglylykda has haýal sönýän eksponenta we $e^{s_1 t}$ – ululyk bolsa elmydama položitel. Eger şeýle bolsa, onda $c_1 > 0$ diýen netijä gelip bolýar. $c_2 \cdot e^{s_2 t}$ – eksponenta (ikinci egri çyzyk) absissalar okuna otrisatel tarapyndan ýakynlaşýar, onda $c_2 < 0$.



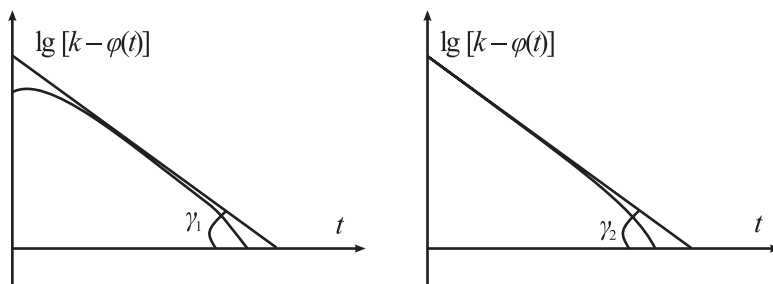
8.9-njy çyzygy



8.10-njy çyzygy

Eger-de badalma egri çyzygyny ikinji tertipden uly bolmadyk deňleme bilen ýazmak zerur we şol bir wagtyň özünde badalma egri çyzygynyň başlangyç böleginde iň ýokary takyklygy gazanmaly bolsa, onda galtaşýan göni çyzyk usulyny ulanmak maksadalaýykdyr. Şu ýagdaýda birinji ýarymlogarifmiki egri çyzyga galtaşýan göni çyzygy ikinji ýarymlogarifmiki egri çyzyk, mümkin boldugyndan, göni

çyzyga ýakyn bolar ýaly edip geçirmelidir. Galan ýagdaýlarda galtaşýan göni çyzyk usuly asimptotalar usulyndan hiç hili tapawutlanmaýar.



8.11-nji çyzygy

Simoyunyň usullary bilen özleşdirilen badalma egri çyzygynyň dogrulygyny barlamak üçin ýörite barlag geçirilýär. Eger-de özleşdirme dogry geçirilen bolsa, onda indiki gatnaşyk dogry bolmaly:

1. $k + c_1 + c_2 = 0$; 2. $|c_1 \cdot s_1| \cong |c_2 \cdot s_2|$, şeýle-de belläp geçmeli zatlaryň biri ol hem seredilip geçilen usulyň diňe $s_2 = (1,5 \div 3) \cdot s_1$ ýagdaýda effektiwliginiň ýokarydygyny bellemelidir. Mundan başga-da alnan deňlemäniň esasynda gurlan badalma egri çyzygyny synag-derňew ýoly bilen gurlan badalma egri çyzygy bilen deňeşdirmek arkaly barlap bolýandyr.

8.3. Impuls häsiýetnamalarynyň özleşdirilişi

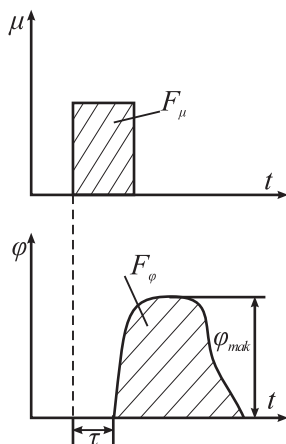
Arassa yzagalmasý bolan we birinji tertipli statiki halkalary bolan desgalary approksimasiýalaşdyryp, gönüden-göni impuls häsiýetnamasy boýunça desganyň *güýçlendirijilik koeffisiýentini*, *yzagalma wagtyny* we *wagt hemişeligini* kesgitläp bolýar. Onuň geçirijilik funksiýasy:

$$W(s) = \frac{k_0}{Ts + 1} \cdot e^{-s\tau}. \quad (8.31)$$

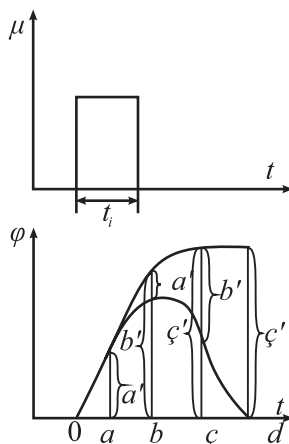
Yzagalma wagty badalma egri çyzygy üçin kesgitlenilişi ýaly ýerine ýetirilýär. Bu wagt oýandyryjy täsiriň berlen wagtyndan parametriň üýtgemesiniň başlanýan wagtyna çenli bolan aralyk bilen 8.12-nji çyzygdaky ýaly kesgitlenilýär. Wagt hemişeligini we güýçlendirijilik koeffisiýentini tapmak üçin indiki formulalar ulanylýar.

$$T = \frac{F_\varphi}{\varphi_{\max}}. \quad (8.32)$$

$$k_0 = \frac{F_\varphi}{F_\mu}. \quad (8.33)$$



8.12-nji çyzgy



8.13-nji çyzgy

Eger-de obýektiň dinamikasyny has takyk görnüşde ýazmak zerurlygy ýüze çyksa, onda impuls häsiýetnamasy badalma egri çyzygyna ýakynlaşdyrylýar we seredilip geçilen usullaryň biri bilen özleşdirmek ýerine ýetirilýär. Şu maksatlar üçin impuls häsiýetnamasy wagt oky boýunça deň böleklere bölünýär. Olar hatar görnüşde bolup, ol bölekleriň her biri dowamlylygy boýunça impulsyň dowamlylygyna deňdir. Oa -bölekde impuls häsiýetnamasy badalma häsiýetnamasyna gabat gelýändir. Indiki ab -bölekde impuls egri çyzygynyň ordinatasy badalma egri çyzygy bilen birinji Oa bölekdäki wagty boýunça gabat gelýän impuls egri çyzygynyň ordinatasynyň arasyndaky aratapawut bilen häsiýetlendirilýär ýa-da oýandyryjy täsir ululygy boýunça ilkişadaky oýandyryjy täsire gabat gelýär, ýöne ugry boýunça bolsa garşylykly tarapa ugrukdyrylan ýagdaýda bolýar. Birinji we ikinji bölünýän bölekleriň degişli ordinatalaryny jemlemek bilen $aç$ -bölek üçin badalma egri çyzygynyň gözlenilýän ordinatasy alynýar. Şeýle usul bilen hereket edip gözlenilýän badalma egri çyzygy alynýar.

IX BAP AWTOMATIKA SAZLAÝJYLARYŇ DINAMIKA HÄSIÝETNAMALARY

9.1. Sazlanylýan desga bilen sazlaýjynyň dinamiki häsiýetnamalarynyň arasyndaky baglanyşyk

Sazlamanyň hili sazlanylýan ulgamyň dinamiki häsiýetleri bilen kesgitlenilýär. Ol ulgama *sazlanylýan obýekt* we *gurluş* girýär. Sazlanylýan obýekt dinamiki häsiýetleri boýunça soralyan talaplara doly jogap berip bilmeýär. Obýekt-

tiň dinamiki häsiýetlerini düzetmek üçin ol sazlaýjy bilen bile utgaşdyrylýar. Şeýlelikde, sazlaýjy gurluş, öňden belli bolşy ýaly, korrektirleýji gurluş bolup gulluk edýär. Sazlaýjynyň desga bilen utgaşdyrylmagynyň esasy sebäbi, obýektiň dinamiki häsiýetnamasyny islenilýän tarapa üýtgetmek mümkinçiliginiň gazanylmagydyr. Häzirki wagtda köpçülikleýin öndürilýän arakesmesiz işleýän önümçilik sazlaýjylary sazlaýjylyk kanuny boýunça, ýagny olaryň hereket deňlemelerine baglylykda birnäçe toparlara bölünýär. Olara *proporsional (P-sazlaýjylar)*, *integral (I-sazlaýjylar)*, *proporsional-integral (PI-sazlaýjylar)* we *proporsional-integral-differensial (PID-sazlaýjylar)* täsirli sazlaýjylar we ş.m. degişlidirler. Awtomatiki sazlanýlan ulgamlar taslanýlanda göz önünde tutulan esasy maksatlaryň biri sazlaýjylaryň hereket deňlemeleri ýönekeý we köpçülikleýin öndürilýän görnüşde bolmalydyr.

9.2. P-sazlaýjylar

Proporsional sazlaýjylaryň hereket deňlemesi indiki görnüşde bolýar:

$$x_s = -s_1 \cdot y. \quad (9.1)$$

Bu ýerde:

y – sazlanýlan ululygyň berlen bahasyndan üýtgemesi;

x_s – sazlaýjy agzanyň süýşmesi;

s_1 – sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti, şeýle hem onuň sazlanýlan parametri.

Deňlemäniň sag tarapyndaky minus alamaty “ y ” ululygyň ulalmagyna “ x_s ” – ululygyň üýtgemesiniň “ y ” – ululygy kiçeltmek tarapynadygyny görkezýär.

Proporsional sazlaýjylar başgaça **statiki sazlaýjylar** diýlip hem atlandyrylýar, sebäbi bu ýagdaýda sazlamak prosesi statiki ýalňyşlykdan azat bolup bilmeýär. Statiki sazlaýjylar indiki tertipde işleýär, ýagny sazlanýlan ululyk öz kadasyndan üýtgeşe, awtosazlaýjynyň sazlaýjy agzasy sazlaýjy gyzdyryjy buguň akymyny üýtgedýär we üýtgemäniň ululygyny kiçeldýär.

Sazlanýlan ululygyň üýtgemesiniň tizligi näçe uly bolsa, şonça-da sazlaýjy agzanyň süýşmesiniň tizligi hem uly bolýar:

$$\dot{x}_s = -s_1 \cdot \dot{y}. \quad (9.2)$$

Proporsional sazlaýjylarda sazlamak üçin diňe bir sany gurluş bolup, onuň kömegi bilen s_1 ululygyň bahasyny üýtgedip bolýar. Proporsional sazlaýjynyň geçirijilik funksiýasy aşakdaky görnüşde bolýar:

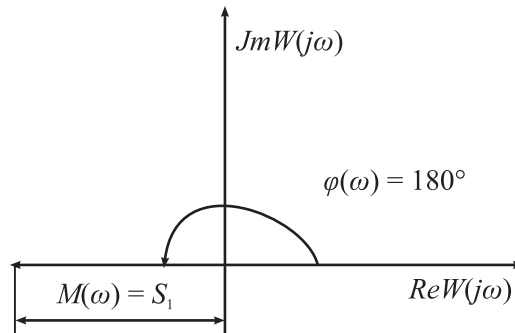
$$W(s) = \frac{x_s(s)}{y(s)} = -S_1. \quad (9.3)$$

P-sazlaýjynyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesi hem indiki görnüşde bolýar:

$$W(j\omega) = -S_1 = S_1 \cdot e^{j\pi}. \quad (9.4)$$

Onda amplituda-ýygylýk we faza-ýygylýk häsiýetnamalarynyň deňlemesi indiki görnüşde bolar:

$$M(\omega) = S_1; \quad \varphi(\omega) = \pi. \quad (9.5)$$



9.1-nji çyzgy

Soňky aňlatmalaryň seljerilişine görä, sazlaýjynyň moduly we öňe düşme burçy ýygylýga bagly bolmaýar. Islendik ýygylýklarda sazlaýjynyň çykyş yrgyldylary giriş yrgyldylaryndan 180° ululyga öňe düşýär. Proporsional sazlaýjylaryň amplituda-faza häsiýetnamasy 9.1-nji çyzgyda görkezilendir.

9.3. I-sazlaýjylar

Integral (astatiki) awtosazlaýjylaryň sazlama kanuny indiki görnüşde bolýar:

$$x_s = -S_0 \int_0^t y dt. \quad (9.4)$$

Bu ýerde S_0 – astatiki sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti (şol bir wagtyň özünde hem sazlama parametri bolup gulluk edýär).

Astatiki sazlaýjynyň işi indiki tertipde bolup geçýär. Sazlanylýan ululygyň üýtgemesiniň ýok wagty sazlaýjy agza üýtgemän durýar. Eger-de sazlanylýan parametr öz bolmaly bahasyndan üýtgeşe, onda sazlaýjy organ üýtgeşe düzülänçä süýşmesini dowam edýär. Bu ýagdaýda parametriň bolmaly bahasyndan üýtgemesi näçe uly bolsa, onda süýşme tizligi hem şonça uly bolýar. Astatiki sazlaýjylaryň bir wajyp aýratynlygy bolýar. Ol hem olaryň deňagramlylyk ýagdaýy diňe $y = 0$ ýagdaýda mümkindir. Bu bolsa statiki ýalňyşlygyň şu ýagdaýda nola deňdigini

aňladýar. Astatiki sazlaýjylar hem proporsional sazlaýjylar ýaly diňe bir sazlaýjy gurluşy özlerinde saklaýarlar. Ol bolsa S_0 – ululygyň bahasyny üýtgetmäge ýardam berýär. Astatiki sazlaýjynyň deňlemesi operator formada aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$s x_s = -S_0 \cdot y. \quad (9.5)$$

Bu ýerden bolsa sazlaýjynyň geçirijilik funksiýasy indiki görnüşi alar:

$$W(s) = \frac{x_s(s)}{y(s)} = \frac{S_0}{s}. \quad (9.6)$$

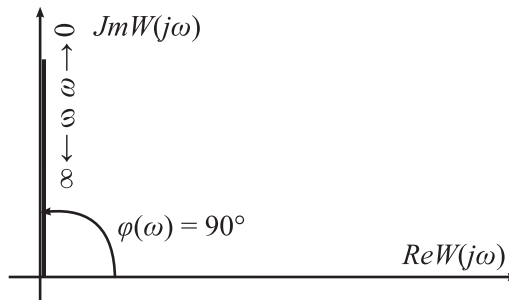
Sazlaýjynyň amplituda-faza, amplituda-ýygylyk we faza-ýygylyk häsiýetnamalary aşakdaky baglanyşyklar bilen ýazylýar:

$$W(j\omega) = -\frac{S_0}{j\omega} = \frac{-S_0[-j\omega]}{j\omega[-j\omega]} = \frac{-S_0[-j\omega]}{-j^2 \cdot \omega^2} = \frac{-j \cdot S_0 \cdot \omega}{-1 \cdot \omega^2} = \frac{j \cdot S_0}{\omega} = j \frac{S_0}{\omega} = \frac{S_0}{\omega} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}}; \quad (9.7)$$

$$\left| j \frac{S_0}{\omega} \right| = \left| 0 + j \frac{S_0}{\omega} \right| = \sqrt{0^2 + \left(\frac{S_0}{\omega} \right)^2} = \frac{S_0}{\omega}.$$

Onda:

$$M(\omega) = \frac{S_0}{\omega}; \quad \varphi(\omega) = \frac{\pi}{2}. \quad (9.8)$$



9.2-nji çyzgy

Integral sazlaýjynyň amplituda-faza häsiýetnamasy grafikdäki ýaly hyýaly okuň položitel ýarym bölegi bilen gabat gelýär. P we I sazlaýjylaryň statiki we dinamiki häsiýetnamalaryny deňeşdirmek esasynda indiki netijäni çykarmak bolar, ýagny integral sazlaýjynyň oňositellikde statiki häsiýetnamasy gowy (statiki ýalňşlyk ýok), ýöne dinamiki häsiýetnamasy gowy däl, sebäbi onuň öňe düşme burçy, statiki sazlaýjy bilen deňeşdirilende, iki esse kiçi bolýar.

9.4. PI-sazlaýjylar

Proporsional–integral täsirli sazlaýjylara önümçilikde **izodromly sazlaýjylar** diýilýär. Ol sazlaýjylaryň statiki häsiýetnamasy P-sazlaýjynyňkydan, dinamiki häsiýetnamasy bolsa I-sazlaýjynyňkydan ýokarydyr. Izodrom sazlaýjylaryň sazlama kanuny indiki görnüşde bolýar:

$$x_s = - \left[S_1 \cdot y + S_0 \cdot \int_0^t y dt \right] = S_1 \left[y + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t y dt \right]. \quad (9.9)$$

Edil şonuň ýaly operator formada:

$$x_s = - \left(S_1 \cdot y + \frac{S_0}{s} \right) = -S_1 \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right) \cdot y. \quad (9.10)$$

Bu ýerde:

S_1 – izodrom sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti;

$T_i = \frac{S_1}{S_0}$ – izodrom wagty, $s = j\omega$.

Izodrom sazlaýjylar parametrlerini sazlamak üçin iki sany guruluşy özlerinde saklaýarlar. **Olaryň birinjisi bilen** geçirijilik koeffisiýenti bolan S_1 – ululygy, **ikinji bilen** bolsa izodrom wagty bolan T_i – ululygy üýtgedip bolýar. Izodrom sazlaýjynyň geçirijilik funksiýasy:

$$W(s) = - \left(S_1 + \frac{S_0}{s} \right) = -S_1 \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right); \quad (9.11)$$

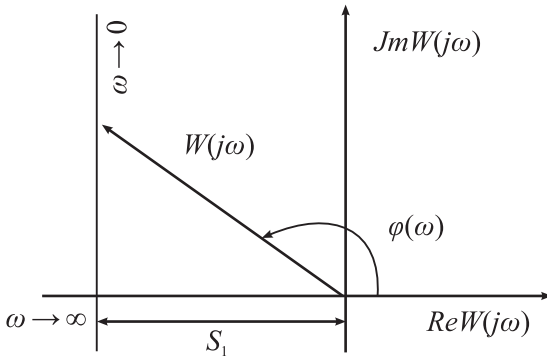
Bu sazlaýjynyň amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesi indiki görnüşde ýazylýar:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= - \left(S_1 + \frac{S_0}{j\omega} \right) = -S_1 - \frac{S_0}{j\omega} = \frac{S_0 + j\omega S_1}{j\omega} = \left\{ M(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \right\} = \\ &= \frac{\sqrt{S_0^2 + (\omega \cdot S_1)^2}}{\omega} \cdot e^{j \left(\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{\omega S_1}{S_0} \right)}. \end{aligned} \quad (9.12)$$

Amplituda-ýygylık we faza-ýygylık häsiýetnamalarynyň deňlemeleri, degişlilikde, aşakdaky ýaly bolar:

$$M(\omega) = \frac{\sqrt{S_0^2 + (\omega S_1)^2}}{\omega}; \quad \varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{\omega S_1}{S_0}. \quad (9.13)$$

PI-sazlaýjynyň amplituda-faza häsiýetnamasy 9.3-nji çyzgyda görkezilendir.



9.3-nji çyzgy

9.5. PID-sazlaýjylar

Proporsional-integral-differensial sazlaýjynyň sazlamak kanuny aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$x_s = - \left(S_1 y + S_0 \int_0^t y dt + S_2 \frac{dy}{dt} \right) = -S_1 \left(y + \frac{1}{T_i} \int_0^t y dt + T_p \frac{dy}{dt} \right). \quad (9.14)$$

Bu ýerde:

S_1 – sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti;

$T_i = \frac{S_1}{S_0}$ – izodrom wagty;

$T_p = \frac{S_2}{S_1}$ – öňünden düzedip goýma wagty.

Bu sazlaýjylarda S_1 we T_i ululyklardan başga-da T_p – ululygy hem sazlamak üçin gurluş göz önünde tutulýar. Şeýlelikde, sazlaýjyda üç sany parametri üýtgetmäge mümkinçilik bolýar.

PID- sazlaýjylaryň deňlemesiniň operator formadaky görnüşi, geçirijilik funksiyasy we amplituda-faza häsiýetnamasy indiki deňlemeler bilen ýazylýar:

$$x_s = - \left(S_1 + \frac{S_0}{s} + S_2 s \right) y. \quad (9.15)$$

$$W(s) = - \left(S_1 + \frac{S_0}{s} + S_2 s \right) = - \frac{S_0 + S_1 s + S_2 s^2}{s}. \quad (9.16)$$

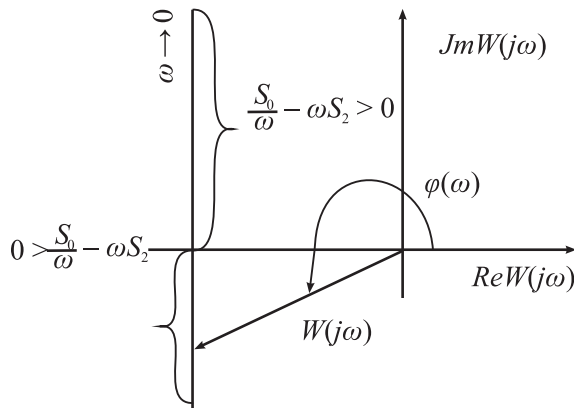
$$\begin{aligned} W(j\omega) &= - \left[S_1 + \frac{S_0}{j\omega} + S_2(j\omega) \right] = - \left[S_1 - j \frac{S_0}{\omega} + j S_2 \omega \right] = \\ &= - \left[S_1 - j \left(\frac{S_0}{\omega} - S_2 \omega \right) \right] = \sqrt{S_1^2 + \left(\frac{S_0}{\omega} - S_2 \omega \right)^2} \cdot e^{j \left(\pi + \operatorname{arctg} \frac{\omega S_2 - S_0}{\omega S_1} \right)}. \end{aligned} \quad (9.17)$$

Değişlilikde, amplituda-ýygylyk we faza-ýygylyk häsiýetnamalarynyň deňlemeleri aşakdaky ýaly bolar:

$$M(\omega) = \sqrt{S_1^2 + \left(\frac{S_0}{\omega} - S_2\omega\right)^2}. \quad (9.18)$$

$$\varphi(\omega) = \pi + \arg \operatorname{tg} \frac{\omega S_2 - S_0}{\omega S_1}. \quad (9.19)$$

Soňky aňlatmalardan görnüşi ýaly, PID-sazlaýjylaryň öňe düşme burçy PI-sazlaýjylaryňkydan uludyr. PID-sazlaýjylaryň amplituda-faza häsiýetnamasy 9.4-nji çyzgyda görkezilendir.



9.4-nji surat

X BAP AWTOMATIKI SAZLANYLÝAN PROSESLERIŇ HILI

10.1. Sazlanylýan prosesleriň hiliniň esasy görkezijileri

Islendik awtomatiki sazlanylýan ulgam, ilki bilen, hökmany suratda durnukly bolmalydyr, ýöne durnuklylyk hökmany şert bolup, şol bir wagtyň özünde awtomatiki sazlanylýan ulgamlaryň tehniki taýdan ýaramlylygy üçin ýeterlik şert bolup bilmeýär.

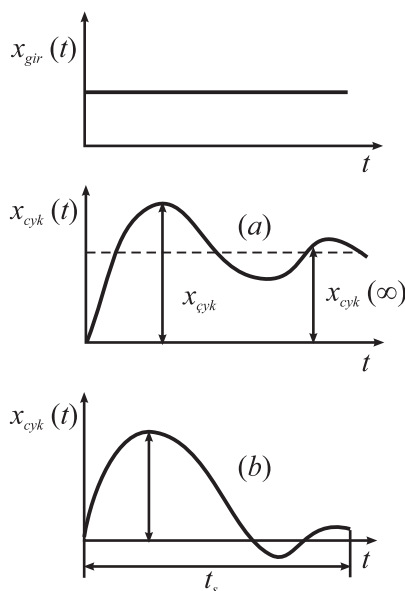
Durnuklylykdan başga-da sazlanylýan ulgam oýandyryjy täsir berlenden soňra geçiş prosesiniň kesgitli häsiýetini üpjün etmelidir. Geçiş hadysasynyň esasy görkezijilerine seredip geçeliň, şeýle hem geçiş hadysasyny bir gezekde birden üýtgeýän

täsirde döredildi diýip göz önüne getireliň, sebäbi ol oýandyryjy täsir täsirleriň has agyr formasydyr.

Sazlanylýan prosesin hiliniň esasy görkezijisi bolup geçiş prosesiniň ahyrynda parametriň otnositellikde galan üýtgemesi gulluk edýär. Oňa, adatça, **statiki ýalňyşlyk** diýilýär. *Statiki ýalňyşlygy* sazlanylýan ululygyň x_0 – berlen bahasyndan tapawudy (götetim) görnüşinde aňlatmak kabul edilen:

$$\delta_{st} = \frac{x_{cyk}(\infty)}{x_0} \cdot 100\%. \quad (10.1)$$

Awtomatiki dolandyrmagyň nazary esaslary özleşdirilende, adatça, otnositel ululyklar bilen iş salşylýanlygy sebäpli x_0 – ululyk 1-e deň diýlip kabul edilýär. Üýtgemäniň galýan ululygy obýektiň ýüküne bagly bolýar. Ýüküň artmagy bilen ol ululyk gönüçyzykly artýar. Köpsanly tehnologik prosesler üçin statiki ýalňyşlyk rugsat edilmeyär. Täsir berlen-den soňra sazlanylýan ululygyň berlen bahasyna gaýdyp gelmesini saýlanylýan sazlaýjynyň sazlama kanunyna integrirleýji täsiri berip gazanyp bolýar, ýagny astatiki ýa-da izodrom sazlaýjylar ulanylýan ýagdaýynda amala aşyryp bolýar. Eger-de saýlanylýan sazlaýjynyň proporsional täsiri bar bolsa, onda statiki ýalňyşlykdan saplanmak mümkin däl-dir, şeýle hem sazlama prosesleriniň hiliniň esasy görkezijisi hökmünde dinamiki ýalňyşlyk hasaba alynýar. Ol ýalňyşlygy geçiş prosesinde sazlanýan parametriň täze durnuklaşan ýagdaýyndan maksimal daşlaşmasy bilen 10.1-nji (a we b) çyzgylardaky ýaly düşündirilýär. Dinamiki ýalňyşlygy hem göterim hasabynda bahalandyrmak kabul edilendir:



10.1-nji çyzgy

$$x_{din} = \frac{x_{max} - x_{cyk}(\infty)}{1 + x_{cyk}(\infty)} \cdot 100\%. \quad (10.2)$$

Bu ýerde x_{max} – geçiş prosesinde parametriň berlen bahasyndan maksimal üýtgeme bahasy.

Parametriň berlen bahasyndan in uly üýtgemesi sazlanýan prosesde onuň birinji üýtgemesidir. Indiki üýtgemeler bolsa berilýän täsiriň ululygyna bagly bolýar. Dinamiki ýalňyşlygyň ululygy indiki ýagdaýlarda aýratyn uly üns berilmäge eýedir, ýagny tehnologik şertlere görä, parametriň berlen bahasyndan üýtgemesine ýa-da

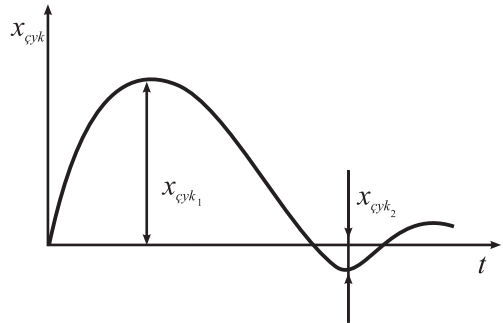
şular ýaly ýagdaýyň gysgawagtlaýyn pursadyna hem rugsat berilmeyär. Dinamiki ýalňyşlygyň ululygy sazlanýlan obýektiň dinamiki hasiýetine, sazlaýjynyň sazlanýlan ululygyna, kabul edilen sazlama kanunyna we oýandyryjy täsiriň ululygyna bagly bolýar.

Geçiş prosesiniň yrgyldylygynyň derejesi *gaýtadan sazlamanyň* ululygy bilen häsiýetlendirilýär. Ol ululyk ikinji garşylyklaýyn ugrukdyrylan x_{cyk_2} – yrgyldynyň amplitudasynyň birinji maksimal x_{cyk_1} – maksimal amplituda gatnaşygy bilen häsiýetlendirilýär.

Gaýtadan sazlama hem göterim hasabynda aňladylyp, indiki aňlatma boýunça kesgitlenilýär:

$$\delta = \frac{x_{cyk_2}}{x_{cyk_1}} \cdot 100\%. \quad (10.3)$$

Gaýtadan sazlamany sazlaýjynyň sazlanýlan ululyklaryny üýtgetmek bilen aperiodiki hadysalarda noldan başlap, durnuklaşan yrgyldyly, sönmeýän hadysalarda 100%-e çenli we 100%-den ýokary bolan ýagdaýyny bolsa ýaýraýan yrgyldylarda alyp bolýar. Gaýtadan sazlama näçe uly bolsa, şonça-da geçiş hadysasy dowamly geçýär. Wagtyň şol pursadynda hem gaýtadan sazlamanyň ulalmasy bilen dinamiki ýalňyşlyk şonça-da kiçelýär. Uly gaýtadan sazlamada kiçi dinamiki ýalňyşlygyň ýa-da tersine, kiçi gaýtadan sazlamada uly dinamiki ýalňyşlygyň maksadalaýyklygy tehnologiýanyň şerti bilen kesgitlenilýär. Sazlanýlan ulgamlara bildirilýän talaplarda köp ýagdaýlarda t_{saz} – sazlama wagtyna salgylanýlar.



10.2-nji çyzgy

Sazlama wagty diýlip oýandyryjy täsiri berlenden soňra sazlanýlan ululygyň öňden kesgitlenilen bahasyna kiçi tarapyndan gelyänçä geçýän wagta düşünilýär. Şeýle çäklere statiki ulgamlarda statiki ýalňyşlykdan 5% tapawutda bolan ululyklar kabul edilýär. Astatiki ulgamlarda, mälim bolşy ýaly, statiki ýalňyşlyk bolmaýar. Şonuň üçin hem bu ýerde geçiş hadysasynyň tamamlanmagy sazlanýlan ululyk berlen bahasyndan 0,5% tapawut eden ýagdaýy kabul edilýär. Sazlama wagty obýektiň dinamiki häsiýetlerine, kabul edilen sazlama kanunyna we sazlaýjynyň sazlanýlan parametrine bagly bolýar.

10.2. Sazlamagyň hiliniň integral bahalary

Sazlamagyň hiliniň integral bahalary gönümel däl bahalandyrylmaga degişlidirler. Awtomatiki sazlamagyň nazary esaslarynda we önümçilikde integral bahalaryň indiki görnüşleri giňden ulanylýar:

$$\begin{aligned}
 J_1 &= \int_0^{\infty} [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)] dt; \\
 J_2 &= \int_0^{\infty} [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]^2 dt; \\
 J_3 &= \int_0^{\infty} \left\{ [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]^2 + T^2 [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]'^2 \right\} dt.
 \end{aligned}
 \tag{10.4}$$

Bu ýerde:

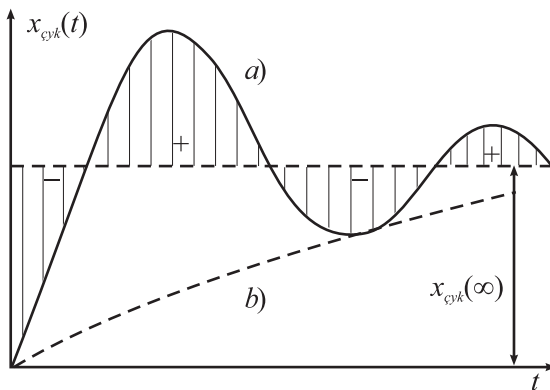
$[x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]$ – sazlanýlýan ululygyň täze durnuklaşan bahasyndan üýtgemesi;

$[x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]'$ – sazlanýlýan parametriň üýtgemesiniň tizligi;

T – wagt hemişeligi;

$J_1 = \int_0^{\infty} [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)] dt$ – görnüşli integraly geçiş prosesiniň egri çyzygy we döwlen çyzyk bilen çäklendirilen meýdanlaryň jemi görnüşinde göz önüne getirmek mümkindir.

Bu meýdanlar sazlanýlýan parametrlere birden üýtgeýän görnüşli oýandyryjy täsir berlenden soňra özüniň täze durnuklaşan ýagdaýyna çaltlyk bilen ýetýän ýagdaýyny häsiýetlendirýär (ideal geçiş prosesi). Başga söz bilen aýdylanda, islendik



10.3-nji çyzyg

deň şertlerde J_1 – integraly minimal baha eýe bolan ýagdaýlarynda ulgamlar hiliniň görkezijileri boýunça ýokary baha eýe bolýarlar. Bu ýerde bellemeli zatlaryň ýene-de biri – ol hem seredilip geçilen integralyň kömegi bilen sazlamagyň hiline – diňe öňden belli bolmak şerti bilen geçiş prosesi yrgyldysyz ýagdaýynda kanagatlanarly bahalary berip biler.

Yrgyldyly hadysalarda baha bermek usuly aşakdaky integral bilen kesgitlenilýär:

$$J_2 = \int_0^{\infty} [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]^2 dt.
 \tag{10.5}$$

Şeýle baha **hiliň kwadrat integral bahasy** diýlip atlandyrylýar. Üzülýän çyzyklaryň arasyndaky meýdanlaryň absolýut bahalarynyň jemi, ýagny birden üýt-

geýän geçiş prosesi bilen real geçiş hadysasyny kesgitleýän egri çyzygyň arasyndaky meýdan näçe kiçi bolsa, şonça-da ulgamlaryň hil görkezijileri ýokary bolar, ýöne käbir ýagdaýlarda soňky integralyň dogry bolmadyk bahany bermeginiň mümkindigini belläp geçmek zerurdyr, sebäbi monoton üýtgeýän prosesleriň hem, yrgyldyly prosesleriň hem kesgitli şertlerde seredilýän meýdanlaryň şeýle garnaşygyny bermegi mümkin, ýagny güýçli yrgyldyly geçiş prosesi haýal üýtgeýän geçiş prosesinden gowry bolup biler. Bu bolsa käbir ýagdaýlarda dogry hasaplanmaýar. Eger-de yrgyldynyň barlygy ulgama uly täsir ýetirmeýän bolsa, onda hiliň görkezijisine integral formaly baha bermegi ýeterlik derejede kanagatlanarly diýip kabul etmek mümkindir. Eger-de ýagdaý başgaça bolsa, onda has çylşyrymly integral forma bilen baha bermek teklip edilýär:

$$J_3 = \int_0^{\infty} \left\{ [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]^2 + T^2 [x_{\zeta yk}(t) - x_{\zeta yk}(\infty)]'^2 \right\} dt. \quad (10.6)$$

Soňky integral geçiş prosesiniň ýuwaşlyk bilen akyp geçmesini hasaba alýar, sebäbi oňa sazlanýlan parametriň üýtgemeginiň tizligine baglylykda üýtgeýän bahasy girýär.

10.3. Tipleýin optimal sazlanýlan hadysalar

Dürli-dürli sazlaýjylyk kanuny bolan awtosazlaýjylaryň işiniň hilini üstünlikli deňşdirmek üçin *tipleýin optimal sazlanýlan prosesler* diýen düşüňjäni girizmek maksadalaýykdyr. Bu ýerde bellemeli zatlaryň esasy biri-de *optimal sazlama prosesi* oňnositel düşüňjedir. Şonuň üçin hem häsiýetleri boýunça dürli-dürli bolan sazlama prosesleri optimal diýlip kabul edilip bilner. Bularyň hemmesi prosesleri alyp barmagyň talaplaryna bagly bolýar. Öz-özünden deňagramly ýagdaýlara gelip bilýän obýektler üçin geçirilen tejribeleriň we nazary umumylaşdyrmalaryň esasynda optimal geçiş prosesleriniň tipleýin topary esaslandyrylýar.

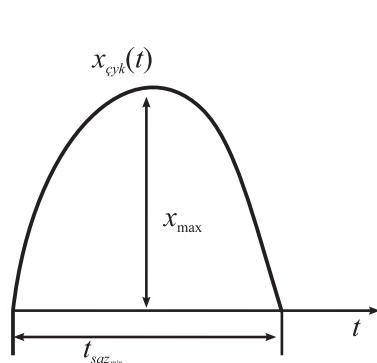
Önümçilik tarapyndan gyzyklanma döredýän üç sany tipleýin geçiş hadysalaryna seredip geçeliň.

1) Minimal sazlama wagtly çäklendirilen araçäk aperiodiki hadysa

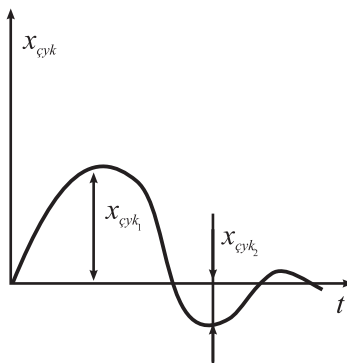
Sazlamanyň bu görnüşi minimal sazlama täsirli we gaýtadan sazlamanyň hiç hili bolmazlygynda hem-de minimal sazlama wagty bilen häsiýetlendirilýär. Şonuň üçin hem sazlamanyň şu görnüşi çylşyrymly obýektleriň beýleki sazlanýlan parametrlere islenilmeýän sazlaýjy täsirleri aradan aýyrmak üçin talap edilende ulanmak maslahat berilýär. Bu geçiş hadysasynyň ýetmezçiligi X-ululygyň dinamiki ýalňyşlygynyň bolmagydyr.

2) Yrgyldynyň birinji ýarym peridynda minimal wagtly we 20%-li gaýtadan sazlamaly ýagdaýy bolan proses

Bu proses uly sazlama täsiri bilen häsiýetlendirilýär. Şu ýerde bar bolan gaýtadan sazlama dinamiki ýalňyşlygy azaltmaga ýardam berýär. Parametriň berlen bahasyndan in uly üýtgemesiniň bolup geçýän, yrgyldynyň birinji ýarym periodyndaky minimal wagty hem şu geçiş prosesiniň artykmaçlygy bolup durýar. Aýratyn hem, geçiş prosesiniň galan böleginde berlen bahadan üýtgeме eýýäm deňşdirilip alnanda gaty uly däl-dir ýa-da has kiçidir. Şonuň üçin hem ony hasaba almasaň hem bolýar. Bu proses parametriň käbir gaýtadan sazlamasy rugsat edilýän ýagdaýlarynda ulanylýar. Ýetmezçilik barada aýdylanda sazlama wagty otositellikde uludyr.



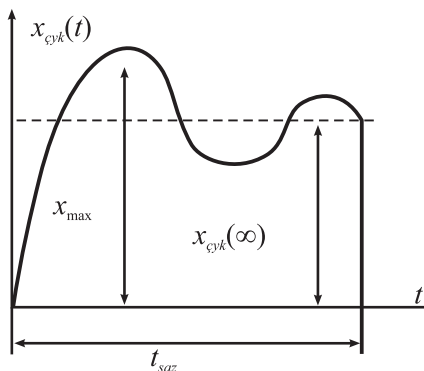
10.4-nji çyzgy



10.5-nji çyzgy

3. Üýtgemäniň minimal kwadratiki meýdany bolan prosesler

Prosesiň şu görnüşi maksimal sazlama wagty otositellikde alnanda uly gaýtadan sazlama (40-45% aralykda) we in kiçi dinamiki ýalňyşlyk bilen häsiýetlendirilýär. Bu tipli hadysalary desganyň tehnologik düzgüni sazlanýan ululygyň uly üýtgemeleriniň rugsat berilmeyän ýagdaýlarynda ulanmak maslahat berilýär. Önümçiligiň görkezmelerine görä, şeýle tipleýin hadysalaryň biri hökman elmydama tehnologik talaplary kanagatlandyrýar, ýagny optimal ýagdaýda bolýar.



10.6-njy çyzgy

XI BAP AWTOSAZLAÝJYLARYŇ SAÝLANLYŞY WE OLARYŇ SAZLAMAK ÜÇIN OPTIMAL ULULYKLARYNYŇ KESGITLENILIŞI

11.1. Awtomatiki sazlanýlýan ulgamlar taslanýlanda awtomatiki sazlamagyň görnüşini saýlamak

Awtomatiki sazlanýlýan ulgamlar taslanýlanda, ilki bilen, sazlaýjy gurluşlaryň toparyny (releli, impulsly ýa-da arakesmesiz täsirli) kesgitlemek zerur bolup durýar. Şeýle ýagdaýda saýlaw geçirmek üçin çen bilen $\frac{\tau}{T}$ – gatnaşygyň ululygy boýunça geçirilip bilner.

Bu ýerde τ we T – deňişlilikde, sazlanýlýan desganyň yzagalma wagty we wagt hemişeligi.

Eger-de agzalýan gatnaşyk $\frac{\tau}{T} = 0,2$ görnüşde bolsa, onda rele häsiýetli sazlaýjyny saýlamak mümkindir.

Eger-de agzalýan gatnaşyk $\frac{\tau}{T} \leq 1$ görnüşde bolsa, onda arakesmesiz häsiýetli sazlaýjyny saýlamak zerurdyr.

Eger-de agzalýan gatnaşyk $\frac{\tau}{T} > 1$ görnüşde bolsa, onda impuls häsiýetli sazlaýjyny saýlamak maksadalaýykdyr.

11.2. Awtomatiki sazlaýjynyň arakesmesiz hereket edýän tipini saýlamak

Öz-özünden deňagramlaşmany özünde saklaýan desgalar üçin arakesmesiz täsir edýän awtosazlaýjylaryň tipini dogry saýlamak üçin:

1. Sazlanýlýan obýektiň dinamiki häsiýetlerini bellemeli.
2. Yzagalma wagty $\tau - [s]$; wagt hemişeligi $T - [s]$ sazlanýlýan ululygyň ölçeg birliginde bolan geçirijilik koeffisiýenti we % hasabynda bolsa sazlaýjy agzanyň süýşme hereketini bilmeli.
3. Ýük boýunça oýandyryjy täsiriň mümkin bolan x_{or} – maksimal ululygyny sazlaýjy agzanyň süýşme hereketiniň %-i hasabynda bilmeli.
4. Sazlamagyň hiliniň zerur görkezijilerini:
 - a) x_{max} –dinamiki üýtgemäniň rugsat berilýän maksimal bahasyny sazlanýlýan ululygyň ölçeg birliginde bilmeli;
 - b) gaýtadan sazlamanyň rugsat berilýän (ýa-da islenilýän) ululygyny (%) bilmeli;
 - ç) x_{gal} – rugsat edilýän, galdyryp bolýan üýtgemäniň bahasyny sazlanýlýan ululygyň ölçeg birliginde bilmeli;

t_{saz} – rugsat edilýän, sazlama wagty (sekuntlarda).

d) sazlama hadysasynyň tipini bilmeli (üç görnüşde).

Awtosazlaýjylaryň tipi saýlanylanda maglumatnama (sorag-jogap) gollanmalarynda berilýän grafiklere salgylanyp, sazlamanyň dinamiki koeffisiýenti bolan R_d – ululygynyň $\frac{\tau}{T}$ – gatnaşyga baglanyşygyndan alyp saýlama amala aşyrylýar.

Sazlamanyň dinamiki koeffisiýenti indiki formula bilen kesgitlenilýär:

$$R_d = \frac{x_{\max}}{k_0 x_{ot}}. \quad (11.1)$$

Eger-de agzalýan grafikler özleşdirilse, indiki netijeleri çykaryp bolýar, ýagny geçiş prosesinde I-sazlaýjylary ulanylanda sazlamagyň dinamiki koeffisiýenti, degişlilikde, sazlamagyň maksimal üýtgemesi has uly bolýar. Şol bir tipleýin proseslerde P we PI-sazlaýjylary ulanmak dinamiiki üýtgemeleri birnäçe esse azaltmaga mümkinçilik döredýär. Önümçilik nukdaýnazaryndan sere dilende hem P we PI sazlaýjylaryň dinamiki koeffisiýentleri biri-birinden gaty bir tapawut etmeýär.

$\frac{\tau}{T}$ – gatnaşygyň ulalmagy bilen sazlamagyň dinamiki koeffisiýenti ähli sazlaýjylar üçin çaltlyk bilen ösüp 1-e ýetjek bolýar. Sazlanylýan obýektiň $\frac{\tau}{T}$ – gatnaşygy näçe uly bolsa, onuň sazlamagyň dinamiki koeffisiýentini şol bir ululykda almak üçin şonça-da çylşyrymly sazlaýjyny almaly bolýar. Iň ýokary görkezijili sazlamagyň dinamiki koeffisiýentini üpjün etmek üçin PID-sazlaýjyny ulanmaly bolýar.

$R_d = f\left(\frac{\tau}{T}\right)$ – baglanyşygy ulanmak bilen tipleýin sazlanýlan prosesin häsiýeti saýlanylýar. Ondan soňra bolsa $\frac{t_s}{\tau} = f\left(\frac{\tau}{T}\right)$ – baglanyşygy ulanmak bilen saýlanylan sazlaýjynyň talap edilýän sazlama wagtyny üpjün edip bilýänligi barlanýlar. Bu ýerde hem sazlaýjy talap edilýän sazlama wagtyny üpjün edip bilmese, onda has çylşyrymly sazlaýjy saýlanylýar.

Eger-de P-sazlaýjy saýlanylýp, üýtgemäniň galdyrylýan ululygy barlanmaly bolsa, onda ol ululyk hasaplama ýoly bilen indiki formula arkaly kesgitlenilýär:

$$x_{gal} = \frac{k_s}{1 + k_s} \cdot x_{os}. \quad (11.2)$$

Bu ýerde k_s – ulgamyň geçirijilik koeffisiýenti.

Ulgamyň geçirijilik koeffisiýentini hem indiki formula bilen kesgitleýärler:

$$k_s = k_o \cdot k_{saz}. \quad (11.3)$$

Bu ýerde k_{saz} – sazlaýjynyň geçirijilik koeffisiýenti.

Ulgamlaryň geçirijilik koýeffisiýentiniň ululygy kabul edilen sazlamanyň tipleýin hadysasynyň häsiýetine bagly bolýar. Ol ululyk hadysalara baglylykda aşakdaky ýagdaýlarda hasaplanylýar.

Sazlamanyň aperiodiki hadysalary üçin ol indiki formula bilen kesgitlenilýär:

$$k_{sis} = \frac{0,3}{\tau / T}. \quad (11.4)$$

20%-li gaýtadan sazlamasy bolan prosesler üçin:

$$k_{sis} = \frac{0,7}{\tau / T}. \quad (11.5)$$

Orta kwadrat ýalňyşlygyň minimal bahasy bolan prosesler üçin:

$$k_{sis} = \frac{1}{\tau / T}. \quad (11.6)$$

Netijede, tapylan ululyk, ýagny galdyrylan üýtgemäniň ululygy berlen bahasy bilen deňeşdirilýär we aratapawut rugsat berilýän ululykdan ýokary bolsa, onda PI-sazlaýjy gurnalýar.

11.3. Awtomatiki sazlaýjylaryň sazlanýlan ululyklaryny kesgitlemek

Ýokarda bellenilip geçilişi ýaly, awtomatiki sazlaýjylaryň sazlanýlan parametrlere indiki ululyklar degişli bolýar.

a) P-sazlaýjy üçin statiki geçirijilik koýeffisiýenti:

$$S_1; \frac{\%; \text{sazlaýjy agza } H \text{ süýşme hereketi}}{\text{sazlanýlan ululyk } H \text{ ölçeg birligi}}.$$

b) I-sazlaýjy üçin – ýerine ýetiriji mehanizmiň tizligi ýa-da astatiki sazlaýjynyň geçirijilik koýeffisiýenti;

$$S_1; \frac{\%; \text{sazlaýjy agza } H \text{ süýşme hereketi}}{\text{sazlanýlan ululyk } H \text{ ölçeg birligi}}.$$

ç) PI-sazlaýjy üçin - statiki geçirijilik koýeffisiýenti:

$$S_1; \frac{\%; \text{sazlaýjy agza } H \text{ süýşme hereketi}}{\text{sazlanýlan ululyk } H \text{ ölçeg birligi}}.$$

Izodrom wagty $T_i - [s]$;

d) PID-sazlaýjy üçin statiki geçirijilik koýeffisiýenti:

$$S_1; \frac{\%; \text{sazlaýjy agza } H \text{ süýşme hereketi}}{\text{sazlanylýan ululyk } H \text{ ölçeg birligi}}.$$

Sazlaýjynyň wagt hemişeligi $T_p - [s]$.

Öz-özünden deňagramly ýagdaýa gelip bilýän desgalarda iş geçirilende sazlaýjylaryň sazlanylýan parametrleriniň optimal ululyklaryny desgalaryň dinamiki häsiýetnamalarynyň we kabul edilen optimal sazlanylýan prosesleriň ýa-da ýörite grafikleriň esasynda analitiki hasaplamalary geçirmek ýoly bilen kesgitläp bolar.

Analitiki hasaplamalary geçirmek bilen sazlanylýan ululyklaryň optimal bahalaryny kesgitlenýän formulalaryň toplумы indiki tablisa ýerleşdirilendir.

11.1-nji tablisa

Optimal geçiş prosesleriniň sazlaýjylarynyň tipleri	Minimal sazlama wagty bolan aperioidiki prosesler	20% gaýtadan sazlamasy bolan yrgyldyly prosesler	Üýtgemäniň minimal kwadrat meýdany bolan yrgyldyly prosesler
P	$S_1 = \frac{0,3}{k_0 \cdot \tau / T}$	$S_1 = \frac{0,7}{k_0 \cdot \tau / T}$	$S_1 = \frac{0,9}{k_0 \cdot \tau / T}$
I	$S_0 = \frac{1}{4,5k_0 \cdot T}$	$S_0 = \frac{1}{1,7k_0 \cdot T}$	$S_0 = \frac{1}{1,7k_0 \cdot T}$
PI	$S_1 = \frac{0,6}{k_0 \cdot \tau / T}$ $T_i = 0,3\tau + 0,5T$	$S_1 = \frac{0,7}{k_0 \cdot \tau / T}$ $T_i = \tau + 0,3T$	$S_1 = \frac{1}{k_0 \cdot \tau / T}$ $T_i = \tau + 0,35T$
PID	$S_1 = \frac{0,95}{k_0 \cdot \tau / T}$ $T_i = 2,4\tau$ $T_p = 0,4\tau$	$S_1 = \frac{1,2}{k_0 \cdot \tau / T}$ $T_i = 2,0\tau$ $T_p = 0,4\tau$	$S_1 = \frac{1,4}{k_0 \cdot \tau / T}$ $T_i = 1,3\tau$ $T_p = 0,5\tau$

XII BAP GIÑELDILEN ÝYGÝLYK HÄSIÝETNAMALARYNYŇ KESGITLENILIŞI WE ULANYLYŞY

12.1. Çzykly ulgamlaryň giñeldilen amplituda-faza häsiýetnamalarynyň kesgitlenilişi we ulanylyşy

Sazlanylýan prosesiniň hili özleşdirilende, hususan-da, sazlanylýan ulgamyň geçiş prosesinde sönme derejesiniň berlen bahasy hasaplanylanda köp ýagdaýlarda giñeldilen ýygýlyk häsiýetnamalary ulanylýar. Çzykly ulgamlaryň giñeldilen amplituda-faza häsiýetnamasy diýip nämä düşünilýär?

Önden belli bolşy ýaly, gowy ýgylyk häsiýetnamalaryny almak üçin sazlanýlan desgany (ýa-da sazlaýjyny) hemişelik amplitudaly oýandyryjy täsire duçar edip durmaly. Mysal üçin, sinusoidal görnüşli:

$$x_{oýan} = x_{gir} \cdot \sin \omega t \text{ ýa-da görkezijili görnüşde } x_{oýan} = x_{gir} \cdot e^{j\omega t}. \quad (12.1)$$

Giňeldilen ýgylyk häsiýetnamasyny almak üçin bolsa özleşdirilýän desgany **amplitudanyň eksponentasy** atly kanun boýunça sönýän periodiki oýandyryjy täsire sezewar etmeli, ýagny:

$$x_{oýan} = x_{gir} \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{-m\omega t}. \quad (12.2)$$

Bu ýerde m – hadysanyň yrgyldysynyň sönme tizligini häsiýetlendirýän käbir položitel san.

Çykyş ululygynyň yrgyldysy hem edil şonuň ýaly ýgylykly we sönme derejeli bolýar, ýöne amplitudasy we fazasy boýunça tapawutlanýar:

$$x_{cyk}(t) = x_{cyk} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi)}. \quad (12.3)$$

Obýektiň giňeldilen amplituda-faza hesiýetnamasynyň deňlemesi çykyş yrgyldylary giriş yrgyldylaryna gatnaşdyrylyp kesgitlenilýär:

$$W(m, j\omega) = \frac{x_{cyk} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{j(\omega t - \varphi)}}{x_{gir} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{j\omega t}} = \frac{x_{cyk}}{x_{gir}} \cdot e^{-j\varphi}. \quad (12.4)$$

Özleşdirilýän soraga beýleki bir tarapyndan seredilse, onda $s = -m\omega + j\omega$ -a deň bolanda giňeldilen ýgylyk häsiýetnamasy **geçirijilik funksiýasynyň hususy aňlatmasy** diýlip atlandyrylýar.

Bu ýerde m – ululygy *geçiş hadysasynyň yrgyldylylygynyň derejesi* diýlip atlandyrylýar we ol ululyk *geçiş hadysasynyň sönme derejesini* häsiýetlendirýär.

Geçiş hadysasynyň yrgyldylylygynyň derejesiniň we sönme derejesiniň arasyndaky arabaglanyşyga seredip geçeliň. **Geçiş prosesiniň sönme derejesi** diýlip aşakdaky gatnaşyga düşünilýär (12.1-nji çyzgy):

$$\psi = \frac{x_{cyk_1} - x_{cyk_2}}{x_{cyk_1}} = 1 - \frac{x_{cyk_2}}{x_{cyk_1}}. \quad (12.5)$$

Eger-de wagtyň t_1 we t_2 pursatlarynda yrgyldylaryň amplitudalary deň bolsalar, onda *geçiş hadysasynyň sönme derejesi* ψ – ululyk nola deň bolar. Onda bu ýagdaýy **sönmeýän proses** diýip atlandyrmak bolar. Haçan-da yrgyldynyň amplitudasy t_2 – wagt pursadynda nola deň bolsa, onda hadysa *geçiş hadysasynyň aperiodiki formasyna gabat geler*. ψ – ululygyň ähli aralyk bahalary bolsa 0-dan 1-e çenli aralykda bolar.

x_{cyk_1} we x_{cyk_2} ululyklary görkezijili formada (12.5) formula goýup, degişli özgermeler geçirilenden soňra aşakdaky aňlatmany alarys:

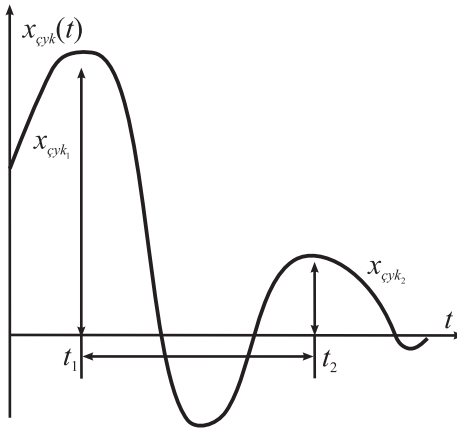
$$\psi = 1 - \frac{x_{\text{cyk}_0} \cdot e^{-m(\omega t_1 + 2\pi)}}{x_{\text{cyk}_0} \cdot e^{-m\omega t_1}} = 1 - e^{-2m\pi}. \quad (12.6)$$

Bu ýerde:

$x_{\text{cyk}} - t = 0$ wagtda pursadynda amplitudanyň bahasy;

$2m\pi$ – yrgyldynyň sönmesiniň logarifmiki dekrementi.

San taýdan bolsa sönýän yrgyldylaryň iki goňşy amplitudalarynyň gatnaşygynyň logarifmine deňdir.



10.7-nji çyzgy

Soňky aňlatmalaryň ýagdaýyna, degişlilikde, “ m ”-ululygyň dürli-dürli bahalaryna doly kesgitlenilen sönme derejesiniň ululyklary gabat gelýär.

12.1.-nji tablisa

m	0,00	0,057	0,145	0,221	0,336	∞
ψ	0,00	0,30	0,60	0,75	0,90	1,00

Bu ýerde bellemeli zatlaryň biri – ol hem inženerçilik tejribesinde giňeldilen ýygylýk häsiýetnamalarynyň kesgitlenilişiniň synag-derňew usuly tejribeleriň goýluşynyň çylşyrymlylygynyň netijesinde köp ulanylmaýar. Häzirki wagtda giňeldilen ýygylýk häsiýetnamalary köp ýagdaýlarda analitiki ýol bilen (hereket deňlemesiniň ýa-da geçirijilik funksiýasynyň kömegi bilen) alynýar, şeýle-de käbir ýagdaýlarda grafiki usul bilen hem özleşdirilýär.

12.2. Giňeldilen ýygylýk häsiýetnamalarynyň analitiki ýagdaýda kesgitlenilişi

Giňeldilen ýygylýk häsiýetnamalarynyň deňlemesini kesgitlemegiň analitiki usulyýeti bilen takyk gönükmelerde tanyşmak maksadalaýykdyr.

1-nji gönükme. Hereket deňlemesi aşakdaky görnüşde bolan obýektiň giňeldilen ýygylýk häsiýetnamasynyň deňlemesini kesgitlemeli, ýagny:

$$T \frac{dx_{\text{çyk}}(t)}{dt} + x_{\text{çyk}}(t) = k_0 + x_{\text{gir}}(t).$$

Giriş signaly sönýän sinusoidal yrgyldynyň kanuny boýunça üýtgeýär, ýagny:

$$x_{\text{gir}} = x_{\text{gir}} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{-j\omega t}.$$

Şeýle täsiriň netijesinde çykyş ululygynyň yrgyldysy hem, öňden belli bolşy ýaly, şol ýygylýkly we şol sönme derejeli, ýöne başga amplitudaly we fazaly görnüşde bolup, aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$x_{\text{çyk}}(t) = x_{\text{çyk}} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi)}.$$

Aňlatmany differensirläp alarys:

$$\frac{dx_{\text{çyk}}(t)}{dt} = x_{\text{çyk}} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi)} \cdot (-m\omega + j\omega).$$

$\frac{dx_{\text{çyk}}(t)}{dt}$ we $x_{\text{çyk}}(t)$ – ululyklary başlangyç deňlemelere goýýarys:

$$T(-m \cdot \omega + j\omega) \cdot x_{\text{çyk}} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{j(\omega t - \varphi)} + x_{\text{çyk}} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{j(\omega t - \varphi)} = k_0 \cdot x_{\text{gir}} \cdot e^{-m\omega t} \cdot e^{j\omega t}$$

$$[T(-m\omega + j\omega) + 1] \cdot x_{\text{çyk}} \cdot e^{-j\varphi} = k_0 \cdot x_{\text{gir}}.$$

Bu ýerden bolsa giňeldilen amplituda-faza häsiýetnamasynyň deňlemesini kesgitleýäris:

$$W(m, j\omega) + \frac{x_{\text{çyk}}}{x_{\text{gir}}} \cdot e^{-j\varphi} = \frac{k_0}{T(-m\omega + j\omega) + 1}.$$

2-nji gönükme. Eger-de geçirijilik funksiýasy $W(s) = \frac{k_0}{Ts + 1}$ – görnüşli bolsa, onuň giňeldilen amplituda-faza häsiýetnamasyny kesgitlemelidir. Giňeldilen amplituda-faza häsiýetnamasynyň kesgitlenilişine laýyklykda geçirijilik funksiýasy $s = -m\omega + j\omega$ ululygy goýmak ýoly bilen alynýar, ýagny:

$$W(j\omega; m) = \frac{k_0}{T(-m\omega + j\omega) + 1} = \frac{k_0}{[T(-m\omega) + 1] + jT\omega}.$$

PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanyň durmuş-ykdysady ösüşiniň döwlet kadalaşdyrylyşy. I tom. Ýokary okuw mekdepleriniň talyplary üçin okuw gollanmasy. Aşgabat, 2010.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanyň durmuş-ykdysady ösüşiniň döwlet kadalaşdyrylyşy. II tom. Ýokary okuw mekdepleriniň talyplary üçin okuw gollanmasy. Aşgabat, 2010.
3. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabineti-niň göçme mejlisinde sözlän sözi (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
4. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2016.
5. Türkmenistanyň Prezidentiniň obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň ýaşayyş-durmuş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin rejelenen görnüşdäki Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baý ugry Milli maksatnamasy. Türkmenistan. 2003-nji ýylyň 27-nji awgusty.
7. Türkmenistanyň elektrik energetikasy pudagyny ösdürmegiň 2013-2020-nji ýyllar üçin Konsepsiyasy.
8. *M.Rejepow, O.Çaryýew*. Elektrotehnikanyň we elektronikanýň esaslary. Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby.–Aşgabat: Ýlym, 2014.
9. *A.Ökdürow, T.Kulyýew*. Senagat elektronikasy.–Aşgabat: Ýlym, 2005.
10. *В.Я.Ротач*. Теория автоматического управления: учебник для вузов. М: Издательский дом МЭИ, 2008, С. 396.
11. *Н.И.Овчаренко*. Автоматика энергосистем: учебник для вузов М: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 476.
12. *Н.И.Овчаренко*. Аппаратные и программные элементы автоматических устройств энергосистем.-М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004, С. 512.
13. *В.А. Бесекерский. Е.П. Попов*. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2003.
14. *Г.Ф. Зайцев*. Теория автоматического управления и регулирования. Киев: Выща школа, 2000.
15. *В.А. Демченко*. Автоматизация и моделирование: учебное пособие. Одесса: Астропринт, 2001.
16. *Г.А. Липатников. М.С. Гузеев*. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики. Учебное пособие. Владивосток, 2007.

MAZMUNY

Giriş	7
-----------------	---

I BAP

AWTOMATIKA DOLANDYRMAK WE SAZLAMAK

1.1. Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlar baradaky esasy düşüňjeler	11
1.2. Dolandyrylýan ulgamlaryň meseleleriniň we düzümleriniň dekompozisiýasy	14
1.3. Awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň tehniki we matematiki üpjünçiligi	19
1.4. Tehnologik prosesleri awtomatiki dolandyrmagyň tehnikasynyň we nazaryýetiniň emele gelşi we ösüşi	22
1.5. Tehnologik desgalary awtomatiki dolandyrylýan ulgamlaryň matematiki üpjünçiligini işläp taýýarlamagyň aýratynlyklary	33
1.6. Ýylylyk elektrik beketleriniň energiýa desgalarynyň ADU-larynyň mysallary	35
1.7. Energiýa desgasyň kuwwatyny we buguň basyşyny dolandyrylýan ulgam	38
1.8. Ýangyç ýakmagyň hilini sazlaýjy ulgamlar	39
1.9. Gazanyň ýangyjy ýakylýan ýerindäki selçeňlemäni sazlaýjy ulgamlar	41
1.10. Gazanyň barabanyndaky suwuň derejesini sazlaýjy ulgamlar	42
1.11. Aşa gyzdyrylan buguň temperaturasyny sazlaýjy ulgamlar	43
1.12. Göni akymly gazanlaryň awtomatiki sazlanýlýan ulgamlarynyň aýratynlyklary	44

II BAP

GÖNÜÇZYKLY ULGAMLARYŇ DIFFERENSIAL DEŇLEMELERI WE DINAMIKA HÄSIÝETNAMALARY

2.1. Dinamiki ulgamlaryň differensial deňlemeleri we olaryň çyzykly ýagdaýa getirilişi	47
2.2. Gönüçzykly differensial deňlemeleri çözmek üçin Laplasyň özgertmesiniň ulanylyşy	56
2.3. Başlangyç şertleriň kesgitlenilişi	57
2.4. Differensial deňlemäniň integrirlenilişi	59
2.5. Kompleks kökleri bolan ýagdaýynda differensial deňlemeleriň integrirlenilişi	64
2.6. Kub deňlemeleriň çözülişi	67
2.7. Geçirijilik funksiýalary	70
2.8. Ýygylyk häsiýetnamalary	71
2.9. Gönüçzykly ulgamlaryň dinamiki geçiş häsiýetnamalary	74

III BAP
DOLANDYRYLYÁN ULGAMLARYŇ DÜZÜM SHEMALARY

3.1. Ulgamlaryň algoritmiki düzümleri we olaryň elementar halkalary	76
3.2. Güýçlendiriji (inersiýasyz) halka	77
3.3. Inersion halka	80
3.4. Ikinji tertipli halka	85
3.5. Differensirleýji halka	91
3.6. Integrirleýji halka	97
3.7. Ýzagalma wagtly halka	100

IV BAP
AWTOMATIKI DOLANDYRYLYÁN GÖNÜÇZYKLY ULGAMLARYŇ DÜZÜM SHEMALARY (DÜZÜLIŞI WE ÖZGERDILIŞI)

4.1. Umumy maglumatlar	102
4.2. Struktura özgermesiniň düzgünleri	103
4.2.1. Halkalaryň yzygider birleşdirilişi	103
4.2.2. Halkalaryň parallel sazlaşykly birleşdirilişi	104
4.2.3. Garşylykly parallel birikdirilen halkalar	105
4.2.4. Signal alynýan nokady yza geçirmek	106
4.2.5. Signal alynýan nokady öňe geçirmek	106
4.2.6. Jemleýji nokadyň yza geçirilişi	106
4.2.7. Jemleýji nokadyň öňe geçirilişi	107
4.3. Ýapyk ulgamlaryň geçirijilik funksiýalary	108
4.4. Dolandyrylýan ulgamlaryň düzüm shemalaryny düzmek we özgermek	109

V BAP
GÖNÜÇZYKLY AWTOMATIKI SAZLANÝLYAN ULGAMLARYŇ DURNUKLYLYGY

5.1. Durnuklylyk barada düşünje	110
5.2. Gönüçzykly ASU-nyň durnuklylygy häsiýetlendiriji deňlemäniň kökleriniň üsti bilen kesgitlenilişi	111
5.3. Durnuklylygyň geometriki şertleri	114
5.4. A. M. Lýapunowyň durnuklylyk baradaky teoremalary	114
5.5. Durnuklylygyň algebraik kriterileri	116
5.5.1. A. Stodolyň durnuklylygynyň zerur şertleri	116
5.5.2. Rausyň durnuklylyk kriterisi	116
5.5.3. Gurwisiň durnuklylyk kriterisi	118
5.6. Mihaýlowyň geometriki durnuklylyk kriterileri	120
5.6.1. Argumentler prinsipleri	120
5.6.2. Mihaýlowyň durnuklylyk kriterisi we godografy	122
5.7. Naýkwistiň durnuklylygyň amplituda-faza kriterisi	125
5.7.1. Umumy ýagdaýlar	125
5.7.2. Naýkwistiň durnuklylyk kriterisi	125
5.7.3. Naýkwistiň logarifmiki durnuklylyk kriterisi	130

5.8. ASU-nyň durnuklylygynyň ätiýaçlygy barada düşüňjeler.	132
5.9. Yzagalmary bolan ulgamyň durnuklylygy	133
5.9.1. Nazary başlangyçlar	133
5.9.2. Yzagalmary bolan ulgamlaryň durnuklylygy	135

VI BAP

DURNUKLYLYK OBLASTLARYNY TAPAWUTLANDYRMAK. D-BÖLÜNME

6.1. Umumy maglumatlar	137
6.2. Parametrleriň tekizliginde D-bölünme barada düşüňjeler.	140
6.3. Bir parametr boýunça D-bölünme.	141
6.4. Bir parametriň tekizliginde D-bölünmäniň araçägini ştrihlemek we durnuklylyk oblastyny tapawutlandyrmak	142
6.5. Iki parametriň tekizliginde D-bölünme.	147
6.6. Iki parametriň tekizliginde D-bölünmäniň araçägini ştrihlemek we durnuklylyk oblastyny ýüze çykarmak.	149

VII BAP

DETERMINIRLENILEN ÇYZYKLY AWTOMATIKI SAZLANYLÝAN ULGAMLARYŇ ÖZLEŞDIRILIŞI WE SINTEZI

7.1. Tipleýin sazlanylýan obýektler. Umumy ýagdaýlar	158
7.2. Astatiki obýektler.	159
7.3. Bir sygymly statiki obýektler.	162
7.4. Iki sygymly statiki desgalar	166
7.5. Arassa yzagalmary bolan desgalar.	167
7.6. Synag-derňew ýoly bilen önümçilik desgalarynyň dinamiki häsiýetnamalaryny kesgitlemek	168
7.6.1. Nazary maglumatlar	168
7.6.2. Badalma egri çyzygynyň we impuls häsiýetnamasynyň alnyşy.	169
7.6.3. Ýgylyk häsiýetnamalarynyň kesgitenilişi	172

VIII BAP

BADALMA EGRI ÇYZYGynyň WE IMPULSLY HÄSIÝETNAMALARYŇ ÖZLEŞDIRILIŞI

8.1. Badalma egri çyzygy boýunça desganyň dinamiki parametrlerini kesgitlemek . . .	174
8.2. Badalma egri çyzygy boýunça desganyň geçirijilik funksiýasynyň gözlenilişi . . .	176
8.3. Impuls häsiýetnamalarynyň özleşdirilişi	186

IX BAP

AWTOMATIKI SAZLAÝJYLARYŇ DINAMIKI HÄSIÝETNAMALARY

9.1. Sazlanylýan desga bilen sazlaýjynyň dinamiki häsiýetnamalarynyň arasyndaky baglanyşyk.	187
9.2. P-sazlaýjylar.	188
9.3. I-sazlaýjylar	189
9.4. PI-sazlaýjylar	191
9.5. PID-sazlaýjylar	192

X BAP
AWTOMATIKI SAZLANYLÝAN PROSESLERIN HILI

10.1. Sazlanylýan prosesleriň hiliniň esasy görkezijileri	193
10.2. Sazlamagyň hiliniň integral bahalary.	195
10.3. Tipleýin optimal sazlanylýan hadysalar.	197

XI BAP
AWTOSAZLAÝJYLARYŇ SAÝLANYLYŞY WE OLARYŇ SAZLAMAK ÜÇIN
OPTIMAL ULULYKLARYNYŇ KESGITLENILIŞI

11.1. Awtomatiki sazlanylýan ulgamlar taslanylanda awtomatiki sazlamagyň görnüşini saýlamak	199
11.2. Awtomatiki sazlaýjynyň arakesmesiz hereket edýän tipini saýlamak.	199
11.3. Awtomatiki sazlaýjylaryň sazlanylýan ululyklaryny kesgitlemek	201

XII BAP
GIŇELDILEN ÝYGÝLYK HÄSIÝETNAMALARYNYŇ
KESGITLENILIŞI WE ULANYLYŞY

12.1. Çzykly ulgamlaryň giňeldilen amplituda-faza häsiýetnamalarynyň kesgitlenilişi we ulanylyşy.	202
12.2. Gineldilen ýgylyk häsiýetnamalarynyň analitiki ýagdaýda kesgitlenilişi	204
Peýdalanylýan edebiýatlar	206

Döwletmyrat Şamyýew

AWTOMATIK DOLANDYRYŞYŇ NAZARY ESASLARY

Redaktor	<i>B. Hojadurdyýewa</i>
Teh. redaktor	<i>A. Nurýagdyýew</i>
Suratçy	<i>H. Annamuhammedowa</i>
Kompýuter bezegi	<i>O. Handöwletowa</i>
Neşir üçin jogapkär	<i>G. Hekimow</i>

Çap etmäge rugsat edildi 31.05.2020
Ölçeği 70×100^{1/16}. Times New Roman garniturasy.
Çap listi 13,25. Şertli çap listi 17,09. Hasap-neşir listi 11,63.
Neşir № 26. Sargyt № . Sany 500.

Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň “Ylym” neşirýaty.
744000. Aşgabat, 2011-nji (Azady) köçesi, 61.

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Metbugat merkezi.
744015. Aşgabat, 2127-nji (G. Gulyýew) köçe, 51/1.