

556
688.5
C 30

J.U. SEVINOV

AVTOMATIK BOSHQARISH NAZARIYASI



TOSHIKENT

✓
435
681.5
138

1 - N U S X A

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIV VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

J.U. SEVINOV

AVTOMATIK BOSHQARISH NAZARIYASI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim
vazirligining muvofiqlashtiruvchi Kengashi tomonidan
o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*

TASNIFLANDI

TOSHKENT - 2017

UO'K: 681.5.011 (075.8)

KBK 32.965

S-38

S-38 Sevinov J.U. Avtomatik boshqarish nazariyasi. O'quv qo'llanma.
– T.: «Fan va texnologiya» 2017, 248 b.

ISBN 978–9943–11–551–4

O'quv qo'llanma oliy o'quv yurtlarining 5311000 – «Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish» (kimyo, neft-kimyo va oziq-ovqat sanoati) ta'lim yo'nalishi hamda unga turdosh bakalavr ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun mo'ljallangan.

O'quv qo'llanmada avtomatik boshqarish nazariyasining asosiy tushuncha va ta'riflari, avtomatik boshqarish tizimlarining matematik ifodalash usullari, chiziqli avtomatik boshqarish tizimlarining turg'unligini tahlili, chiziqli tizimlarning rostdash sifatini baholash, chiziqli avtomatik boshqarish tizimlarining sintezlash, shuningdek, nochiziqli avtomatik boshqarish tizimlari haqida qisqacha ma'lumotlar keltirilgan. Keltirilgan nazariy materiallar misollar yordamida yoritilgan, mustaqil tayyorlanish uchun esa nazorat savollari va testlar ilova qilingan.

В учебном пособии изложены основные понятия и определения теории автоматического управления, методы математического описания автоматических систем управления, анализа устойчивости линейных систем автоматического управления, оценки качества регулирования линейных систем, синтеза линейных систем автоматического управления, а также в краткой форме описываются нелинейные системы автоматического управления. Представленные материалы иллюстрируются примерами, контрольными вопросами и сопровождаются тестовыми задачами для самостоятельной подготовки.

The tutorial presents the basic concepts and definitions of automatic control theory, the mathematical description of the methods of automatic control systems, stability analysis of linear automatic control systems, assess the quality of regulation of linear systems, synthesis of linear automatic control systems, as well as briefly describes the nonlinear automatic control system. The materials are illustrated by examples, control issues and are accompanied by test tasks for self-training.

Taqrizchilar:

X.Z.Igamberdiyev – TDTU «Boshqarishda axborot texnologiyalari» kafedrası professori, texnika fanlari doktori;

M.A.Ismailov – TATU huzuridagi dasturiy mahsulotlar va apparat «dasturiy majmualar yaratish» Markazining bosh ilmiy xodimi, texnika fanlari doktori, professor.

ISBN 978–9943–11–551–4

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2017.

KIRISH

Respublikada chuqur bilimga hamda yuqori saviyaga ega bo'lgan yosh kadrlarni tayyorlash va bu kadrlar yordamida ilm-fan, ishlab chiqarishdagi dolzarb masalalarni yechish, yangi natijalarga erishish ishlari jadal olib borilmoqda. Kadrlar tayyorlash milliy dasturi "Ta'lim to'g'risida"gi O'zbekiston Respublikasi qonunining qoidalariga muvofiq holda bo'lib, milliy tajribaning tahlili va ta'lim tizimidagi jahon miqyosidagi yutuqlar asosida tayyorlangan. Albatta, kadrlarni zamon talabi darajasida tayyorlashda fanlardan yaratilgan darslik va o'quv qo'llanmalar muhim ahamiyat kasb etadi. Bugungi kunda talabalarga har bir fandan nazariy bilimlarni amaliyotga tatbiq etishni mukammal o'rgata oladigan o'quv qo'llanmalarining mavjudligi muhim masalalardan biridir.

Avtomatik boshqarish nazariyasi – fani nisbatan yaqinda vujudga kelgan bo'lsada, inson ishtirokisiz ishlovchi alohida qurilmalar qadimdan ma'lum bo'lgan.

Yevropa sanoatida XVIII asrning oxirida sodir bo'lgan birinchi keskin burilish natijasida vujudga kelgan rostlagichlar (1765-yilda I.I.Polzunov bug' mashinasi qozonidagi suv sathini rostlagichi, 1784-yilda J.Uatt bug' mashinasi valining aylanish tezligi rostlagichi) tashqi muhit ta'siri ostida ishlovchi texnik qurilmalarning ishini stabillashga mo'ljallangan edi. Eng samarali usul manfiy teskari bog'lanishdan foydalanish edi, XIX asrda poluintuitiv kiritildi va kerakli hisob-kitoblarsiz bu doim ham kerakli samarani bera olmasdi. Manfiy teskari bog'lanishli rostlagichlarni qo'llashda ko'pincha taxmin qilingan afzalliklar o'rniga kutilmagan texnik hodisalarga: noturg'unlik va yangi harakatlar paydo bo'lishiga duch kelishar edi. Bu hodisalarni tadqiq etish uchun mos usullar talab qilinardi, bu usullar g'ayrioddiy xususiyatlarni nafaqat tushuntirib berishi, balki rostlagichlar tavsifining umumiy qonuniyatlarini qarab chiqishga imkon berishi lozim edi. Ularning asoslari XIX asrning oxirlarida ingliz matematik-mexanigi D.Maksvellning (1866 y.) hamda rus mexanigi I.A.Vishnegradskiyning (1876, 1877 yy.) «rostlagichlar haqida»gi birinchi asarlarida bayon etib berildi. Yangi nazariyalarning jadal rivojlanishi elektrotexnik tizimlar, xususan elektromashinalar va radioavtomatika tizimlarining paydo bo'lishi bilan boshlandi. Shu paytgacha, elektr mashinaning tezligini

rostdash tizimi avtomatik boshqarishning klassik namunasi hisoblanib keldi. Keyinchalik ma'lum bo'ldiki, avtomatik boshqaruv nazariyasining usullari mexanika, energetika, radio- va elektrotexnikada, ya'ni teskari aloqani qo'llash mumkin bo'lgan hamma sohadagi turli fizik tabiiatli obyektlarning ishlashini tushuntirib berishi mumkin ekan. Barcha usullarni bir vazifa birlashtirib turadi: o'tish jarayonlaridagi kerakli aniqlikni va qanoatlantiruvchi sifatni ta'minlab berish. Shunday qilib, avtomatik boshqaruv nazariyasi, mohiyatiga ko'ra, manfiy teskari bog'lanishli tizimlardagi jarayonlar nazariyasi hisoblanadi. Ayni vaqtda, avtomatik boshqaruv nazariyasi o'zining tahliliy apparati bilan ilmiy fanga aylangan.

Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish masalalariga avtomatik boshqarishni qo'llash texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarish tizimlari yordamida amalga oshiriladi. Ularda texnologik jarayon va texnologik obyekt holati zamonaviy EHMLardan foydalanilgan holda tahlil qilinadi. Shulardan ko'rinadiki, avtomatik boshqarish insonlar tomonidan amalga oshiriladi, boshqaruv tizimining texnik vositalari, shu jumladan, EHMLar boshqaruv yechimlarini ishlab chiqish va qo'llashning murakkab jarayonida inson imkoniyatlarini ko'p marta oshiruvchi qudratli vosita sanaladi. EHMLar asosidagi zamonaviy avtomatik boshqaruv tizimi hozirgi davr ishlab chiqarish amaliyotida keng qo'llanilmoqda.

Avtomatik boshqaruv nazariyasining o'rganish predmeti teskari bog'lanishli avtomatik tizimlarni konstruksiyalash, ularning xossalari, hisoblash usullari hisoblanadi. Fan va texnikaning hozirgi taraqqiyotida modellarni tuzish uchun odatda, makroolam fizikasi va mexanikasining asosiy qonunlari shakllangan, ya'ni differensial tenglamalar apparatidan foydalaniladi. Shunday ekan, avtomatik boshqaruv nazariyasining predmeti avtomatik tizim modelining xossalari hisoblanadi, bu xossalar differensial tenglamalar hamda ularning turli o'zgartirishlari va interpretatsiyalari ko'rinishida ifodalanadi.

I BOB. AVTOMATIK BOSHQARISH NAZARIYASINING UMUMIY XUSUSIYATLARI VA TUSHUNCHALARI

Tayanch so'zlar va iboralar: kibernetika, texnik kibernetika, rostlagich, rostdash qurilmasi, boshqarish obykti, boshqarish tizimi, boshqaruv ta'siri, g'alayon, chiqish koordinatalari, boshqarish algoritmi, avtomatik boshqarish, funksional sxema, strukturaviy sxema, prinsipl sxema, ochiq boshqarish prinsipi, g'alayon bo'yicha boshqarish prinsipi, teskari aloqa yoki og'ish prinsipi, avtomatik boshqarish tizimlarining sinflanishi, chiziqli tizim.

1.1. Avtomatik boshqarish nazariyasining asosiy tushuncha va ta'riflari

Avtomatik boshqarish nazariyasi (ABN) boshqarish to'g'risida ilmiy ta'lim beruvchi ilmiy fanlar qatoriga kiradi. ABN – bu avtomatik boshqarish tizimi (ABT)da kechuvchi axborot jarayonlari predmetini o'rganuvchi ilmiy fandır.

ABN turli fizik tabiatli ABT ning o'ziga xos umumiy qonuniyatini va bu qonuniyat asosida yuqori sifatli boshqarish tizimlarini qurish prinsiplarini ishlab chiqadi [1-7].

ABNda boshqarish prinsiplarini o'rganish orqali tizimning fizik va konstruktiv xususiyatlardan abstraktlashtiriladi va real tizimning o'rniga matematik modeli adekvat bo'lgan tizim ko'riladi. ABNda asosiy tadqiqot usuli matematik modellashtirish hisoblanadi. Undan tashqari ABNning uslubiyot asoslarini quyidagilar tashkil etadi [4,5]:

- odatdagi differensial tenglamalar nazariyasi;
- operatsion hisoblash;
- garmonik tahlil;
- vektor-matritsali algebra.

1.1.1. Boshqa texnikaviy fanlar bilan o'zaro aloqasi

ABN boshqarish tizimlari elementlarining ishlash nazariyasi (datchik, registr) bilan birgalikda *avtomatikani* tashkil etadi. Avtomatika texnik obyektlarni boshqarish to'g'risidagi fan bo'lib, texnik

kibernetikaning bir bo'lagi hisoblanadi. Shuningdek avtomatika texnik obyektlarni boshqarish uchun kerak bo'lgan axborotlar va ularni qayta ishlash bilan shug'ullanuvchi – *axborotlar nazariyasi* va *ABN* fanlariga bo'linadi [4,5,8].

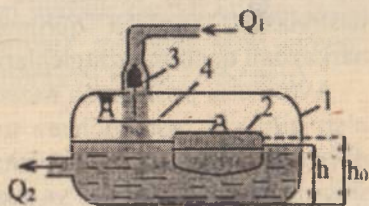
Kibernetika – murakkab tizimlar (texnik obyektlar, texnologik jarayonlar, jonli organizmlar, jamoalar, tashkilotlar va h.k.) ni optimal boshqarish to'g'risidagi fan.

Texnik kibernetika (yoki *avtomatik boshqarish nazariyasi*) – kibernetikaning g'oya va usullari yordamida texnik tizimlarni o'rganuvchi fan sohasi. Texnik obyektlarni boshqarishning asosiy vazifasi – jarayonga qo'yilgan talablarni bajarilishida ayni sharoitda boshqarish algoritmlarini topish va amalga oshirishdir.

1.1.2. Tarixiy ma'lumotlar

Sanoatda qo'llanilishi mumkin bo'lgan eng birinchi avtomatik rostlagich rus mexanigi I.I.Polzunov tomonidan (1765 y.) yaratilgan [4,8-12]. Bu qurilma bug' mashinasi qozonidagi suv sathi balandligini inson ishtirokisiz bir me'yorda ushlab turishga mo'ljallangan qurilma edi (1.1-rasm). Ma'lumki, qozondagi suv miqdori uning bug'ga aylanishi va sarfi sababli kamayadi, natijada undagi bug' bosimi ham kamayadi. Bu o'z navbatida bug' mashinasining yomon ishlashiga, uning tezligi o'zgarib turishiga sabab bo'ladi. Shu sababli bug' qozonidagi suv sathi balandligi va bug' mashinasining aylanish tezligini saqlab turish o'sha davrning eng muhim muammolaridan hisoblanardi.

Qozondagi 1 chiquvchi suvning sarfi Q_2 oshganda suv sathi h_0 balandlikdan kamayadi. Richak 4 ga mahkamlangan to'siq 3 qalqovuch 2 pasayishi hisobiga ochiladi va qozonga tushayotgan suv hajmi Q_1 oshadi. Suvning sathi h oshganda qalqovuch 2 ko'tariladi hamda bu o'z navbatida qozonga tushayotgan suv hajmi Q_1 ni to'siq 3 orqali kamaytiradi.

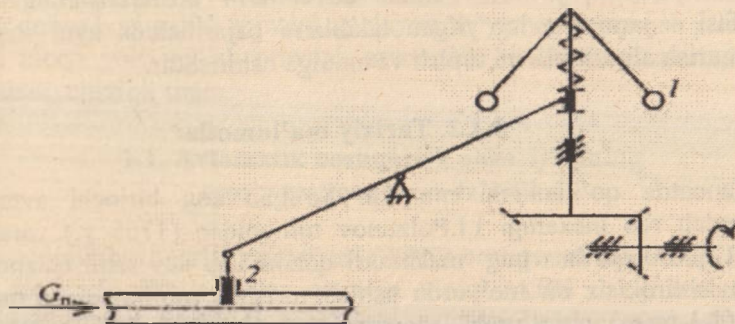


1.1-rasm. Polzunov rostlagichi.

Polzunov yaratgan texnik vosita (rostlagich) tufayli, odam qozondagi suv sathi balandligini nazorat qilish, agar undagi suv sathi oldindan belgilab qo'yilgan suv sathi balandligidan kamaysa – suv

quyib, ortib ketganda esa qozonga suv kelishini to'xtatish jarayonini boshqarib turish funksiyasini bajarishdan ozod bo'ldi.

1784-yida ingliz mexanigi Jems Uatt ikkinchi muammoni hal qildi – bug' mashinasi valning aylanish tezligini rostlay oladigan avtomatik qurilma – rostlagichni yaratdi (1.2-rasm) [4,11,12]. Valning aylanish soni o'zgarsa, markazdan qochma kuchlarning ta'siri ostida yuklar 1 o'z holatini o'zgartiradi hamda rostlash organi 2 joyini o'zgartirish hisobiga bug' uzatilishi o'zgaradi. Bu o'z navbatida valning aylanishlar soniga bog'langan, faqat dastlabkiga teskari yo'nalishda.



1.2-rasm. Uatt rostlagichi.

Bu ikki texnik qurilma yordamida o'sha vaqtdagi texnologik mashinalarning ishonchli va o'zgarmas tezlikda ishlashi birmuncha ta'minlangan. Polzunov va Uattlarning rostlagichlarida avtomatik rostlash tizimlarining asosiy elementlari sifatida obyekt – bug' qozoni va bug' mashinasini, rostlash qurilmasi – rostlovchi qopqoqli po'kak va markazdan qochma uzatgichlarni ko'rishimiz mumkin.

Avtomatik boshqarish nazariyasining asoschisi 1876-yilda «Bevosita ta'sir qiluvchi rostlagichlar» to'g'risidagi ilmiy ishni chop ettirgan rus olimi va muhandisi I.A.Vishnegradskiy hisoblanadi [11,12]. Ushbu ishda u rostlash obyekti va rostlagichni yagona rostlash tizimda ekanligini va shuning uchun rostlagich va boshqarish obyektidan o'tuvchi jarayon o'zaro aloqada bo'ladi va birgalikda ko'rib chiqilishi shart ekanligini birinchi bo'lib isbotlab berdi.

O'sha vaqtlarda ushbu yo'nalishda Maksvell ham ishlagan. Keyinchalik mashhur rus olimlari A.M.Lyapunov va N.E.Jukovskiylar avtomatik boshqariladigan mashina va mexanizmlarda kechayotgan jarayonlarning matematik nazariyasi asoslarini yaratgan.

Zamonaviy avtomatik boshqarish nazariyasining rivoji XX chi asrning 20-30-yillarida Minorskiy, Naykvist, Xazenlarning maqolalarini paydo bo'lishi bilan boshlandi. Nazariy ishlar muhandislar uchun klassik usullardan foydalanib avtomatik rostdlash tizimlarini kundalik loyihalash imkonini yaratdi [4,6,12-15].

So'nggi vaqtlarda klassik usullar o'zining mukammalligiga erishganda tadqiqot ishlari optimal usullarni ishlab chiqish yo'nalishiga qaratilgan edi. A.S.Pontryagin o'zining «maksimum prinsipi» ni ishlab chiqqan bo'lsa, R.Bellman va R.Kalmanlar «Avtomatlashirilgan boshqarishning optimallik prinsiplari» ni yaratganlar. Ushbu fanning rivojiga o'zbekistonlik olimlardan N.R.Yusupbekov, M.M.Komilov, T.F.Bekmuratov, X.Z.Egamberdiyevlar o'zlarining ilmiy natijalari bilan hissalarini qo'shganlar.

1.1.3. Asosiy tushuncha va ta'riflar

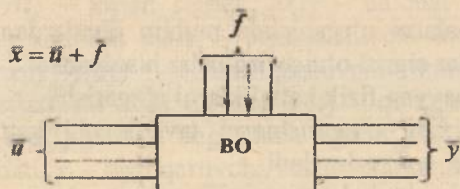
Boshqariluvchi obyekt va avtomatik boshqarish qurilmasi (rostlagich) birgalikda hamda ularni o'zaro ta'siri – *avtomatik boshqarish tizimi* deyiladi.

ABT – bu shunday tizimki, unda boshqarilish vazifasi avtomatik bajariladi, ya'ni inson ishtirokisiz.

Avtomatlashirilgan boshqarish tizimi – bu tizimda boshqarish vazifasini bir qismi avtomatik boshqarish qurilmasida bajariladi, bir qismi (ayniqsa, muhim va murakkab qismi)ni esa inson bajaradi.

Qurilma (tizim)ning ishlash algoritmi – bu qurilma (tizim)da texnik jarayonni to'g'ri bajarilishi haqida yetakchi buyruqlar majmui.

Boshqarish obyekti (BO) – texnik jarayonni amalga oshiruvchi va ishlash algoritmini amalga oshirish uchun maxsus tashkil etilgan tashqi ta'sirga muhtoj qurilma (qurilmalar majmui), moslama yoki jarayon. Boshqarish obyekti – zaruriy holatni ta'minlashi kerak (1.3-rasm).



1.3-rasm. Boshqarish obyekti.

ABNda *boshqarish obyekti* istalgan texnik obyekt, texnologik jarayon, shuningdek, sodda ABT bo'lishi mumkin.

Istalgan obyekt tashqi muhitning obyektga ta'siri, rostlagichli boshqarish signalining ta'siri, obyektning o'zida jarayonlarni belgilovchi *kattaliklar* qatorida tavsiflanadi.

Ta'sir deb tashqaridan obyektga ta'sir etuvchi kattaliklarga aytiladi (1.3-rasm). Ta'sirlarning ikki turi mavjud:

1. *Boshqaruv ta'siri* \bar{u} (boshqaruv signali, boshqaruvchi kirish kattaligi) – bu boshqaruvchi qurilma tomonidan ishlab chiqiluvchi (yoki inson tomonidan beriluvchi) ta'sir.

2. *G'alayon f* – boshqarish tizimiga bog'liq bo'lmagan obyektga ta'sir. *G'alayon yuklamaga* – bu tizimning ishlashiga bog'liq bo'lgan tashqi ta'sir va *xalaqitga* – obyektga qo'shimcha ko'rinishda bog'liq bo'lgan zararli tashqi ta'sirlarga bo'linadi.

Ta'sirlar uch jihatdan quyidagilarga bo'linadi: *energetik* (energiyani o'zgartirish va uzatish), *metabolik* (kattalikning shakli va tarkibini o'zgartirish), *axborot* – energetik va metabolik hosil bo'lgan har bir ta'sirlar bir vaqtini o'zida axborot bo'ladi.

Boshqarish obyektining ishlashini tavsiflovchi o'zgaruvchilarga – *chiqish kattaliklari* \bar{y} (bular barchasi fizik kattaliklar) deyiladi. Ba'zida ularni tizimning *chiqish koordinatalari* deb nomlanadi (1.3-rasm).

Boshqarish algoritmi – bu ishlash algoritmlarini amalga oshirish maqsadida obyektidagi tashqi ta'sirlar tavsifini aniqlovchi buyruqlar majmui.

Avtomatik boshqarish – bu boshqarish algoritmiga muvofiq ta'sirlarni amalga oshirish jarayoni.

Avtomatik boshqarish qurilmasi (ABQ) – boshqarish algoritmi bilan muvofiq kelishda ta'sirlarni amalga oshiruvchi qurilma.

Boshqarish qurilmasining ishlash algoritmi – bu mavjud boshqarish algoritmi.

ABTda jarayonlarni o'rganishda muhim jihatlardan biri bu axborotdir. Bu jarayonlar signal o'zgartirgichlar hisoblanadi.

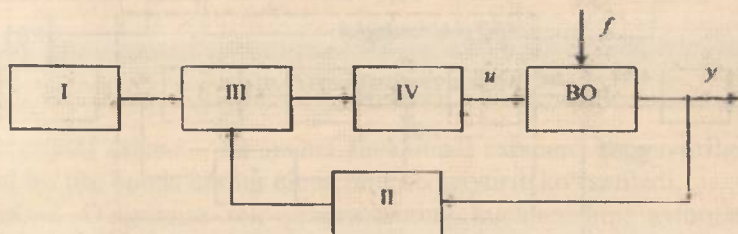
Signal – bu muayyan fizik kattaliklarni o'zgarishi.

Obyektning o'zida o'zgarishlarni tavsiflovchi kattaliklarga *ichki kattalik* yoki *obyekt holati* deyiladi.

Ular ichidan obyekt holatini tavsiflovchi va atayin o'zgartiriluvchi, yoki doimiy ushlab turiluvchi – *boshqarish kattaligini* alohida keltirish mumkin.

Kundalik hayotimizda biz har xil jarayonlarni boshqarishga duch kelamiz. Masalan, korxonada faoliyatini, harbiy operatsiyalarni, transport vositalarini va hokazo. U yoki bu jarayonni oldiga qo'yilgan maqsad sari yo'naltirishga *boshqarish* deyiladi.

Har qanday jarayonni boshqarish quyidagi to'rtta bosqichdan iborat. Buni sxematik tarzda quyidagicha ifodalash mumkin (1.4-rasm):



1.4-rasm. *Boshqarish bosqichlari:*

I – boshqarish maqsadi; II – boshqarish to'g'risida axborot; III – taqqoslash, tahlil etish va qaror qabul qilish; IV – qabul qilingan xabarni bajarish.

Boshqarish jarayonini hamma bosqichlarini bajarilishini ta'minlaydigan texnik vositalar to'plamiga *boshqarish tizimi* deyiladi.

1.2. Avtomatik boshqarish tizimlarning sxemalari

ABTda quyidagi sxemalardan foydalaniladi:

1. *Funksional sxema* – bu sxema tizimning qanday elementdan tashkil topganini bildiradi. Unda har bir elementga mos ravishda shu elementning nomi yoki u bajaradigan funksiyasining nomi keltiriladi.

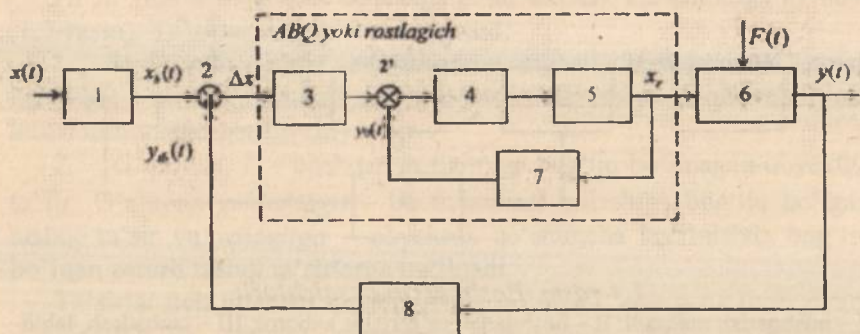
Oddiy avtomatik boshqarish tizimlarining funksional sxemasiga misol qilib, kirish va chiqish kattaligi bitta bo'lgan bir o'lchamli tizimni keltiramiz (1.5-rasm).

Bu yerda $x(t)$ – kirish signali; $y(t)$ – chiqish (rostlanuvchi yoki boshqariluvchi) kattalik; $x_b(t)$ – boshqariluvchi kattalikning berilgan qiymati; $\Delta x = x_s(t) - y_b(t)$ – boshqariluvchi kattalikning berilgan qiymatdan chetlashishi yoki og'ishi; $F(t)$ – qo'zg'atuvchi signal yoki ta'sir; $y_b(t)$ – asosiy teskari bog'lanish signali; $y_o(t)$ – mahalliy teskari bog'lanish signali; x_r – boshqaruvchi, rostlovchi kattalik yoki signal.

I – topshiriq beruvchi element. Boshqarish maqsadiga muvofiq keladigan boshqarish signallarini tashkil etish uchun mo'ljallangan.

2, 2' – taqqoslovchi yoki solishtiruvchi element. Bunda bir necha signal mutlaq (absolyut) qiymati bo'yicha solishtiriladi.

3, 4 – kuchaytiruvchi va o'zgartiruvchi element. Bu boshqarish maqsadiga muvofiq signallarni kuchaytirish va o'zgartirish uchun mo'ljallangan.



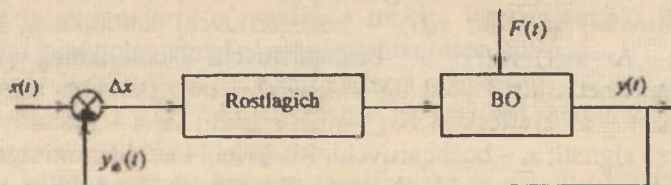
1.5-rasm. Bir o'lchamli oddiy ABT funksional sxemasi.

5 – ijro etuvchi element. Bu boshqarish maqsadiga muvofiq boshqaruv obyektiga ta'sir etuvchi signalni tashkil etish uchun mo'ljallangan.

6 – boshqarish objekti. Bu boshqarish maqsadiga muvofiq, o'z holatini o'zgartirishi kerak bo'lgan har qanday fizik tabiatli jarayonlar, qurilmalar va hokazolar bo'lishi mumkin.

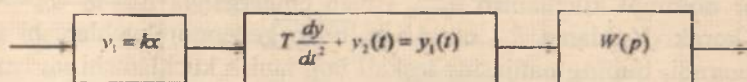
7 – mahalliy teskari bog'langan element yoki korrektlovchi qurilma. Bu tizimning dinamik xususiyatini yaxshilash uchun ishlatiladi.

8 – asosiy teskari bog'lanish elementi yoki axborot datchiklari deyiladi. Bu tizimda bo'layotgan jarayonlar to'g'risida teskari bog'lanish zanjiri orqali ma'lumot olish uchun mo'ljallangan (1.6-rasm).



1.6-rasm. Bir o'lchamli oddiy ABT soddalashtirilgan funksional sxemasi.

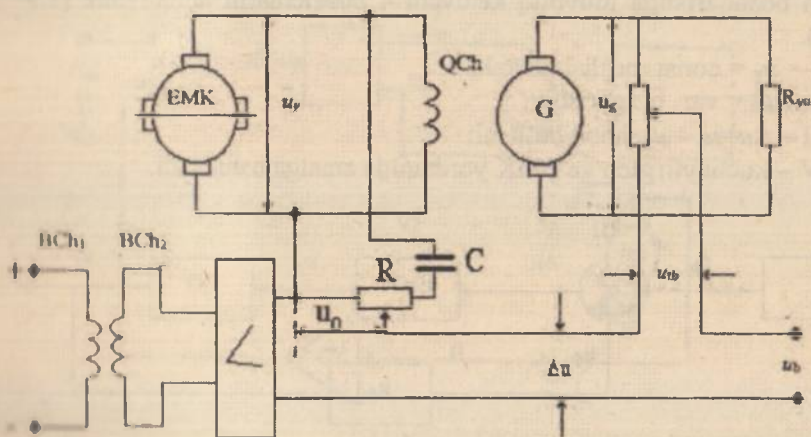
2. *Strukturaviy sxema (model)* – bu sxema tizimning matematik modelini bildiradi. Bunda har bir elementga mos ravishda algebraik, differensial, integral tenglamasi yoki qandaydir uzatish funksiyasi keltiriladi (1.7-rasm).



1.7-rasm. Strukturaviy sxema.

3. *Prinsipial sxema* – bu sxema funksional sxemani kengaytirilgan ko‘rinishi bo‘lib, bunda har bir elementni kengaytirib ko‘rsatiladi.

1.1-misol. O‘zgarmas tok generatorining kuchlanishini avtomatik boshqarish tizimining prinsipial sxemasi 1.8-rasmda keltirilgan bo‘lib, bu yerda EMK – elektr mashina kuchaytirgich; BCh₁; BCh₂ – EMK ning boshqarish chulg‘amlari; G – o‘zgarmas tok generatori; QCh – generatorning qo‘zg‘atuvchi chulg‘ami; R_{yu} – yuklama; u_g – boshqariluvchi, rostlanuvchi kattalik; u_{tb} – teskari bog‘lanish signali; $\Delta u = u_b - u_{tb}$ – rostlanuvchi kattalikni berilgan qiymatdan og‘ishi; u_b – rostlanuvchi kattalikning berilgan qiymati; u_y – rostlovchi, boshqaruvchi signal.



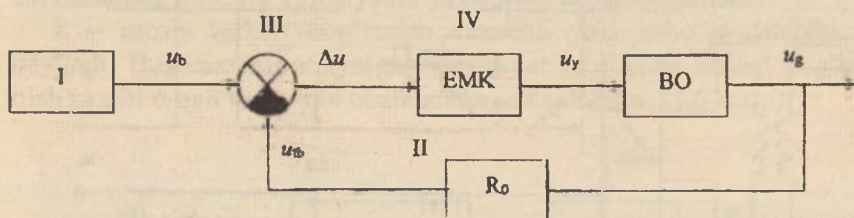
1.8-rasm. O‘zgarmas tok generatorining kuchlanishini avtomatik boshqarish tizimining prinsipial sxemasi.

Tizimning ishlash prinsipi quyidagicha:

Tizimning maqsadi generator kuchlanishini u_g – o'zgarmas holda tutib turish. Buning uchun u_b kuchlanish olinadi, uning qiymati rostlanuvchi kattalik u_g kuchlanish bilan bir xil qilib olinadi, chunki generator nominal kuchlanish u_{gnom} ishlab chiqarganda $\Delta u = u_b - u_{ib} = > 0$ bo'lishi kerak. Yuklama R_{yu} o'zgarishi bilan generator kuchlanishi u_g ham o'zgaradi, buning natijasida teskari bog'lanish kuchlanishi u_{ib} ham o'zgarib $\Delta u = u_b - u_{ib}$ kuchlanish hosil bo'ladi. Agar $\Delta u = u_b - u_{ib}$ ishorasi musbat (+) bo'lsa, ya'ni rostlanuvchi kattalik u_g o'z nominal qiymati u_{gnom} dan kichik bo'lsa, unda Δu signal EMKning ikkinchi boshqarish chulg'amida BCh₂ dagi magnit oqimiga mos yo'nalgan oqim hosil qiladi. Buning natijasida BCh₁ va BCh₂ chulg'amlardagi magnit oqimlari qo'shilib EMKning boshqaruvchi kattaligi u_y ko'tarilishiga olib keladi. EMK esa generatorning qo'zg'atuvchi chulg'amiga QCh qo'zg'atuvchi rolini o'taydi va oxir oqibatda generator kuchlanishi u_g nominal qiymat u_{gnom} ga teng bo'ladi. Agar $\Delta u = u_b - u_{ib}$ manfiy ishoraga ega bo'lsa, unda EMKning BCh₁ va BCh₂ chulg'amlaridagi magnit oqimlari qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, EMKning ishlab chiqargan kuchlanishi u_y kamayishiga olib keladi.

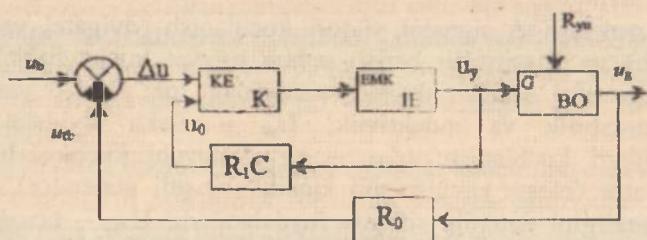
Endi bu tizim boshqarish tizimi ekanligini isbotlaymiz. Buning uchun boshqarishga muvofiq keluvchi 4 bosqichlarni aniqlaymiz (1.9-rasm).

- I – $u_g = \text{const}$ bo'lishi kerak;
- II – $u_{ib} = \text{var}$ o'zgarishi;
- III – $\Delta u = u_b - u_{ib}$ hosil bo'lishi;
- IV – kuchaytirgich va EMK yordamida amalga oshiriladi.



1.9-rasm.

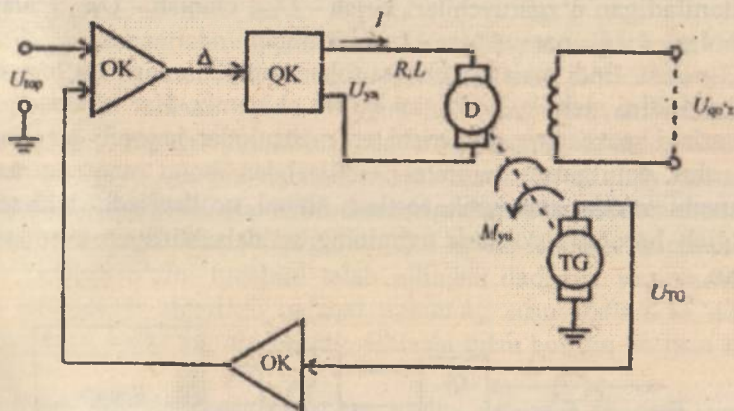
Ko'rilayotgan tizimning ishlash prinsipiga ko'ra, uning funksional sxemasini tuzamiz (1.10-rasm).



1.10-rasm. Funktsional sxema:

KE – kuchaytiruvchi element, IE – ijro elementi, K – kuchaytirgich.

1.2-misol. Eng ko‘p tarqalgan avtomatik tizimlardan biri – *mustaqil qo‘zg‘atishli doimiy tok dvigatelining aylanish tezligini stabillovchi tizim*dir. Uning ishlash maqsadi – valga «yuklanish» berilganda dvigatelning berilgan tezligini ushlab turishdan iborat. O‘xshash tipdagi tizimlar, masalan, metall kesish dastgohlarida foydalaniladi va bunda metallning kesish chuqurligiga bog‘liq bo‘lgan holda berilgan aylanish tezligini ushlab turish lozim. 1.11-rasmda bunday tizimlarni amalga oshirishning soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan.



1.11-rasm.

Bu yerda quyidagi belgilashlar kiritilgan: U_{top} – tizimga berilgan ta‘siinning topshiriq qiymati (berilgan kuchlanish); OK – kirish va chiqish elektr zanjirlarini moslashtirish uchun operatsion kuchaytirgich; Δ –

berilgan kuchlanish va taxogenerator kuchlanishlari o'rtasidagi farq; QK – kichik quvvatli Δ signalni yuqori kuchlanish (dvigatel yakoridagi kuchlanish) ga o'zgartirib berish uchun quvvat kuchaytirgichi; D – elektr dvigatel; I – elektr dvigatel zanjiridagi tok; R, L – yakor zanjiridagi qarshilik va induktivlik; U_{ya} – elektr dvigatel yakori chulg'amidagi kuchlanish; $U_{qo'z}$ – qo'zg'atuvchi kuchlanish; TG – taxogenerator (elektr kuchlanishli kichik quvvatli generator), dvigatel aylanish tezligini datchigi sifatida foydalaniladi; U_{TG} – taxogenerator kuchlanishi; M_{yu} – yuklanish momenti.

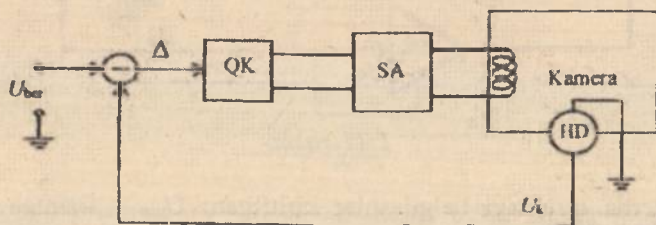
Ushbu tizimda manfiy teskari bog'lanish tashkil qilingan va u quyidagicha:

$$\Delta = U_{top} - U_{TG}.$$

Agar M_{yu} oshsa, U_{TG} pasayib (tushib) ketadi va U_{ya} oshib ketib, dvigatelda kuchlanish oshib ketganda dvigatel aylanishlarini «ushlab turish» imkonini beradi. Agar M_{yu} kamayib ketsa, dvigatelning aylanish tezligini juda ko'p miqdorda oshirish imkonini bera olmaydigan teskari jarayon yuz beradi.

Ushbu sinf misolini tavsiflashda dinamik tizimlarni tavsiflash uchun foydalaniladigan o'zgaruvchilar: kirish - U_{top} , chiqish - U_{TG} , g'alayon - M_{yu} , holat - I, U_{ya} , parametrlar - L, R kiritilgan.

1.3-misol. Endi maishiy texnika sohasidagi hammaga ma'lum sovutgich haroratini stabillash tizimini ko'rib chiqamiz. Har bir sovutgichda kameradagi massaning o'zgarishi va mahsulotlar harorati o'zgariganda yoki eshik ochilganda haroratni stabillashdan iborat maqsadni amalga oshiruvchi sodda avtomatik roslash tizimi qo'llaniladi. 1.12-rasmda sovutgich haroratni roslash tizimining soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan.



1.12-rasm. Sovutgich haroratini stabillash tizimining funksional sxemasi

Bu yerda U_{ber} – berilgan haroratga mos keluvchi signal; HD – harorat datchiki; QK – boshqarish qurilmasi sifatida qo'llaniladigan releli xarakteristikali quvvat kuchaytirgichi, u sovuq agentni kameralarning quvurlari orqali «haydovchi» bo'lib, sovitish agregati (SA) ni qo'shadi yoki ajratadi.

Sovutgichlarda operatsion kuchaytirgichlar ishlatilmaydi; berilgan va haqiqiy haroratlarni solishtirish bevosita amalga oshiriladi. Sxemada ushbu amal mos element bilan ko'rsatilgan.

Tizim quyidagicha ishlaydi: agar eshik ochilib, kameraga issiq mahsulotlarning bir qancha massasi quyilsa, unda kamerada harorat tezda oshib ketadi va berilgan (quyi) hamda oshib ketgan haqiqiy harorat o'rtasidagi Δ farq oshib ketadi va rele xarakteristikali QK qo'shiladi hamda sovitish agregati ishlay boshlaydi. Bir qancha vaqtdan so'ng Δ farq boshlang'ich qiymatdan kichik bo'ladi va rele QKni ajratib yuboradi. Bunday tizim faqat «bir tomon» sovitishga ishlaydi. Ushbu jarayonni quyidagi kattaliklar tavsiflaydi: kirish – U_{ber} , chiqish – harorat datchigidan chiquvchi kuchlanish; holat – kamera ichidagi harorat, xalqit – qo'yilgan mahsulotdagi issiqlik miqdori.

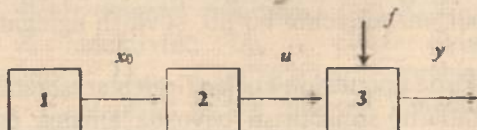
1.3. Boshqarishning fundamental prinsiplari

Tizimni boshqarishning statik va dinamik xususiyatlarini bilgan holda, tizimning matematik modelini qurish va aniq ta'sirlarda shu tizimning berilgan ishlash ketma-ketligini ta'minlab beruvchi boshqarish ketma-ketligini topish mumkin. G'alayonlantiruvchi ta'sirlar oldindan notanish tarzda o'zgarishi sababli model har doim haqiqiy tizimning xususiyatlarini yaqindan tasvirlab bera olmaydi. Shu sababli tizimning topilgan boshqarish ketma-ketligida o'zini tutishi istalgan tizimdan farq qiladi. Tizimni o'zini tutishini talab qilingan darajaga yaqinlashtirish uchun boshqarish algoritmi nafaqat tizimning xususiyatlari va ishlash algoritmlarini, balki tizimni haqiqiy ishlashi bilan bog'liq bo'lishi kerak [14-18].

ABTLari asosida boshqarishning ayrim umumiy shartlari yotadi. Hozirgi vaqtda texnikada boshqarishning 3 ta asosiy prinsiplari aniqlangan va ulardan foydalanilmoqda. Ular quyidagilardir: ochiq boshqarish prinsipi, kompensatsiya prinsipi va teskari aloqa yoki og'ish prinsipi.

Ochiq boshqarish prinsipi. Bu prinsipning ma'nosi shundan iboratki, boshqarish ketma-ketligi faqatgina berilgan ishlash ketma-

ketligi asosida ishlab chiqiladi va boshqa omillar – g‘alayonlar yoki jarayonning chiqish kattaliklari bilan nazorat qilinmaydi. Tizimning umumiy funksional sxemasi 1.13-rasmda keltirilgan.



1.13-rasm. Ochiq boshqarish prinsipi.

Ishlash ketma-ketligi topshirig‘i $x_0(t)$ ni maxsus texnik qurilma – dastur topshiriq beruvchisi tomonidan ishlab chiqilgani kabi, oldindan, tizim loyihalananayotgan vaqtda bajarilishi va undan keyin boshqarish qurilmasini (2) tuzatayotganda bevosita qo‘llanilishi mumkin. So‘nggi holatda sxemada blok 1 yo‘q. Ikkala holatda ham sxema strekalar bilan ko‘rsatilgani kabi asosiy ta’sirlar kirish elementlaridan chiqish elementlariga (3) uzatiladigan ochiq zanjir ko‘rinishga ega. Ochiq tizimlarida u va x_0 yaqinligi faqatgina hamma elementlaridan kuzatiladigan fizik qonuniyatlaridan tanlash va tuzish bilan ta‘minlanadi.

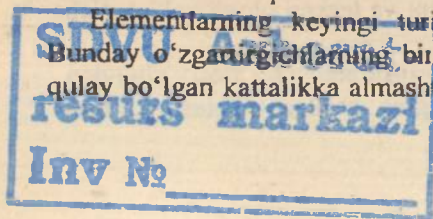
Odatiy kamchiliklariga qaramay, bu prinsip juda keng qo‘llaniladi.

Ochiq zanjirlarda qo‘llaniladigan barcha elementlar istalgan tizim tarkibiga kirganligi, bu prinsip shunchalik sodda bo‘lib tushunilganligi sababli uni har doim ham asosiy prinsiplardan biri kabi ajratmaslik imkonini beradi. Bunga ochiq zanjirlarni qurishning umumiy qonunlarini ajratish ham kiradi. Tuzuvchiga foydali bo‘lgan asosiy qoidalar sezilarli darajada mustaqil qurilmalarning xususiyatlari bilan bog‘liq va asbobsozlik hamda mashinasozlikning amaliy kurslarida maxsus o‘rganiladi.

Yuqorida ta‘kidlab o‘tilgan operatsiyalar qo‘shish, ajratish va qayta qo‘shish ko‘p hollarda har qaysisi ochiq zanjirda boshqarish elementi sifatida qaralishi mumkin bo‘lgan turli mantiqiy elementlar va ularning to‘plamlari (uzgich, rele, VA, YOKI, EMAS elementlari va boshqalar) yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Bu elementlarning boshqa turi sifatida dasturiy elementni ishga tushiruvchi qurilmalar va dasturiy elementlarning o‘zidan tashkil topgan dastur datchiklari qaralishi mumkin.

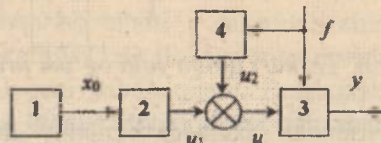
Elementlarning keyingi turi chiziqli o‘zgartirgichlar hisoblanadi. Bunday o‘zgartirgichlarning bir fizik kattalikni boshqa foydalanishga qulay bo‘lgan kattalikka almashirishni amalga oshiradi. Boshqa bir turi



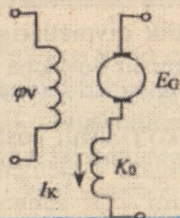
kuchaytirgichlarning kirish va chiqishida son qiymati har xil bo'lgan bir xil fizik kattaliklarga ega. Shuningdek, nochiqliq funksional o'zgartirgichlardan ham foydalaniladi.

Agar g'alayonlantiruvchi ta'sirlar ochiq zanjirda topshirilgan aniqlikda ishlash ketma-ketligini ta'minlab bermaydigan darajada yirik bo'lsa, aniqlikni oshirish maqsadida ayrim hollarda ta'sirni o'lchab, o'lchash natijalariga ko'ra ishlash algoritmini chetlanishga chiqishiga sabab bo'layotgan g'alayonlarni kompensatsiyalash maqsadida zanjir tarkibiga tahrirlovchi elementlarni kiritish mumkin. Boshqarishning bunday prinsipini – **kompensatsiyalash (g'alayon bo'yicha boshqarish) prinsipi** deyiladi.

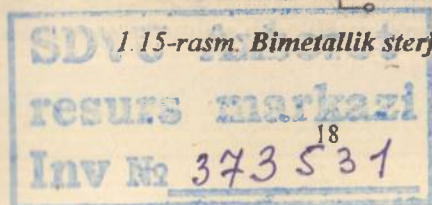
Rostlanayotgan kattalikning chetlanishi faqatgina boshqaruvchi u ta'sirigagina emas, balki g'alayonlantiruvchi ta'sir f ga bog'liq bo'lgani uchun, ya'ni $y = F_1(u, f)$, boshqarishni $y = F_2(f)$ shunday tanlash mumkin, o'rnatilgan tartibda chetlanish bo'lmasin, ya'ni $\Delta y = x_0 - F_1(u, f) = 0$. Bu prinsipning funksional sxemasi 1.14-rasmda ko'rsatilgan. Harorat o'zgariganda mayatnik uzunligini bir xilda ushlab turishni ta'minlab beruvchi xronometr mayatnidagi turli issiqlik kengayish koeffitsiyentiga ega bimetallik sterjenlar tizimi bilan tushuntirish mumkin (1.15-rasm). Agar generator $E_G = k\varphi_v$ elektr yurituvchi kuchi φ_v ga chiziqli bog'liq bo'lsa, unda topshirilgan kuchlanish U_G ni bir xilda ushlab turish uchun generator elektr yurituvchi kuchini o'zgartirish lozim.



1.14-rasm. Kompensatsiyalash (g'alayon bo'yicha boshqarish) prinsipi.

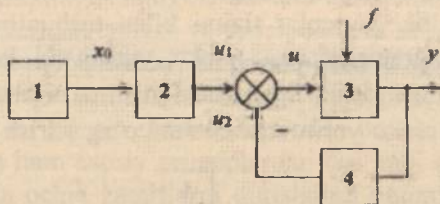


1.15-rasm. Bimetallik sterjenlar tizimi.



1940-yilda G.V. Shipanov boshqarilayotgan kattaliklarni g'alayon ta'sirlardan invariantlikka erishish prinsipini taklif qildi. Shipanov kompensatsiyani ta'sirlardan o'lchamasdan, rostlagichni kompensatsiyaga mos tanlab bunga erishmoqchi edi. U bu tanlashni qanoatlaniruvchi matematik shartlarni oldi, lekin bu shartlarni fizikaviy jihatdan amalga oshirishda qiyinchiliklarga uchradi.

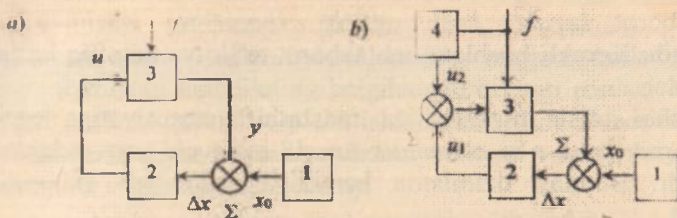
Testkari aloqa yoki og'ish prinsipi. Tizimni shunday qurish ham mumkinki, ishlash ketma-ketligining aniqligi g'alayonlarni o'lchamasdan ham ta'minlansin. 1.16-rasmda korrektlovchi qurilmalar boshqarish ketma-ketligiga 1-13-rasmda keltirilgan koordinatalarning qiymati bo'yicha kiritilgan. Bu maqsadda tizim tuzilishiga y ni o'lchashga mo'ljallangan va boshqarish qurilmasiga korrektlovchi ta'sirlarni ishlab chiqarishga mo'ljallangan elementlarni oluvchi qo'shimcha aloqalarni kiritish mumkin. O'z ichiga sxema berk zanjir ko'rinishiga ega va shu narsa bu prinsipga nom berishda ustuvor poydevor bo'lib xizmat qiladi. Kiritilgan qo'shimcha zanjir *testkari aloqa* zanjiri deb ataladi, bunga asos bo'lib esa ta'sirlarni qo'shimcha aloqa orqali qarama-qarshi boshqarish obyektiga uzatilishi sanaladi.



1.16-rasm. Testkari aloqa yoki og'ish prinsipi.

1.16-rasmda tasvirlangan sxemada umumiy holdagi berk tizim tasvirlangan. Shu sxema asosida ko'pgina o'zgartiruvchi va hisoblab-yechuvchi elementlar quriladi. Boshqarishda esa berk tizimning xususiy ko'rinishi keng tarqalgan. Bu sxemalarda boshqarish ketma-ketligi korreksiyasi bevosita y kattalik qiymatlariga binoan amalga oshiriladi, ularning qiymatlaridan chetlanishi bo'yicha esa, ishlash ketma-ketligi x_0 aniqlanadi, ya'ni $\Delta u = u_1 - u_2$.

Testkari aloqa bilan turli ko'rinishli boshqarishni amalga oshiruvchi sxema 1.17,a - rasmda keltirilgan: \mp element boshqarish ketma-ketligini topshiradi, solishtirish elementi Σ summator esa y ni x_0 dan keltirib chiqaradi, ya'ni chetlanish yoki xatolik deb ataluvchi Δx kattalikni ishlab chiqadi.



1.17-rasm. *Teskari aloqa bilan turli ko‘rinishli boshqarishni amalga oshiruvchi sxemalar.*

Ko‘p hollarda funksiya boshqaruvchi ta’sirlarni ishlab chiqishi emas, balki uning vaqt bo‘yicha hosila va integralini ishlab chiqishi maqsadga muvofiq bo‘ladi:

$$u = F(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \int_0^t \Delta x \dots). \quad (1.1)$$

F funksiya Δx funksiya bilan bir xil ishorali bo‘lmasligi va uning «kamayuvchisi» bo‘lmasligi kerak. Boshqa argumentlarga nisbatan uning qiymati tahlil natijalarida aniqlanadi.

Aytib o‘tilgan F funksiyaga bo‘lgan shartlarga ko‘ra chetlanish funksiyasidagi boshqarish *rostlash* deb ataladi. Bu holatda boshqaruvchi qurilmalar *avtomatik rostlagich* deb nomlanadi. Obyekt 3 va rostlagich 2 (1.17, b-rasm) *avtomatik rostlash tizimi* (ART) deb atalib, berk tizimni tashkil etadi. Boshqarish ta’siri u ni ishlab chiqarayotgan rostlagich boshqarish ketma-ketligi (1.1) ifodaga mos ravishda obyekt chiqishiga nisbatan manfiy aloqani paydo qiladi. Rostlagich orqali paydo bo‘ladigan teskari aloqa asosiy teskari aloqa deb ataladi. Bundan tashqari, rostlagich ichida boshqa mahalliy teskari aloqa mavjud bo‘lishi mumkin.

1.4. Avtomatik boshqarish tizimlarining sinflanishi

ABTLari asosiy sinfiy belgilarga ko‘ra quyidagi turlarga bo‘linadi:

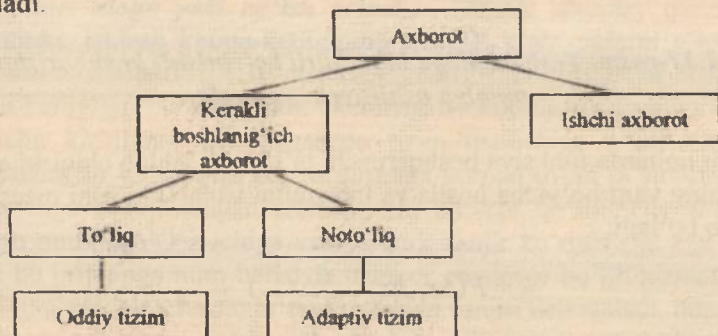
1. Tizim va boshqarish obyekti haqidagi axborotga bog‘liq holda.
2. Tizimning ichki dinamik xususiyatlariga asoslangan holda.

1. Tizim va boshqarish obyekti haqidagi axborotga bog‘liq holda.

Birlamchi manbasi tajribaga asoslangan holda tekshirilayotgan obyekt to‘g‘risidagi har qanday ma’lumotlar majmuasiga *axborot* deyiladi.

Axborot kerakli boshlang'ich axborot va ishchi axborotlarga bo'linadi. Kerakli boshlang'ich axborot to'liq va noto'liq bo'ladi (1.18-rasm).

Tashqi ta'sir o'zgarishiga moslashish xususiyatiga ega bo'lgan tizimlarni o'zini-o'zi avtomatik tarzda sozlovchi yoki adaptiv tizimlar deyiladi. Bunday tizimlarda kerakli boshlang'ich axborot noto'liq bo'ladi.

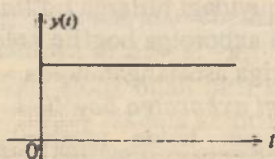


1.18-rasm. Tizim va boshqarish obyekti haqidagi axborotga bog'liq holda sinflanishi.

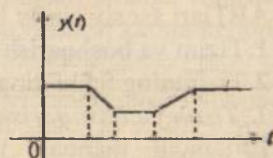
Kerakli boshlang'ich axborot to'liq bo'lgan tizimlar oddiy tizimlar deb ataladi va ular ishlash rejimi bo'yicha quyidagi turlarga bo'linadi (vaqt bo'yicha topshiriq ta'sirining o'zgarish tavsifiga bog'liq holda):

a) *Stabillovchi avtomatik rostlash tizimlari (stabillash tirish tizimi).* Bunda rostlanuvchi kattalikning qiymati doimiy bo'ladi. Bu tizimlarda avtomatik rostlagichlarning vazifasi rostlanuvchi kattalikning muayyan, mutlaqo doimiy qiymatida saqlash va texnologik jarayonni stabillashdir. Bu holda texnologik reglament talablariga ko'ra rostlanuvchi kattalikning qiymati doimiy bo'ladi (1.19-rasm)

$$x(t) \approx x_m(t) = \text{const.}$$



1.19-rasm. Stabillashgan avtomatik boshqarish tizimi.



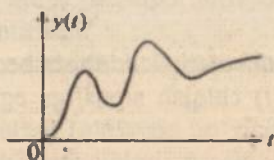
1.20-rasm. Programmali avtomatik tizim.

b) *Programmali avtomatik rostdash tizimlari.* Programmali avtomatik rostdash tizimlarida oldindan ma'lum bo'lgan qonunga ko'ra o'zgaradigan qiymatli rostlanuvchi kattalik mavjud bo'ladi. Bu tizimlarda rostlanuvchi kattalikning belgilangan qiymati rostlagich topshirig'i orqali ma'lum qonun bo'yicha ishlab chiqariladi. Bunda ishlab algoritmi boshqariladigan kattalik oldindan berilgan vaqt funksiyasiga $f(t)$ mos ravishda o'zgaradi (1.20-rasm):

$$x(t) \approx x_m(t) = f_n(t).$$

d) *Kuzatuvchi avtomatik rostdash tizimlari.* Bu tizimlarda boshqarilayotgan kattalikning berilgan qiymati juda keng chegarada ixtiyoriy qonun bo'yicha o'zgarishi mumkin (1.21-rasm), masalan, radiolakator antenna

$$x(t) \approx x_m(t) = f_k(t).$$



1.21-rasm. Kuzatuvchi avtomatik tizim.

Kuzatuvchi tizimlardan odatda fazoda obyektlarni joylashtirishda masofadan turib boshqarish uchun foydalaniladi.

2. Tizimning ichki dinamik xususiyatiga asoslangan turlari.

Bunday tizimlar quyidagi turlarga bo'linadi:

- a) chiziqli va nochiziqli tizimlar;
- b) statsionar va nostatsionar tizimlar;
- d) uzluksiz va uzlukli (diskret) tizimlar;
- e) to'plangan va taqsimlangan parametrlil tizimlar;
- f) bir konturli va ko'p konturli tizimlar.
- g) bir o'lchamli va ko'p o'lchamli tizimlar va h.k.

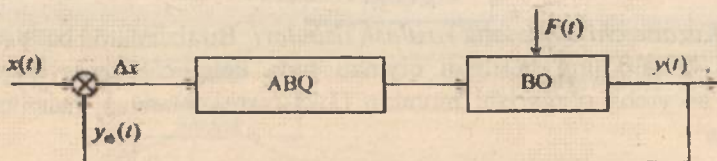
Ustlash (superpozitsiya) usulini qo'llash mumkin bo'lgan tizimlar *chiziqli tizimlar* deyiladi. Chiziqli tizimlarda chiqishdagi kattalikning o'zgarishi kirishdagi kattalikning o'zgarishiga proporsional holatda o'zgaradi.

Tarkibida hech bo'lmaganda bitta nochiziqli element yoki nochiziqli tenglamasi bo'lgan tizimlarga *nochiziqli tizimlar* deyiladi.

Agar tizim elementlarining parametrlari vaqt mobaynida o'zgarmasa, bunday tizimlarga *statsionar tizim* deyiladi.

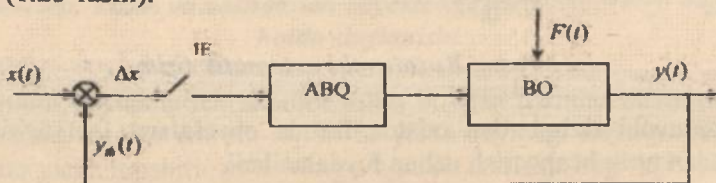
Parametrlar vaqtga bog'liq bo'lmagan tizimlarga *nostatsionar tizim* deb aytiladi.

ABTLarining barcha zvenolari vaqt bo'yicha uzluksiz kirish signaliga mos ravishda chiqish signallari ham uzluksiz bo'lsa, bunday tizimlarni *uzluksiz tizimlar* deyiladi (1.22-rasm).



1.22-rasm. *Uzluksiz tizim.*

Uzluqli yoki diskret tizimlar deb – tarkibida hech bo'lmaganda bitta zveno diskret (yoki impulsli) chiqish signaliga ega bo'lgan ABTLarga aytiladi (1.23-rasm).



1.23-rasm. *Uzluqli yoki diskret tizim: IE – impulsli element.*

Agar tizim elementlarining xossalari boshqarish obyektining fazoviy koordinatalariga bog'liq holda o'zgarsa, *taqsimlangan*, fazoviy koordinatalarga bog'liq bo'lmasa *to'plangan parametrlil tizimlar* deyiladi.

Bir konturli tizimlar deb tarkibida faqat bitta asosiy teskari bog'lanishi mavjud bo'lgan ABTLarga aytiladi.

Ko'p konturli tizimlar deb tarkibida faqat bitta asosiy teskari bog'lanishdan tashqari mahalliy teskari bog'lanishlari ham mavjud bo'lgan ABTLarga aytiladi.

Tarkibida bitta boshqaruvchi va bitta boshqariluvchi kattalikka ega bo'lgan ABTLarga *bir o'lchamli tizimlar* deyiladi. Yoki boshqacha qilib aytganda, bitta kirish va bitta chiqish parametriga ega bo'lgan ABTLarga *bir o'lchamli tizimlar* deyiladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. ABN qanday fanlar qatoriga kiradi?
2. ABNning uslubiyot asoslarini nimalar tashkil etadi?
3. Sanoatda qo'llanilishi mumkin bo'lgan eng birinchi avtomatik rostlagichlar qachon va kimlar tomonidan yaratilgan?
4. Ushbu fanni rivojlanishiga o'zlarini hissalarini qo'shgan Yevropa va o'zbekistonlik olimlardan kimlarni bilasiz?
5. Avtomatik va avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarini tushuntiring va ular orasidagi farqni ayting.
6. Avtomatik boshqarish tizimi deb nimaga aytiladi?
7. Ta'sir, g'alayon, signal, obyekt, qurilma kabi iboralarni tushuntiring.
8. Avtomatik boshqarish tizimlarida qanday sxemalardan foydalaniladi va ularni tushuntiring?
9. Boshqarishning fundamental prinsiplariga qanday boshqarish prinsiplari kiradi?
10. Kompensatsiyalash (g'alayon bo'yicha boshqarish) prinsipi bilan teskari aloqa (og'ish) prinsiplari orasida qanday farq bor? Ochiq boshqarish prinsipi bilan-chi?
11. Avtomatik boshqarish tizimlar asosiy sinfiy belgilariga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?
12. Oddiy va adaptiv tizim deb nimaga aytiladi?
13. Oddiy tizimlarning ishlash rejimi bo'yicha topshiriq ta'sirining o'zgarish tavsifiga bog'liq holda qanday turlarga bo'lish mumkin?
14. Tizimning ichki dinamik xususiyatiga asoslangan turlarini aytib bering.

Test savollari

1. Birinchi sanoat rostlagichi nechanchi yilda va kim tomonidan kashf qilingan?

- A) 1765-yil rus mexanigi I.I. Polzunov tomonidan.
- B) 1784-yil ingliz mexanigi J.Uatt tomonidan.
- D) 1876-yil rus olimi va muhandisi A.I. Vishnegradskiy tomonidan.
- E) 1866-yil ingliz matematik-mexanigi D.Maksvell tomonidan.

2. Bug' mashinasi valining aylanish tezligini rostlovchi avtomatik qurilma kim tomonidan va qachon yaratilgan?

- A) Rus mexanigi I.I. Polzunov tomonidan 1765-yilda.
- B) Ingliz mexanigi J.Uatt tomonidan 1784-yilda.
- D) Rus olimi va muhandisi A.I. Vishnegradskiy tomonidan 1876-yilda.
- E) Ingliz matematik-mexanigi D.Maksvell tomonidan 1866-yilda.

3. Rostlagichlar tavsifining umumiy qonuniyatlari, ya'ni "rostlagichlar haqida"gi birinchi asar kimlar tomonidan bayon etilgan?

- A) D.Maksvell va A.I. Vishnegradskiylar.
- B) A.M. Lyapunov va N.E. Jukovskiylar.
- D) R. Bellman va R. Kalmanlar.
- E) I.I. Polzunov va J. Uattlar.

4. "Maksimum prinsipi" kim tomonidan ishlab chiqilgan?

- A) A.S. Pontryagin.
- B) A.I. Vishnegradskiy.
- C) R. Bellman.
- D) A.M. Lyapunov.

5. Avtomatik boshqarish tizimi deb qanday tizimlarga aytiladi?

- A) Inson ishtirokisiz asosiy jarayonni amalga oshiradigan.
- B) Boshqarish obyektini nazorat qilish vazifasini bajaradigan.
- D) Mashina va inson orasida boshqarish funksiyasi teng bo'lingan.
- E) Sifatli boshqarishni amalga oshirish.

6. Adaptiv tizim deb nimaga aytiladi?

- A) Tashqi ta'sir o'zgarishiga moslashish xususiyatiga ega bo'lgan tizimlarni.

- B) Kerakli boshlang'ich axborot to'liq bo'lgan tizimlarni.
- D) Boshqarilayotgan kattalikning berilgan qiymati juda keng chegarada ixtiyoriy qonun bo'yicha o'zgaruvchi tizimlarni.
- E) Oldindan ma'lum bo'lgan qonunga ko'ra o'zgaradigan tizimlarni.

7. Kuzatuvchi avtomatik rostdash tizimi deb nimaga aytiladi?

- A) Tashqi ta'sir o'zgarishiga moslashish xususiyatiga ega bo'lgan tizimlarni.
- B) Kerakli boshlang'ich axborot to'liq bo'lgan tizimlarni.
- D) Boshqarilayotgan kattalikning berilgan qiymati juda keng chegarada ixtiyoriy qonun bo'yicha o'zgaruvchi tizimlarni.
- E) Oldindan ma'lum bo'lgan qonunga ko'ra o'zgaradigan tizimlarni.

8. Chiziqli tizimi deb nimaga aytiladi?

- A) Ustlash (superpozitsiya) usulini qo'llash mumkin bo'lgan tizimlarga.
- B) Kerakli boshlang'ich axborot to'liq bo'lgan tizimga.
- D) Tarkibida bitta boshqaruvchi va bitta boshqariluvchi kattalikka ega bo'lgan tizimga.
- E) Tizim elementlarining parametrlari vaqt mobaynida o'zgarmaydigan tizimga.

9. Statsionar tizimi deb nimaga aytiladi?

- A) Tizim elementlarining parametrlari vaqt mobaynida o'zgarmasa.
- B) Kerakli boshlang'ich axborot to'liq bo'lsa.
- D) Boshqarilayotgan kattalikning berilgan qiymati juda keng chegarada ixtiyoriy qonun bo'yicha o'zgarsa.
- E) Oldindan ma'lum bo'lgan qonunga ko'ra o'zgarsa.

10. Bir o'lchamli tizim deb nimaga aytiladi?

- A) Ustlash (superpozitsiya) usulini qo'llash mumkin bo'lgan tizimlarga.
- B) Kerakli boshlang'ich axborot to'liq bo'lgan tizimga.
- D) Tarkibida bitta boshqaruvchi va bitta boshqariluvchi kattalikka ega bo'lgan tizimga yoki bitta kirish va bitta chiqish parametriga ega bo'lgan tizim.
- E) Tizim elementlarining parametrlari vaqt mobaynida o'zgarmaydigan tizimga.

11. Qaysi tizimda rostlanuvchi kattalik o'zgarmas qiymatda saqlanadi?

- A) Kuzatuvchi.
- B) Dasturli.
- D) Rostlash.
- E) Adaptiv.

12. Og'ish va g'alayonli ta'sirlar bo'yicha boshqarish prinsipi qanday tizimda tadbiq qilinadi?

- A) Kombinirlashgan.
- B) G'alayonli ta'sirlar bo'yicha.
- D) Berk.
- E) Ochiq.

13. Yumshoq (gibkiy) teskari bog'lanish nima?

- A) Muvozanat rejimdagi tizimning teskari bog'lanishi.
- B) Signallar yig'indisini hosil qilishda ishlatiladigan teskari bog'lanish.
- D) Dinamik rejimdagi tizimning teskari bog'lanishi.
- E) Signallar ayirmasini hosil qilishda ishlatiladigan teskari bog'lanish.

II BOB. AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING MATEMATIK IFODASI

Tayanch soʻzlar va iboralar: statik tenglama, dinamik tenglama, statik va dinamik modellar, chiziqlantirish, oʻrtacha qiymatini olish usuli, kichik ogʻish usuli, tipik kirish signallari, pogʻonali signal, impulsli signal, garmonik signal, Laplas almashtirishi, uzatish funksiyasi, vaqt xarakteristikalar, oʻtkinchi xarakteristika, impulsli oʻtkinchi xarakteristika, chastotaviy xarakteristikalar, amplituda-fazali xarakteristika, logarifmik chastotaviy xarakteristikalar, elementar zvenolar, kuchaytiruvchi (proporsional) zveno, birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno, integrallovchi zveno, differensiallovchi zveno, tebranuvchi zveno, tezlatuvchi zveno, kechikuvchi zveno, stukturali sxemalar, vektromatritsali shakl, Koshi tenglamasi, fazo holati, holat oʻzgaruvchilari sxemalari, dasturlash usullari, oʻtish matrisasi.

Matematikaning til va usullarini joriy etish bilan ABTni hisoblash va loyihalash masalalarini samarali yechimi hamda tizimda sodir boʻladigan jarayonlarni chuqur tahlil etish imkoni boʻladi. Shuningdek, ABTlarini tadqiq etish yoki loyihalashda birinchi navbatda butun tizimning elementlarining matematik tenglamasi (matematik modeli) tuzib olinadi [11, 14, 20].

Matematik tenglamani tuzish quyidagi bajariladigan ish tartibi ketma-ketligidan iborat:

- dastlabki farazni qabul qilish;
- kirish va chiqish oʻzgaruvchilarini tanlash;
- har bir oʻzgaruvchi uchun sanash tizimini tanlash;
- energiya yoki kattalikning oʻzgartirish qonuniyatini matematik shaklda aks ettirilgan fizik usullarini joriy etish.

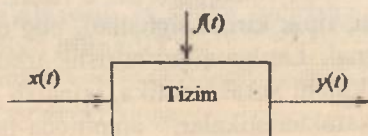
Soʻnggi vaqtlarda boshqarish nazariyasida tizimning odatdagidek differensial tenglamalardan koʻra uzatish xossasi shaklida ifodalangan tenglamalari keng tarqalgan.

2.1. Statik va dinamik modellar

Avtomatik rostdash tizimlarining statik va dinamik xossalari tizimdagi tarkibiy elementlarning tavsiflari orqali aniqlanadi.

Element yoki tizimning statik tavsifi deb o'atilgan rejimda jarayonning chiqish va kirish parametrlari nisbatiga aytiladi. Ushbu nisbat analitik yoki grafoanalitik usul bilan ifodalanadi va hisoblash yoki tajriba usullari bilan aniqlanadi [14,18].

Umumiy holda zveno va tizimlar ixtiyoriy tartibdagi *nochiziqli differensial tenglamalar* bilan ifodalanadi.



2.1-rasm. Tizim yoki zveno.

ABTlari statik (barqaror) rejimda ishlaganda:

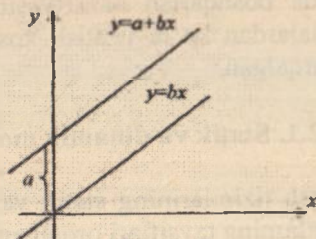
– obyektga kiruvchi modda yoki energiya miqdori, undan chiqadigan modda yoki energiya miqdoriga teng bo'lishi kerak, $x(t) = y(t)$;

– rostlanuvchi yoki boshqaruvchi parametr vaqt davomida o'zgarmas bo'lishi kerak, ya'ni $y(t) = const$;

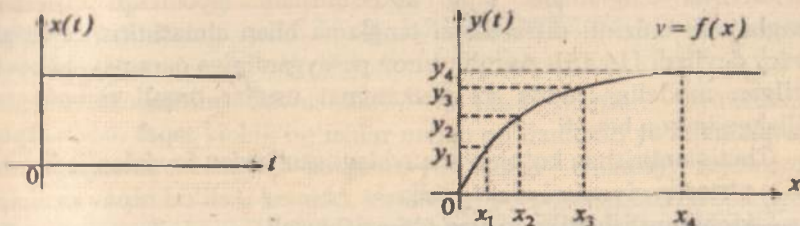
– ABTning rostlash organi harakatsiz turishi kerak.

Statik rejimda kirish kattaligi bilan chiqish kattaligi grafik ko'rinishda yoki ma'lum algebraik tenglama ko'rinishida berilishi mumkin. Agar chiqish kattaligi kirish kattaligi bilan chiziqli bog'langan bo'lsa, shu bog'lanishni ifodalovchi tenglama *to'g'ri chiziqli tenglama* deyiladi, ya'ni $y = a + bx$, $y = bx$ (2.2-rasm). Tizimning turg'un holatini ifodalovchi tenglamaga *statik tenglama* deyiladi.

Tizimning asosiy ish rejimi bu dinamik rejim hisoblanadi. Chunki bu rejimda tizimga har xil signallar ta'sir etib, tizim harakatda bo'ladi va bu harakat differensial tenglama orqali ifodalanadi.



2.2-rasm. To'g'ri chiziqli xarakteristikalar.



2.3-rasm. Tizimning dinamik xarakteristikasi.

Tizimning dinamik holatini, ya'ni o'tkinchi jarayon holatini ifodalovchi tenglamaga *dinamik tenglama* deyiladi.

Demak, dinamik rejimni ifoda etuvchi differensial tenglama shu holatning o'zini, harakat tezligini hamda harakatning tezlanishini ifoda etadi.

$$F(y, \dot{y}, \ddot{y}, x, \dot{x}) + f = 0, \quad (2.1)$$

bunda, x, f – kirish kattaligi; y – chiqish kattaligi, \dot{y}, \ddot{y} – vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosilasi, \ddot{y} – vaqt bo'yicha ikkinchi tartibli hosilasi. (2.1) tenglama dinamik rejimning tenglamasi deyiladi.

Statik rejimda esa, $y = \text{const}$; $x = \text{const}$ bo'ladi. Unda (2.1) tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$F(y; 0; 0; x; 0) + f = 0. \quad (2.2)$$

(2.2) tenglama statik (o'rnatilgan) rejimni ifoda etadi va *statik tenglama* deyiladi.

Statik xarakteristika – bu statik rejimda (vaqt bo'yicha doimiy x ta'siri va f g'alayonlar hamda boshqariluvchi kattalik quyidagicha bog'langan $Y = F(x, f)$) chiqish kattaligini kirish kattaligiga bog'liqligi.

2.2. Chiziqlantirish

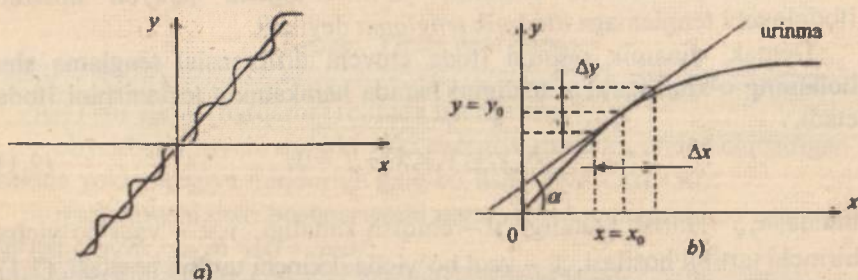
Real sharoitlarda ABTlarni elementlari egri chizikli xarakterga ega bo'lganligi, ya'ni elementlardagi jarayonlar nochizikli differensial tenglama bilan ifodalanganligi uchun ularni tahlil qilish qiyinchilik tug'diradi. Nochizikli differensial tenglamalarning umumiy yechimi bo'lmaganligi sababli bu elementlarning xarakteristikalarini chizikli

differensial tenglamalar bilan almashiriladi. Nochiziqli differensial tenglamani chiziqli differensial tenglama bilan almashtirish *chiziqlantirish* deyiladi [14, 15]. Aniqlik biroz pasayganligiga qaramay, chiziqlantirilgan modellar sodda va mukammal usullar orqali tizimni tahlil qilishga imkon beradi.

Chiziqlantirishda ko'pincha quyidagi usullardan foydalaniladi:

- o'rtacha qiymatni olish usuli;
- kichik og'ish yoki urinma o'tkazish usuli.

1. Agar egri chiziqli xarakteristika 2.4a-rasm ko'rinishda bo'lsa, o'rtacha qiymatni olish usuli qo'llaniladi.



2.4-rasm. O'rtacha qiymatni olish usuli (a) va kichik og'ish yoki urinma o'tkazish usuli (b) tavsiflari.

2. *Kichik og'ish usuli.* Bu usulda elementning statik xarakteristikasi $y = f(x)$ kirish signalining ma'lum x_0 qiymatida Teylor qatoriga yoyiladi (2.4b-rasm).

$$y = y_0 + \frac{dy}{dx} \Delta x + \frac{d^2 y}{dx^2} \Delta x^2 + \frac{d^3 y}{dx^3} \Delta x^3 + \dots$$

Agar $\Delta x \rightarrow 0$ ikkinchi va uchinchi tartibli tenglamalar nolga teng bo'lib, tenglama

$$y = y_0 + \frac{dy}{dx} \Delta x,$$

ko'rinishda bo'lib qoladi, u holda

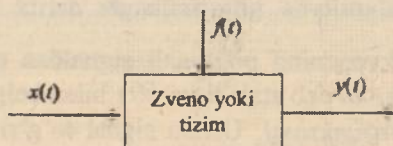
$$\Delta y = y - y_0 = \frac{dy}{dx} \Delta x; \Delta y = \alpha \cdot \Delta x.$$

Chiziqlantirishning bu usullarini qo'llash shartlari: birinchidan, chiziqlantirish faqat kichik og'ishlar uchun qo'llaniladi, ya'ni chiziqlantirish natijasida olingan natijalar tizimdagi shunday rejimlarda tadqiqotga yaqin bo'lishi kerakki, kirishdagi holat kattaliklari o'rnatilgan qiymatdan yetarli darajada kichik og'ishga ega bo'lishi kerak. Qisqacha qilib aytganda $\Delta x, \Delta y$ - juda kichik bo'lishi kerak; ikkinchidan, chiziqlantirish faqat uzluksiz differensiallanuvchi (ya'ni $y = f(x)$ - funksiya uzluksiz funksiya bo'lgan) nochiziqlilarga qo'llanilishi mumkin.

2.3. Avtomatik boshqarish tizimlarining asosiy (tipik) kirish signallari

Avtomatik tizimlar va ularning elementlarini tajribaviy va nazariy tadqiq etishda standart signallar, ya'ni *tipik kirish signallaridan* foydalaniladi. Bu signallar oddiy matematik funksiyalar bilan ifodalanadi va tizimga tatbiq etishni osonlashtiradi [4,14].

Tizimda borayotgan jarayonni o'rganish uchun uni ifoda etuvchi differensial tenglamaning yechimini yoki bu tenglamani qandaydir yo'l bilan topish kerak bo'ladi. Buning uchun kirish signali vaqtga bog'liq bo'lishi shart. ABTlarida $x(t)$ va $f(t)$ signallarini kirish signallari deyiladi, $y(t)$ ni chiqish signali yoki kirish signalidan olingan reaksiya deb ataladi (2.5-rasm).



2.5-rasm. Zveno yoki tizim.

Tizimning dinamik xususiyatlarini aniqlashtirishda quyidagi tipik kirish signallardan foydalaniladi:

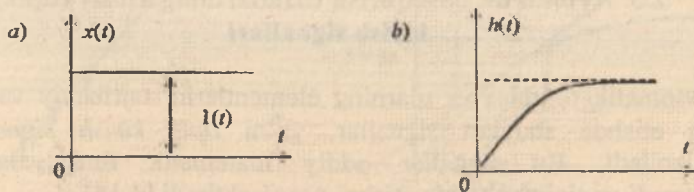
Pog'onali signal yoki pog'onali funksiya. Ushbu ta'sir juda tez (only) noldan bir necha qiymatga o'sadi va shu qiymatda doimiy qoladi. Matematik ifodasi quyidagicha: $x(t) = A \cdot 1(t)$.

Pog'onali signal quyidagi funksiya bilan ifodalanadi:

$$x_p(t) = \begin{cases} 0, & \text{agar } t < 0; \\ a_0, & \text{agar } t \geq 0. \end{cases}$$

Tizimni tahlil qilish va hisoblashda kirish signalini $a_0 = 1$ deb foydalanish qulay hisoblanadi. Unda ushbu signalni *birlik pog'onali signal* deb ataymiz va $1(t)$ belgilaymiz.

Pog'onali signaldan tizimlarni stabillashtirishda sinov va hisoblash signallari sifatida ko'p foydalaniladi. Ushbu signalning xarakteristikalarini quyidagi 2.6a-rasmida keltirilgan.



2.6-rasm. Birlik pog'onali signal (a) va undan olingan o'tish (b) xarakteristikasi.

Misol sifatida o'zgarmas tokni ulashni keltirish mumkin. Pog'onali signalning Laplas tasviri quyidagicha bo'ladi:

$$L\{A \cdot 1(t)\} = A \frac{1}{p}.$$

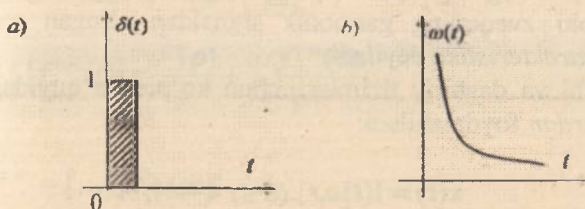
Tizimga yoki zvenoning pog'onali signaldan olingan reaksiyasiga *o'tkinchi xarakteristika* deb ataladi va $h(t)$ bilan belgilanadi (2.6b-rasm).

Impulsli signal (funksiya). Ushbu signal to'g'ri burchak shaklidagi birlik impulsni o'zida aks ettirgan bo'lib, yetarli darajada baland va davomiyligi juda kichik. Bunday signallarning yuzasi a_0 ga teng bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda amplitudasi 0 da ∞ ga teng bo'lib, davomiyligi cheksiz kichik bo'lgan funksiya.

Avtomatik tizimlarni matematik tahlil qilishda

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & \text{agar } t \neq 0; \\ \infty, & \text{agar } t = 0. \end{cases}$$

bu yerda $\int_0^{\infty} \delta(t) dt = 1$, tenglama bilan ifodalanadigan *delta-funksiya* deb nomlanuvchi *birlik pog'onali impuls signallardan* foydalaniladi. Ushbu signalning xarakteristiklari quyidagi 2.7-rasmda keltirilgan.



2.7-rasm. Impulsi signal (a) va undan olingan impulsli o'tkinchi (vazn) (b) xarakteristikasi.

Impulsi signalning Laplas tasviri birga teng, ya'ni $L\{\delta(t)\} = 1$.

Tizim yoki zvenoning birlik impulsli funksiyadan olingan reaksiyaga *impulsi o'tkinchi xarakteristika* yoki *vazn funksiyasi* deyiladi va $\omega(t)$ bilan belgilanadi (2.7b-rasm).

Garmonik (sinusoidal) signal (funktsiya).

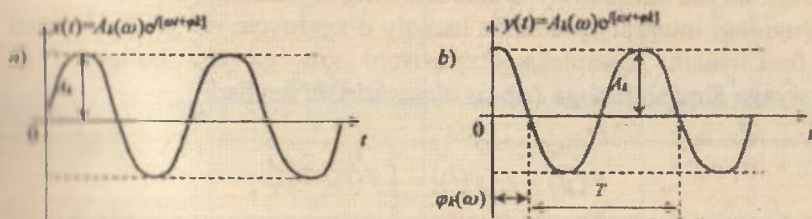
Bu signal haqiqiy yoki kompleks ko'rinishda bo'lishi mumkin

$$x(t) = A_k(\omega) \sin(\omega t + \varphi_k(\omega));$$

$$x(t) = A_k(\omega) \cos(\omega t + \varphi_k(\omega)).$$

$$\hat{x}(t) = A_k(\omega) [\cos(\omega t + \varphi_k) + j \sin(\omega t + \varphi_k)] = A_k(\omega) e^{j(\omega t + \varphi_k)} - \text{kompleks ko'rinishi.}$$

bu yerda, $A_k(\omega)$ – kirish signallarining amplitudasi; $\varphi_k(\omega)$ – kirish signalining fazasi; ω – chastotasi, $\omega = \frac{2\pi}{T}$; T – davr, $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (2.8-rasm).



2.8-rasm. Garmonik signal (a) va undan olingan chastotaviy xarakteristika.

Bir o'lichamli chiziqli stasionar tizimning kirishiga $x(t) = A_k(\omega)e^{j(\omega t + \varphi_k(\omega))}$ signal ta'siri berilganda uning chiqishidagi majburiy tebranishlari kirish signalining tebranishlari chastotasiga teng chastota bilan tebranish hosil qiladi. Lekin chiqish tebranishlari amplitudasi $A_{ch}(\omega)$ va fazasi $\varphi_{ch}(\omega)$ kirish tebranishlari amplitudasi va fazasidan farqli bo'lgan garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi.

Tizim yoki zvenoning garmonik signaldan olingan reaksiyasiga *chastotaviy xarakteristika* deyiladi.

Kuzatuvchi va dasturiy tizimlar uchun ko'pincha quyidagi *chiziqli tipik signallardan* foydalaniladi:

$$x(t) = I(t)a_1 t, \quad (0 \leq t < -\infty),$$

bu yerda a_1 ko'effitsiyent $x(t)$ signalning o'sish tezligini tavsiflaydi.

2.4. Laplas almashtirishi va uning xossalari

Chiziqli differensial tenglamalarni yechimini olish maqsadida samarali va bevosita yetakchi bo'lgan tabiiy matematik tahlilning operatsion hisoblash usullaridan foydalaniladi.

Laplas almashtirishi haqiqiy o'zgaruvchili funksiyani (shu jumladan vaqt funksiyasi) kompleks o'zgaruvchili funksiyaga o'zgartiriladi. Laplas almashtirishi differensial va integral tenglamalar o'miga algebraik tenglamalardan foydalanishga imkon beradi, ya'ni differensiallash va integrallash operatsiyalari ko'paytirish va bo'lish operatsiyalari bilan almashtiriladi [18,20]. Bundan tashqari, differensial tenglamalarning operator shaklida yozilishi vaqt sohasidan chastota sohasiga o'tishni yengillashtiradi. Avtomatik rostdash tizimlarini hisoblashda esa chastotaviy usullardan keng foydalaniladi.

Quyidagi integral yordamida haqiqiy o'zgaruvchi « t » ga ega bo'lgan $f(t)$ funksiyasini kompleks o'zgaruvchi « p » ga ega bo'lgan $F(p)$ funksiyaga almashtirishga *Laplas almashtirishi* deyiladi

$$F(p) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dp,$$

bu yerda $f(t)$ – original, $F(p)$ – tasvir, p – kompleks o'zgaruvchi.

Chiziqlilik xossasi.

$$L\{f_1(t) + f_2(t)\} = F_1(p) + F_2(p),$$

$$L\{kf(t)\} = kF(p).$$

Originalni differensiallash va integrallash xossasi

$$L\{f^{(n)}(t)\} = p^n F(p) - \sum_{i=1}^n p^{n-i} f^{(i-1)}(0),$$

$$L\{f^{(-n)}(t)\} = \frac{F(p)}{p^n} + \sum_{i=1}^n \frac{f^{(i-n)}(0)}{p^{n+i}},$$

bu yerda $f^{(-n)} = \int \dots \int f(t) dt^n$.

Laplas teskari almashtirishi.

$$f(t) = L^{-1}\{F(p)\} = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(p) e^{pt} dp.$$

bu yerda L^{-1} – Laplas teskari almashtirishi.

2.1-jadval

$f(t)$ ning originali	$F(p)$ ning tasviri	$f(t)$ ning originali	$F(p)$ ning tasviri
1(t)	$\frac{1}{p}$	$\cos \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
t	$\frac{1}{p^2}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1}$	$\frac{1}{p^n}$
t ⁿ	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	$\frac{1}{\omega} \text{sh } \omega t$	$\frac{1}{p^2 + \omega^2}$
e ^{-at}	$\frac{1}{p + \alpha}$	ch ωt	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
t e ^{-at}	$\frac{1}{(p + \alpha)^2}$	e ^{-at} sin ωt	$\frac{\omega}{(p + \alpha)^2 + \omega^2}$
sin ωt	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	e ^{-at} cos ωt	$\frac{p + \alpha}{(p + \alpha)^2 + \omega^2}$

Differensial yoki integral tenglamalarni operatsion hisoblash yordamida yechishdan maqsad – algoritmi moddiy o'zgaruvchi funksiyani kompleks o'zgaruvchili funksiyaga almashtirish, kompleks o'zgaruvchili sohada yechimlarni izlash va nihoyat teskari, ya'ni topilgan yechimni kompleks o'zgaruvchili sohadan moddiy o'zgaruvchili sohaga almash-tirishdan iborat.

Amalda ishni osonlashtirish maqsadida har safar Laplas almashtirish operatsiyasini bajarmay, ko'p uchraydigan funksiyalarning tasvir va originallari hisoblangan jadvaldan foydalanish ancha qulay (2.1-jadval).

Keltirilgan jadvaldan teskari tartibda, ya'ni ma'lum $F(p)$ tasvir bo'yicha tegishli $f(t)$ originalni topish uchun foydalanish ham mumkin.

2.5. Uzatish funksiyasi

ABTlarni kirish va chiqish kattaliklari orasida o'zaro o'rnatilgan aloqasini quyidagi differensial tenglama ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = \\ = b_0 \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x(t) + c_0 f(t), \end{aligned} \quad (2.3)$$

bu yerda $x(t)$, $f(t)$ – elementning kirish kattaliklari; $y(t)$ – elementning chiqish kattaligi; a_i , b_i – tenglamaning koeffitsiyentlari.

(2.3) tenglamani operator formada yozishimiz mumkin. Ushbu formada yozish uchun differensiallash operatsiyasini o'rniga qisqartirilgan

shartli belgilash kiritamiz: $\frac{d}{dt} = p$. Mos ravishda k -chi tartibli hosila

$\frac{d^k}{dt^k} = p^k$ belgilanadi. Unda (2.3) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin [12,14,18]:

$$\begin{aligned} a_0 p^n y(t) + a_1 p^{n-1} y(t) + \dots + a_n y(t) = \\ = b_0 p^m x(t) + b_1 p^{m-1} x(t) + \dots + b_m x(t) + c_0 f(t) \end{aligned} \quad (2.4)$$

yoki

$$\begin{aligned} (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) y(t) = \\ = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) x(t) + c_0 f(t). \end{aligned} \quad (2.5)$$

(2.5) tenglamaga quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n. \quad (2.6)$$

(2.6) tenglama chiqish kattaligining differensiallash operatori *xususiy* yoki *xarakteristik operator* deb nomlanadi. Elementning xususiy harakati, ya'ni tashqi ta'sirlar bo'lmagandagi harakati ko'phadni tavsiflovchi uchun uni shartli nomlanadi [12,18].

$$K_1(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m, \quad K_2(p) = c_0. \quad (2.7)$$

(2.7) tenglama kirish kattaligining differensiallash operatorlari *kirish*, *g'alayon operatorlari* deb nomlanadi.

Unda (2.5) tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$D(p)y(t) = K_1(p)x(t) + K_2(p)f(t). \quad (2.8)$$

Differensial tenglamani boshqacha tatbiq qilingan formada yozish Laplas almashtirishini qo'llashga asoslangan. Differensial tenglamaga Laplas almashtirishini qo'llashda tashqi ta'sir bo'lgunga qadar tizim tinch holatda deb hisoblanadi va barcha boshlang'ich shartlar nolga teng bo'ladi,

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n)y(p) = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m)x(p).$$

Uzatish funksiyasi $W(p)$ deb – boshlang'ich shartlari nol bo'lganida chiqish signalining Laplas tasvirini kirish signalining Laplas tasviri signali nisbatiga aytiladi.

$$W(p) = \left. \frac{y(p)}{x(p)} \right|_{t=0} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n}. \quad (2.9)$$

yoki

$$W(p) = \frac{K(p)}{D(p)},$$

bu yerda $K(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m$ - m darajali ko'phad;

$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n$ - n darajali ko'phad.

Odatdagi differensial tenglamalar bilan yoziluvchi real elementlar uchun (2.9) tenglama suratidagi ko'phad darajasi maxrajidagi ko'phad darajasidan kichik yoki teng bo'lishi kerak, ya'ni $m \leq n$ shart bajarilishi kerak. Uzatish funksiyasining barcha koeffitsiyentlari – element parametrlarini tavsiflovchi haqiqiy sonlardir.

Tartibi yuqori bo'lmagan ($n < 3$) uzatish funksiyasi bilan yoziluvchi elementlar uchun *standart formada* uzatish funksiyasini yozish qabul qilingan. Shuning uchun uzatish funksiyasi shunday yoziladiki, maxrajining erkin hadlari a_n birga teng bo'lsin [12,18,20]. Suratining erkin hadlari b_n uzatish koeffitsiyentiga teng bo'ladi va uni qovusdan tashqariga chiqaziladi

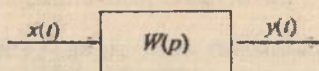
$$W(p) = \frac{k(b_0^* p^n + b_1^* p^{n-1} + \dots + b_{n-1}^* p + 1)}{a_0^* p^n + a_1^* p^{n-1} + \dots + a_{n-1}^* p + 1}, \text{ bu yerda } k = \frac{b_n}{a_n}.$$

Uzatish funksiyasi bir necha kompleks o'zgaruvchi $p = \alpha \pm j\beta$ funksiya hisoblanadi. O'zgaruvchi p ning qiymatlari uzatish funksiyasi nolga aylansa, *nollari* deyiladi, cheksizga aylansa uzatish funksiyasining *qutblari* deyiladi. Boshqacha qilib aytganda, uzatish funksiyasining sur'at ildizlari uzatish funksiyasining *nollari*, maxraj ildizlari esa uzatish funksiyasining *qutblari* deyiladi.

(2.9) tenglamaga muvofiq zveno yoki tizimning chiqish signalini quyidagicha yozish mumkin:

$$y(p) = W(p) \cdot x(p). \quad (2.10)$$

Endi zveno yoki tizimning uzatish $W(p)$ funksiyasi bilan o'tkinchi funksiyasi $h(t)$ hamda impulsli o'tkinchi funksiyasi $\omega(t)$ orasidagi bog'lanishni ko'rib chiqamiz (2.9-rasm).



2.9-rasm.

a) Agar kirish signali $x(t) = 1(t)$ bo'lsa, unda uning Laplas tasviri $x(p) = \frac{1}{p}$ bo'ladi. (2.10) formulaga muvofiq chiqish signalining Laplas

tasviri $y(p) = W(p) \cdot \frac{1}{p}$ ga teng bo'ladi. Bundan originalga o'tsak

$$y(t) = h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \cdot \frac{1}{p} \right\} \text{ bo'ladi.}$$

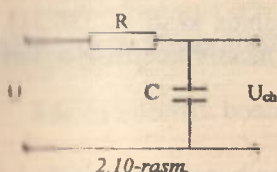
Demak, o'tkinchi funksiya $h(t)$ bilan uzatish funksiyasi $W(p)$ bir ma'noli bog'langan ekan.

b) Agar $x(t) = \delta(t)$ bo'lsa, unda $x(p) = 1$ bo'ladi. (2.10) formulaga muvofiq chiqish signalining Laplas tasviri $y(p) = W(p)$ bo'lib, uning originali impulsli o'tkinchi funksiyasi bo'ladi, ya'ni $y(t) = \omega(t) = L^{-1}\{W(p)\}$.

Demak, impulsli o'tkinchi funksiya $\omega(t)$ uzatish funksiyasining originali ekan.

Endi uzatish funksiyasining mohiyatini aniq misolda ko'rib chiqamiz [21-23].

2.1-misol. RC zanjiri berilgan bo'lsin (2.10-rasm). Ushbu zanjirining uzatish funksiyasi $W(p)$ ni toping.



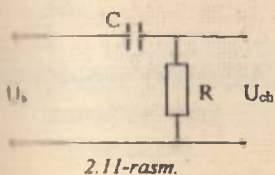
Yechish:

$$U_1(p) = R + \frac{1}{pC}; \quad U_2(p) = \frac{1}{pC};$$

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{\frac{1}{pC}}{R + \frac{1}{pC}} = \frac{1}{RCp + 1} = \frac{1}{Tp + 1}$$

bu yerda, $T = RC$ – vaqt doimiyligi.

2.2-misol. RC zanjiri berilgan bo'lsin (2.11-rasm). Ushbu zanjirning uzatish funksiyasi $W(p)$ ni toping.



Yechish:

$$U_1(p) = \frac{1}{pC} + R;$$

$$U_2(p) = R;$$

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{R}{\frac{1}{pC} + R} = \frac{RCp}{1 + RCp} = \frac{Tp}{1 + Tp}$$

bu yerda, $T = RC$ – vaqt doimiyligi.

2.3-misol. $\ddot{y} + 2\dot{y} + 3y = 4\dot{x} + 5x$ chiziqli tenglamani uzatish funksiyasi ko'rinishida ifodalang va uni MATLAB muhitida kiriting bunda nol-qutb formasida modelini quring.

Yechish: Yuqoridagi chiziqli tenglamani operator ko'rinishida quyidagicha yozish mumkin:

$$(p^2 + 2p + 3)y = (4p + 5)x \quad \text{yoki} \quad D(p)y = K(p)u$$

bu yerda $x(t)$ – kirish signali, $y(t)$ – chiqish signali, $p = \frac{d}{dt}$ – differensiallash operatori, $D(p) = p^2 + 2p + 3$ va $K(p) = 4p + 5$ – operator polinomlar.

Yuqorida keltirilgan (1.11) tenglamadan zvenoning uzatish funksiyasi

$$W(p) = \frac{4p + 5}{p^2 + 2p + 3}$$

ga teng.

MATLAB muhitida uzatish funksiyasi s kompleks o'zgaruvchidan ikki ko'phad (polinomlar) munosabatlari ko'rinishida kiritiladi [30,31]. Polinomlar darajasi *kamayish* bo'yicha yozilgan massiv koeffitsiyentlari kabi saqlanadi, ya'ni

$$F(s) = \frac{4s + 5}{s^2 + 2s + 3}$$

Unda uzatish funksiyasi MATLAB muhitida quyidagi ko'rinishda kiritiladi:

```
>> n = [4 5]
```

```
n =
```

```
4 5
```

```
>> d = [1 2 3]
```

```
d =
```

```
1.0000 2.0000 3.0000
```

```
>> f = tf(n, d)
```

```
Transfer function:
```

```
4 s + 5
```

```
-----
```

```
s^2 + 2 s + 3
```

yoki birdaniga, surat va maxrajlarini dastlab qurilmasdan:

$$\gg f = tf([4 \ 5], [1 \ 2 \ 3]);$$

Xotirada uzatish funksiyasi tavsiflovchi tf obyekt sinfi yaratiladi. Quyuruq oxiridagi nuqtali vergul natijani ekranga ko'rsatadi.

«Nol-qutb» formasida uzatish funksiyasi modelni oson qurish mumkin.

$$\gg f_zpk = zpk(f)$$

Zero/pole/gain:

$$4 (s+1.25)$$

$$(s^2 + 2s + 3)$$

Ushbu funksiya $s = -1.25$ nuqtada bitta nol hamda $s = -1 \pm 1.4142i$ nuqtalarda ikkita qutbga ega.

2.6. Avtomatik boshqarish tizimlarning vaqt xarakteristikalari

Elementlarning dinamik xossalarini yanada yaqqol aks ettirishda ularning o'tkinchi funksiyasi (xarakteristikasi)dan foydalaniladi.

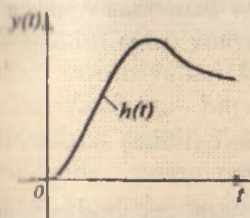
O'tkinchi funksiya $h(t)$ deb boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda kirishiga birlik pog'onali signal berilganda vaqt bo'yicha chiqish kattaligi $y(t)$ ning o'zgarishiga aytiladi (2.12-rasm).

$$x(t) = 1(t),$$

$$y(t) = h(t).$$

O'tkinchi funksiya grafik (unda uni xarakteristika deyiladi) ko'rinishda yoki formula ko'rinishida berilgan bo'lishi mumkin. O'tkinchi funksiya $h(t)$, istalgan

bir xil bo'lmagan differensial tenglama kabi ikkita tashkil etuvchiga ega bo'ladi: majburiy $h_m(t)$ va erkin $h_e(t)$. O'tkinchi jarayonning *majburiy tashkil etuvchisi* o'zida dastlabki tenglamaning qisman yechimini aks ettiradi. Pog'onali signalda majburiy tashkil etuvchilar statik elementlar uchun bevosita differensial tenglama (hosilasi nol bo'lgan) da topish mumkin bo'lgan chiqish kattaliklarining o'rnatilgan qiymatlariga teng bo'ladi.



2.12-rasm. O'tkinchi xarakteristika (funksiya).

$$h_{\infty}(t) = y(\infty) = \frac{b_{\infty}}{a_n}$$

Erkin tashkil etuvchi quyidagi ko'rinishda (bir xil ildizlar mavjud bo'lmaganda) mos bir jinsli differensial tenglama yechimlari kabi topilishi mumkin:

$$h_x(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{\lambda_i t},$$

bu yerda λ_i – xarakteristik tenglama ildizlari; C_i – boshlang'ich shartga bog'liq bo'lgan doimiy integrallash.

Xarakteristik tenglama – muayyan differensial tenglamaga mos keluvchi, ushbu differensial tenglamaning chap qismi tartibi va koefitsiyentlari bilan daraja va koefitsiyentlari mos keluvchi algebraik tenglamani o'zida aks ettiruvchi tenglamadir.

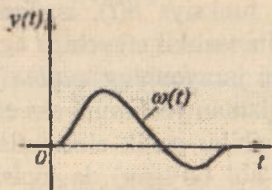
$$a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} y(t) = b_0 \frac{d^n x(t)}{dt^n} + b_1 \frac{d^{n-1} x(t)}{dt^{n-1}} + \dots + b_{n-1} x(t)$$

differensial tenglama uchun xarakteristik tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1} = 0,$$

bu yerda, λ – xarakteristik tenglamaning yechimi (ildizi) hisoblanib, kompleks son.

Impulsi o'tkinchi funksiya (vazn funksiyasi) $\omega(t)$ deb boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda kirishiga delta-funksiya berilgandan so'ng vujudga keladigan chiqish kattaligi $y(t)$ ning o'zgarishiga aytiladi (2.13-rasm).



2.13-rasm. *Impulsi o'tkinchi xarakteristika (funksiya).*

Impulsi o'tkinchi funksiya o'tkinchi funksiya $h(t)$ dan olingan hosilaga teng [18,20,25]:

$$\omega(t) = \frac{dh(t)}{dt},$$

va aksincha, o'tkinchi funksiya impulsi o'tkinchi funksiyadan olingan integralga teng:

$$h(t) = \int_0^t \omega(t) dt.$$

O'tkinchi xarakteristika $h(t)$ va impulsli o'tkinchi xarakteristikalar *vaqt xarakteristikalari* deyiladi.

ABBning o'tkinchi va vazn funksiyalari to'g'risida bilimga ega bo'lib, boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda ixtiyoriy kirish ta'sirlarida tizimning reaksiyasini quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$y(t) = h(t)x(0) + \int_0^t h(t-\tau)x'(\tau)d\tau,$$

$$y(t) = h(0)x(t) + \int_0^t w(t-\tau)x(\tau)d\tau.$$

Ko'rib o'tilgan ikki formulalar Dyumel integrali yoki svyortka integrali variantida bo'lib, ular o'zaro oson olinadi. Real inersion zvenolar uchun chiqishdagi reaksiya doimo kirish ta'siridan ortda qoladi, ya'ni $h(0) = 0$.

2.7. Avtomatik boshqarish tizimlarining chastotaviy xarakteristikalari

Chiziqli stasionar tizimlarni tasvirlashda chastotali xarakteristikalar juda muhim rol o'ynaydi. Chastotaviy xarakteristikalar elementlarning uzatish xususiyatlari bilan ifodalanadi. Elementning chastotaviy xarakteristikalarini bilgan holda istalgan chastotalardagi garmonik ta'sirlarda, shuningdek turli chastotalardagi garmonik ta'sirlar yig'indisida uning reaksiyasini aniqlashimiz mumkin [14,15,18,23]. ABB va amaliyotida chastotaviy xarakteristikalardan keng foydalaniladi.

Uzatish funksiyasining ta'rifiga ko'ra

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{b_0 p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_{n-1} p + b_n}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n} \quad (2.11)$$

Uzatish funksiyasi $W(p)$ dan $p = j\omega$ bilan almashtirish orqali $W(j\omega)$ funksiya olinadi va uni *chastotaviy uzatish funksiyasi* deyiladi

$$W(j\omega) = \frac{b_0 (j\omega)^n + b_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + b_{n-1} (j\omega) + b_n}{a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_{n-1} (j\omega) + a_n} \quad (2.12)$$

Chastotaviy uzatish funksiyasi $W(j\omega)$ chastota deb ataluvchi haqiqiy o'zgaruvchi « ω » ga bog'liq bo'lgan kompleks funksiyadir.

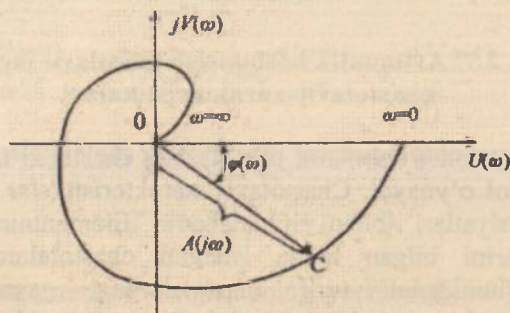
$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$ – algebraik ko'rinishi;

$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ – darajali ko'rinishi;

$W(j\omega) = A(\omega)\cos\varphi(\omega) + jA(\omega)\sin\varphi(\omega)$ – trigonometrik ko'rinishi, bu yerda, $U(\omega)$ – haqiqiy qism; $V(\omega)$ – mavhum qism; $A(\omega)$ – amplituda; $\varphi(\omega)$ – faza.

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}; \varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$$

Kompleks tekisligida $W(j\omega)$ funksiyasini \overline{OC} vektor orqali ifodalash mumkin. Bu vektorning uzunligi chastotali uzatish funksiyasining amplitudasi « A »ga vektorning haqiqiy musbat o'q bilan hosil qilgan burchagi fazasi « φ »ga teng bo'ladi (2.14-rasm).

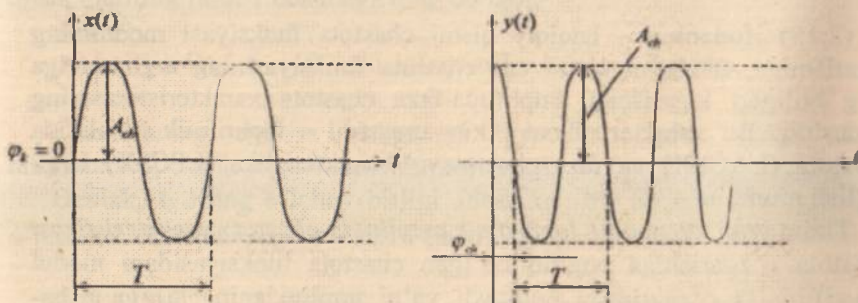


2.14-rasm. Amplituda-fazali xarakteristika.

Chastota noldan cheksiz ($0 < \omega < \infty$) oraliqda o'zgarib chiqqanda \overline{OC} vektorning kompleks tekisligida chizgan egri chizig'iga *amplituda-fazali xarakteristika* (AFX) deyiladi yoki boshqacha qilib aytganda AFX deb kompleks tekisligida chastotaning o'zgarishiga qarab amplituda va fazaning o'zgarishiga aytish mumkin (2.14-rasm).

Chastotali uzatish funksiyasining *amplitudasi* chiqish signalining amplitudasini kirish signalining amplitudasiga nisbatan necha marotaba kattaligini ko'rsatadi. Chastotali uzatish funksiyasining moduli amplitudani beradi, ya'ni $A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)}$; chastotali uzatish

funksiyasining argumenti chiqish va kirish signallari orasidagi burchak siljishini ko'rsatadi, ya'ni $\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$ (2.15-rasm).



2.15-rasm. Faza chastotaviy xarakteristika.

$$W(j\omega) = \frac{y(j\omega)}{x(j\omega)} = \frac{A_{ch}(\omega)e^{j(\omega t + \varphi_{ch})}}{A_k(\omega)e^{j(\omega t + \varphi_k)}} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

bu yerda $A(\omega) = \frac{A_{ch}(\omega)}{A_k(\omega)}$; $\varphi(\omega) = \varphi_{ch} - \varphi_k$ bo'ladi.

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda barcha chastotaviy xarakteristikalarining ifodasi va qisqartmalarini keltirib o'tamiz:

$W(j\omega)$ – amplituda fazaviy xarakteristika (AFX);

$U(\omega)$ – haqiqiy chastotaviy xarakteristika (HChX);

$V(\omega)$ – mavhum chastotaviy xarakteristika (MChX);

$A(\omega)$ – amplituda chastotaviy xarakteristika (AChX);

$\varphi(\omega)$ – faza chastotaviy xarakteristika (FChX).

Bu xarakteristikalarining hammasi oddiy chiziqli masshtabda chiziladi.

2.8. Logarifmik chastota xarakteristikalar

Tizimning chastotaviy xarakteristikasining darajali tenglamasi $W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ ni logarifmlaymiz [14,20,24]:

$$\ln W(j\omega) = \ln A(\omega) + j\varphi(\omega)$$

yoki

$$\lg W(j\omega) = \frac{\ln A(\omega) + j\varphi(\omega)}{2,3} \quad (2.13)$$

(2.13) ifodaning – haqiqiy qismi chastota funksiyasi modulining logarifmiga, mavhum qismi esa chastota funksiyasining argumentiga teng bo'lgan logarifmik amplituda-faza chastota xarakteristikasining ifodasidir. Bu xarakteristikani ikkita mustaqil – logarifmik amplituda chastota (LACHX) va faza chastotaviy xarakteristika (LFChX) larga bo'lish mumkin.

Tizim yoki zvenoning *logarifmik amplituda-chastota xarakteristikasi* chastota o'zgarishiga bog'liq bo'lgan chastota funksiyasidagi modul logarifmining o'zgarishini aniqlaydi, ya'ni amplitudaning $\lg \omega$ ga nisbatan chizilgan grafigiga *logarifmik amplituda-chastotaviy xarakteristika* (LACHX) deyiladi.

Logarifmik masshtabda qurilib, chastota o'zgarishiga bog'liq bo'lgan faza o'zgarishini aniqlovchi xarakteristika *logarifmik faza-chastotaviy xarakteristikasi* deyiladi. Boshqacha qilib aytganda, $\varphi(\omega)$ ni $\lg \omega$ ga nisbatan chizilgan grafigiga *logarifmik fazo-chastotaviy xarakteristika* (LFChX) deyiladi.

$e^{j\varphi(\omega)}$ davriy funksiya bo'lgani uchun, $\ln W(j\omega)$ ko'p qiymatli funksiyadan iborat. Shuning uchun biz keyinchalik (2.13) ifodada logarifmning asosiy ma'nosini nazarda tutamiz. Logarifmik xarakteristika va o'lchov birliklari akustika nazariyasidan olingan.

LACHX ni qurayotganda ordinatalar o'qiga modul logarifmi, absissa o'qiga esa chastota logarifmini qo'yamiz. LACHX ni qurganda $\ln A(\omega)$ o'rni qayidagi funksiya ko'riladi:

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg A(\omega) = f(\lg \omega). \quad (2.14)$$

(2.14) ifoda tizimning chiqish amplitudasini kirish amplitudasiga nisbatini aniqlab, kirish signali orqali kuchlanish darajasini tasvirlaydi. $L(\omega)$ ning o'lchov birligi – desibel. Bir desibel amplitudaning $\sqrt[10]{10}$ marta o'zgarishiga to'g'ri keladi. Chastotalarning o'lchov birligi – oktava va dekada.

Agar ikki ω_1, ω_2 chastotalarning qiymati bir-biridan ikki marta farq qilsa, ularning farqi bir oktavaga teng bo'ladi:

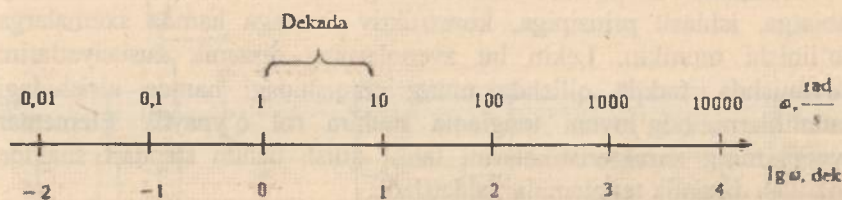
$$\omega_1/\omega_2 = 2 \quad \text{yoki} \quad \log(\omega_1/\omega_2) = \log_2 2 = 1 \text{ oktava.}$$

Agar ikki ω_1, ω_2 chastotalarning qiymati bir-biridan 10 martaga farq qilsa, ularning farqi 1 dekadaga teng bo'ladi:

$$\omega_1/\omega_2 = 10 \text{ yoki } \lg(\omega_1/\omega_2) = \lg 10 = 1 \text{ dekada.}$$

Chastotaning dekada birligidagi qiymatini topish uchun shu chastotaning o'nlik logarifmini aniqlash kerak.

Demak, $\lg \omega$ ning o'lchov birligi «dekada», bir dekada chastotaning o'n marta oshishini bildiradi (2.16-rasm).



2.16 - rasm. Chastotaning dekada birligidagi masshtabi.

G.Bode ko'pincha birgina LACHX ni qurish bilan kifoyalanish mumkinligini ko'rsatadi, chunki faza xarakteristikadan amplituda va amplituda xarakteristikadan faza xarakteristikalarini aniqlash mumkin.

Agar tizimlarning LACHX va LFChX lari o'rtasida bir qiymatli bog'lanish mavjud bo'lsa, bunday tizimlar minimal fazali tizim deyiladi. Ko'p tizim va zvenolar uchun logarifmik xarakteristikalar oktavaga desibel va dekadaga desibel birligida ifodalanadigan, turli og'ishlarga ega bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat. (2.14) ifodadagi chastota funksiyasining modulini logarifmlashda ko'paytma va bo'linmalar, yig'indi va ayirmalar bilan almashtiriladi, bu esa tahlil qilinayotgan ifodalarni soddalashtiradi.

Logarifmik chastota xarakteristikalari chiziqli va chiziqli bo'lmagan avtomatik rostlash tizimlarini amalda hisoblashda keng foydalaniladi.

2.9. Elementar zvenolar va ularning xarakteristikalari

Boshqarish nuqtayi nazaridan avtomatik tizimlar va ularning tarkibiy zvenolari o'zlarining statik va dinamik xarakteristikalariga ko'ra sinflanadi. Bunday sinfiy chiqish va kirish kattaliklarining turg'unlash-

magan rejimda vaqt funksiyasidagi bog'lanishiga asoslangan. Tadqiq qilinayotgan avtomatik tizimlarning dinamik xarakteristikalarini oldindan ma'lum bo'lgan va bir-biri bilan bog'langan elementar (yoki tipik) zvenolar shaklida keltiriladi. Quyidagi uchta talabni qanoatlantiradigan zveno shartli ravishda elementar zveno deyiladi: 1) zvenoning differensial tenglamasi ikkinchi tartibdan yuqori bo'lmasligi shart; 2) zveno detektorlash qobiliyatiga ega bo'lib, signallarni bir yo'nalishda – kirishdan chiqishga tomon o'tkazishi kerak; 3) zvenoga boshqa zvenolar ulanganda, u o'zining dinamik xususiyatlarini o'zgartirmasligi lozim [3,20,23].

Avtomatik boshqarish tizimlarining zvenolari har xil fizikaviy tabiatga, ishlash prinsipiga, konstruktiv formaga hamda sxemalarga bo'linishi mumkin. Lekin bu zvenolarning dinamik xususiyatlarini o'rganishda, tadqiq qilishda uning chiqishidagi hamda kirishidagi kattaliklarni bog'lovchi tenglama muhim rol o'ynaydi. Elementar zvenolarning xarakteristikalarini tahlil qilish uchun standart shaklda yozilgan dinamik tenglamalar ishlatiladi.

Matematik ifodasi differensial tenglama bilan ifodalanadigan zvenolarga *dinamik zveno* deyiladi. Tipik dinamik zveno deb, tartibi ikkidan yuqori bo'lmagan differensial tenglama bilan ifodalanadigan zvenolarga aytiladi. Ularga asosan quyidagi zvenolar kiradi [3,20,23]:

1. Kuchaytiruvchi (proporsional, inersiyasiz) zveno.
2. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno.
3. Integrallovchi zveno.
4. Differensiallovchi zveno.
5. Tebranuvchi zveno.
6. Tezlatuvchi zveno.
7. Kechikuvchi zveno.

Quyida shu zvenolarning vaqt hamda chastotali xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

1. Kuchaytiruvchi (proporsional, inersiyasiz) zveno. Agar zveno tizimga kechikish va boshqa xatolar kiritmay faqat kirishga berilgan signalning masshtabini o'zgartirsa, bu zveno *kuchaytiruvchi* (proporsional, inersiyasiz) zveno deyiladi. U statikaning algebraik tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$y = Kx,$$

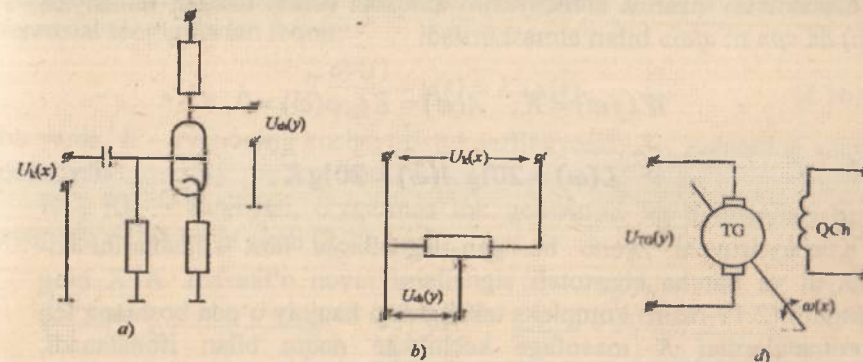
bu yerda, y – zvenoning chiqish kattaligi; K – zvenoning kuchaytirish koeffitsiyenti; x – zvenoning kirish kattaligi.

Kuchaytiruvchi zveno dinamikasining tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$y(t) = K \cdot x(t). \quad (2.15)$$

Bunday zvenoning chiqishidagi kattalik kirishidagi kattalikka nisbatan proporsional ravishda o'zgaradi.

Bu zvenoga elektron kuchaytirgich, potensiometr, taxogenerator kabi elementlar misol bo'la oladi (2.17-rasm.)



2.17-rasm. Elektron kuchaytirgich (a); potensiometr (b); taxogenerator (d), bu yerda « ω » o'qning aylanish tezligi.

(2.15) tenglamaga Laplas almashtirishlarini kiritamiz

$$y(p) = K \cdot x(p),$$

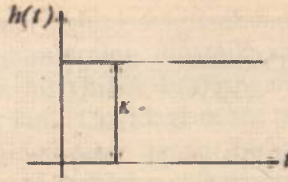
bundan

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = K.$$

Shunday qilib, proporsional zvenoning uzatish funksiyasi kuchaytirish koeffitsiyenti « K » ga teng bo'ladi.

Uzatish funksiyasi orqali zveno yoki tizimning vaqt xarakteristikalarini aniqlash mumkin

$$h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \frac{1}{p} \right\} = L^{-1} \left\{ K \frac{1}{p} \right\} = K \cdot 1(t).$$



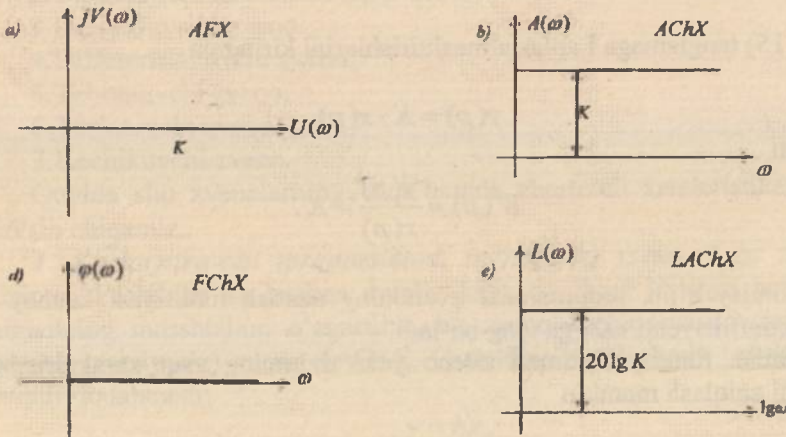
2.18-rasm. Vaqt xarakteristikasi.

Chastotaviy uzatish funksiyasini aniqlash uchun uzatish funksiyasi $W(p)$ da « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtiriladi

$$W(j\omega) = K; \quad A(\omega) = K; \quad \varphi(\omega) = 0,$$

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg K.$$

Kuchaytiruvchi zveno berilgan signallarga faza siljishlarini kiritmaydi va barcha chastotali signallarni ravon o'tkazadi. AFX ning gadografi (2.19-rasm) kompleks tekisligidagi haqiqiy o'qda boshlang'ich koordinatalardan K masofaga kechikkan nuqta bilan ifodalanadi. Zvenoning $A(\omega)$ amplituda-chastota xarakteristikasi – chastotalar o'qidan $A(\omega) = K$ miqdorga kechikkan to'g'ri chiziqdir.



2.19-rasm. Amplituda-fazali (a); amplituda-chastotali (b); faza-chastotali (d); logarifmik amplituda chastotali (e) xarakteristikalar.

$\varphi(\omega) = 0$ faza-chastota xarakteristika faza siljishlarning yo'qligini bildiradi. Amplituda, chastotaning cheksizlikka intilgan har bir qiymatida istalgan real kuchaytiruvchi zvenoning kuchaytirish koeffitsiyenti nolgacha kamayib ketadi.

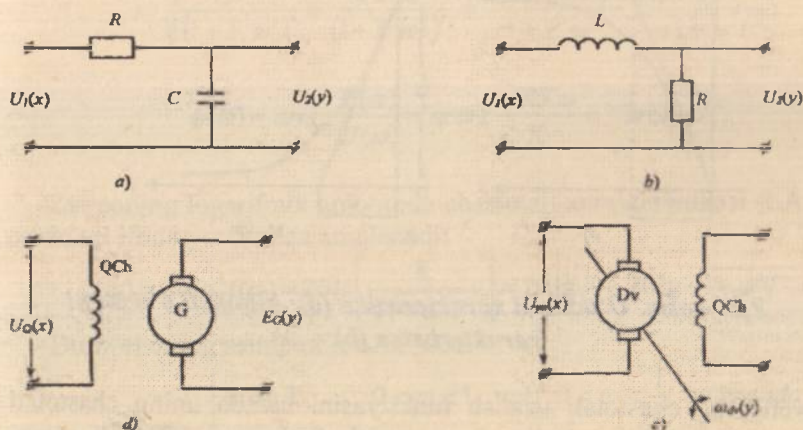
Ushbu zvenoning fazasi minimal qiymatga ega yoki nolga teng, ya'ni minimal fazalidir. Kuchaytirish koeffitsiyenti K chiziqli zveno uchun doimiy, chiziqli bo'lmagan zveno uchun esa o'zgaruvchidir.

2. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno. Ushbu zvenoning chiqish va kirish kattaliklarini bog'lovchi tenglama birinchi tartibli differensial tenglamadan iborat:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot x(t) \quad (2.16)$$

bu yerda, K – zvenoning kuchaytirish koeffitsiyenti; T – zvenoning vaqt doimiysi.

RC, RL – zanjirlari, o'zgarmas tok generatori va dvigatellari bu zveno misol bo'la oladi (2.20-rasm).



2.20-rasm. RC zanjiri (a); LR zanjiri (b); o'zgarmas tok generatori (d); o'zgarmas tok dvigateli (e).

(2.16) tenglamaga Laplas o'zgartirishini kiritib, bu zvenoning uzatish funksiyasini aniqlaymiz

$$(Tp + 1) \cdot y(p) = Kx(p),$$

bundan

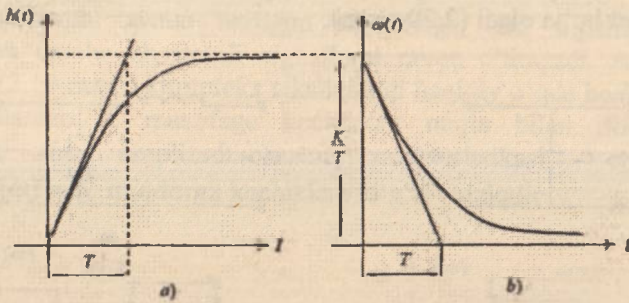
$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{Tp+1}.$$

Inersial zvenoning o'tkinchi funksiyasi

$$h(t) = L^{-1}\left\{W(p)\frac{1}{p}\right\} = L^{-1}\left\{\frac{K}{1+Tp} \cdot \frac{1}{p}\right\} = K(1 - e^{-\frac{t}{T}})1(t),$$

eksponenta qonuni bo'yicha o'zgaradi (2.21-rasm). Impulsi o'tkinchi funksiyani quyidagicha aniqlash mumkin (2.21,b-rasm)

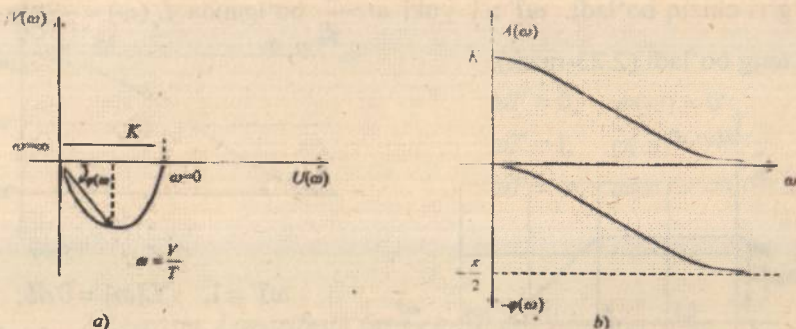
$$\omega(t) = h'(t) = L^{-1}\{W(p)\} = L^{-1}\left\{\frac{K}{1+pT}\right\} = \frac{K}{p}e^{-\frac{t}{T}}1(t).$$



2.21-rasm. O'tkinchi xarakteristika (a); impulsi o'tkinchi xarakteristika (b).

Zvenoning chastotali uzatish funksiyasini hamda uning chastotali xarakteristikalarini aniqlash uchun uzatish funksiyasi $W(p)$ da « p »ni « $j\omega$ » bilan almashtirish kerak (2.22-rasm).

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{K}{1+j\omega T} = \frac{K(1-j\omega T)}{(1+j\omega T)(1-j\omega T)} = \\ &= \frac{K}{(1+\omega^2 T^2)} - j \frac{K\omega T}{(1+\omega^2 T^2)} = U(\omega) + jV(\omega); \\ U(\omega) &= \frac{K}{1+\omega^2 T^2} \text{ -- haqiqiy qism; } V(\omega) = -\frac{K\omega T}{1+\omega^2 T^2} \text{ -- mavhum qism} \end{aligned}$$



2.22-rasm. Amplituda-fazali xarakteristika (a); amplituda-chastotali va faza-chastotali xarakteristika (b).

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} =$$

$$= \sqrt{\frac{K^2}{(1+T^2\omega^2)^2} + \frac{K^2T^2\omega^2}{(1+T^2\omega^2)^2}} = \frac{K\sqrt{1+T^2\omega^2}}{1+T^2\omega^2} = \frac{K}{\sqrt{1+\omega^2T^2}};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = \arctg \frac{-KT\omega}{K} = -\arctg \omega T;$$

Zvenoning logarifmik amplituda chastotali xarakteristikasi (LChX) quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \left[\frac{K}{\sqrt{1+\omega^2T^2}} \right] = 20 \lg K - 20 \lg \sqrt{1+\omega^2T^2}.$$

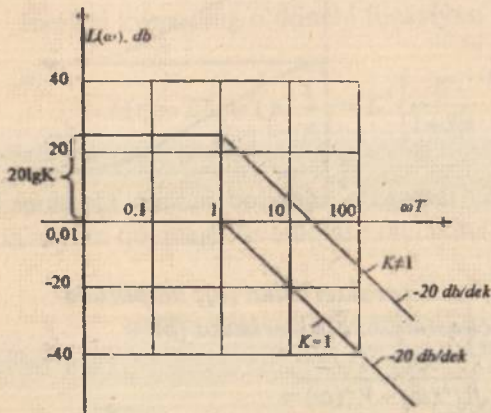
Bu zvenoning asimptotik LChXni

$$L_a(\omega) = \begin{cases} 20 \lg K, & 0 < \omega < 1 \text{ yoki } 0 < \omega < \frac{1}{T} \text{ bo'lganda,} \\ 20 \lg K - 20 \lg \omega T, & \omega T > 1 \text{ yoki } \omega > \frac{1}{T} \text{ bo'lganda,} \end{cases}$$

tenglama bilan ifodalanadi.

Shunday qilib, chastotaning $0 < \omega < \frac{1}{T}$ oralig'idagi qiymatlarida $K=1$ bo'lganda $L(\omega)$ xarakteristikasi absissa o'qi bilan mos tushadi, chunki $L(\omega) = 20 \lg 1 = 0$. Agar $K \neq 1$ bo'lsa, unda shu chastota oralig'ida $L(\omega)$ xarakteristikasi $20 \lg K$ balandlikda absissa o'qiga parallel bo'lgan

to'g'ri chiziq bo'ladi. $\omega T > 1$ yoki $\omega > \frac{1}{T}$ bo'lganda $L_o(\omega) = -20 \lg \omega T$ ga teng bo'ladi (2.23-rasm).



$$\begin{aligned} \omega T = 1, & \quad L(\omega) = 0 \text{ db}; \\ \omega T = 10, & \quad L(\omega) = -20 \text{ db}; \\ \omega T = 100, & \quad L(\omega) = -40 \text{ db}. \end{aligned}$$

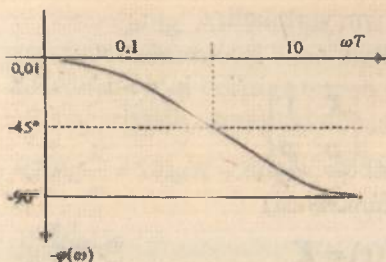
2.23-rasm. Logarifmik amplituda chastotali xarakteristika.

Shunday qilib, inersial zvenoning LACHX si tutash chastota $\omega = \frac{1}{T}$ yoki $\omega T = 1$ gacha hech qanday o'zgarishsiz qoladi va shu chastotadan keyin -20 db/dek og'ish bo'yicha o'zgaradi.

Haqiqiy LACHX $L(\omega)$ asimptotik $L_o(\omega)$ xarakteristikadan birmuncha farq qiladi va bu farq faqat tutash chastota $\omega = \frac{1}{T}$ yoki $\omega T = 1$ da eng katta qiymatga ega bo'lib, u taxminan -3,03 db ga teng, ya'ni

$$L(\omega) = L(1) = -20 \lg \frac{1}{\sqrt{1+(1)^2}} = -20 \lg \frac{1}{\sqrt{2}} = -3,03 \text{ db}.$$

Amaliyotda LACHX ni aniq ko'rish talab qilinmaydi. Shuning uchun uni ikkita bir-biri bilan tutashgan to'g'ri chiziq ko'rinishida quriladi. Logarifmik faza-chastotali xarakteristika $\varphi(\omega) = -\arctg \omega T$ ifoda yordamida aniqlanadi (2.24-rasm).



$$\begin{aligned} \omega T = 0, & \quad \varphi(\omega) = 0^\circ; \\ \omega T = 1, & \quad \varphi(\omega) = -45^\circ; \\ \omega T = \infty, & \quad \varphi(\omega) = -90^\circ. \end{aligned}$$

2.24-rasm. Logarifmik faza-chastotali xarakteristika.

Tutash $\omega = \frac{1}{T}$ yoki $\omega T = 1$ chastotada $\varphi(\omega) = -\arctg 1 = -45^\circ$ ga teng bo'lib, shu chastotaga nisbatan LFChX ning simmetriyaligi uning o'ziga xos xarakterli fazilati hisoblanadi.

3. Integrallovchi zveno. Chiqish kattaligi kirish kattaligiga bog'liq bo'lmagan, lekin chiqish koordinata o'zgarishining tezligi zveno kirishidagi signalga proporsional bo'lgan zveno *integrallovchi zveno* deyiladi. Bu zveno tavsifi quyidagicha:

$$\frac{dy}{dt} = Kx, \quad (2.17)$$

bu yerda K – zvenoning kuchaytirish koeffitsiyenti va uning vaqt doimiysi nisbatiga teng zvenoning tarqalish tezligi.

(2.17) ifodani integrallab o'tish jarayoni tenglamasini hosil qilamiz

$$y(t) = K \int_0^t x(t) dt, \quad (2.18)$$

(2.18) ifodadan chiqish kattaligi kirish kattaligining integraliga proporsional ekanligi kelib chiqadi. (2.18) tenglamani Laplas bo'yicha tasviri quyidagi ko'rinishga ega:

$$y(p) = \frac{K}{p} x(p),$$

zvenoning uzatish funksiyasi

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{p}.$$

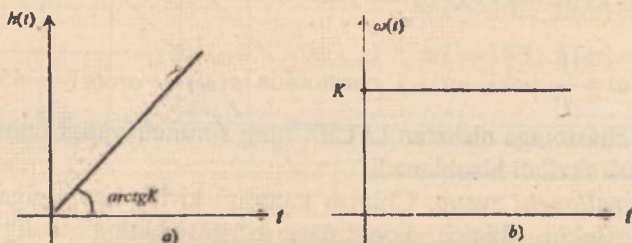
Bu zvenoni yana astatik zveno deb ham yuritiladi.
Integral zvenoning o'tkinchi funksiyasi

$$h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \frac{1}{p} \right\} = L^{-1} \left\{ \frac{K}{p} \cdot \frac{1}{p} \right\} = K \cdot t \cdot 1(t)$$

va impulsli o'tkinchi funksiyasi (vazn funksiyasi)

$$\omega(t) = h'(t) = K$$

2.25b-rasmda keltirilgan.

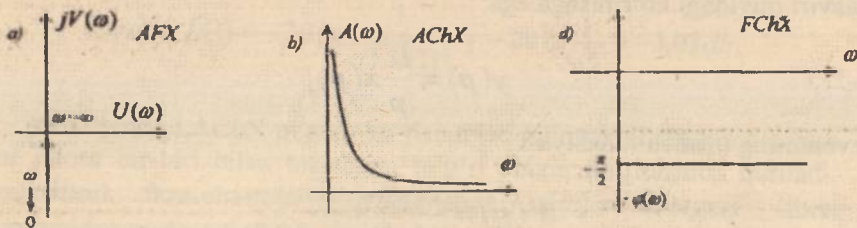


2.25-rasm. O'tkinchi xarakteristika (a); impulsli o'tkinchi xarakteristika (b).

Integral zvenoning chastotali uzatish funksiyasi

$$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega} = \frac{K}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (2.19)$$

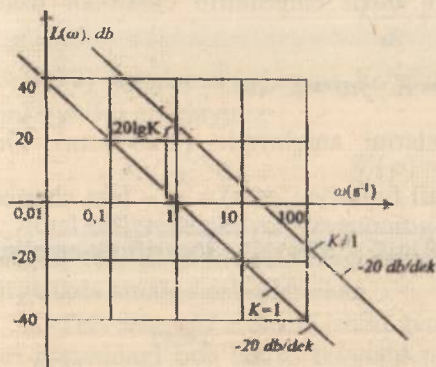
bo'lib, unda $A(\omega) = \frac{K}{\omega}$ — amplituda-chastota funksiyasi; $\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2}$ — faza-chastota funksiyasi (2.26-rasm).



2.26-rasm. Amplituda-fazali (a); amplituda-chastotali (b); faza-chastotali (d) xarakteristikalar.

Zvenoning AFX si (2.19) ifodaga muvofiq kompleks tekisligining manfiy mavhum o'qi bilan mos tushadi va chastota $0 < \omega < \infty$ bo'lganda koordinata o'qi boshiga tomon yo'nalgan bo'ladi.

Logarifmik amplituda-chastota xarakteristikasi $L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \frac{K}{\omega} = 20 \lg K - 20 \lg \omega$ ifoda yordamida aniqlanadi (2.27-rasm).



$$\begin{aligned} \omega = 1, & \quad L(\omega) = 0 \text{ db}; \\ \omega = 10, & \quad L(\omega) = -20 \text{ db}; \\ \omega = 100, & \quad L(\omega) = -40 \text{ db}; \\ \omega = 0,1, & \quad L(\omega) = 20 \text{ db}; \\ \omega = 0,01, & \quad L(\omega) = 40 \text{ db}. \end{aligned}$$

2.27- rasm. Logarifmik faza-chastotali xarakteristika.

Demak, bu zvenoning $L(\omega)$ xarakteristikasi koordinatalari $\omega=1$ va $20 \lg K$ bo'lgan nuqtadan o'tgan og'ma to'g'ri chiziq bo'lib, chastota bir dekadaga ko'payganda $L(\omega)$ ordinatasi 20 db ga kamayadi. Shuning uchun $L(\omega)$ xarakteristikasining og'ishi -20 db/dek (minus 20 detsebel bir dekadaga deb o'qiladi).

4. Differensiallovchi zveno. Chiqish kattaligi kirish parametrlarining o'zgarish tezligiga proporsional bo'lgan zveno *differensiallovchi zveno* deyiladi. Bu ideal differensiallovchi zvenoning xususiyatlari

$$y(t) = K \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (2.20)$$

tenglama bilan ifodalanadi. Bunda K – uzatish koeffitsiyenti. Unga elektr sig'im, induktivlik, taxogenerator (agar kirish kattaliga o'qning aylanish tezligi emas, burchak burilishi bo'lsa) misol bo'la oladi.

(2.20) tenglamani Laplas bo'yicha o'zgartirib, zvenoning uzatish funksiyasini aniqlaymiz

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = Kp. \quad (2.21)$$

Bunda o'tkinchi $h(t)$ va impulsli o'tkinchi $\omega(t)$ funksiyalarni aniqlaymiz

$$h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \frac{1}{p} \right\} = L^{-1} \left\{ Kp \cdot \frac{1}{p} \right\} = K \cdot \delta(t),$$

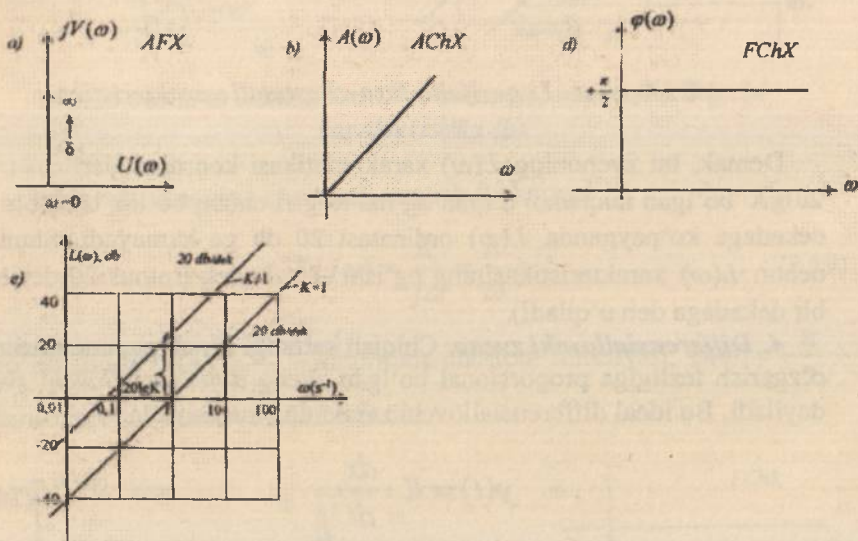
$$\omega(t) = h'(t) = K \cdot \delta'(t).$$

(2.21) ifodada « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtirib chastotali uzatish funksiyasini

$$W(j\omega) = K \cdot j\omega = K \cdot \omega e^{j\frac{\pi}{2}},$$

hamda chastotali xarakteristikalarini aniqlaymiz (2.28-rasm). Unda

$A(\omega) = K\omega$ – amplituda chastotali funksiya; $\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2}$ – faza chastotali funksiya; $L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg K + 20 \lg \omega$ – logarifmik-amplituda chastota funksiyasi.



2.28-rasm. Amplituda-fazall (a); amplituda-chastotali (b); faza-chastotali (d); logarifmik amplituda chastotali (e) xarakteristikalar.

Shunday qilib, bu zvenoning AFX si kompleks tekisligining musbat mavhum o'qi bilan mos tushib, chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda

yuqoriga qarab yoʻnaladi. LChXsi esa koordinatalari $\omega=1$ va $L(\omega) = 20 \lg K$ boʻlgan nuqtadan oʻtgan toʻgʻri chiziqdir. Shuning uchun $L(\omega)$ xarakteristikasining ogʻishi $+20 \text{ dB/dek}$ (plyus 20 detsebel bir dekadaga deb oʻqiladi).

Real differensiallovchi zvenolar dinamikasining umumiy tenglamasi quyidagicha

$$T \frac{dy}{dt} + y = K \frac{dx}{dt}. \quad (2.22)$$

(2.22) tenglamani Laplas boʻyicha oʻzgartirib, zvenoning uzatish funksiyasini aniqlaymiz

$$W(p) = \frac{K \cdot p}{1 + Tp}.$$

Real differensiallovchi zvenoning uzatish funksiyasidan koʻrinib turibdiki, real holatda idel integrallovchi zvenoni aperiodik zveno bilan birgalikda amalga oshirilgan ekan.

5. Tebranuvchi zveno. Ushbu zvenoning chiqish va kirish kattaliklari oʻrtasidagi bogʻlanish ikkinchi tartibli differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y(t) = K \cdot x(t), \quad (2.23)$$

bu yerda $0 < \xi < 1$ oraligʻidagi qiymatga ega boʻlib, soʻnish darajasi (koeffitsiyenti) deyiladi. Elektr tebranuvchi zanjir, elastik mexanik tizim bu zvenoga misol boʻla oladi.

(2.23) tenglamani Laplas almashtirishi orqali oʻzgartirib

$$(T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1)y(p) = Kx(p),$$

zvenoning uzatish funksiyasi aniqlanadi

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}. \quad (2.24)$$

Chastotali uzatish funksiyasini aniqlash uchun (2.24) ifodada « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtiramiz.

$$W(j\omega) = \frac{K}{T^2 (j\omega)^2 + 2\xi j\omega T + 1} = \frac{K[(1 - \omega^2 T^2) - j\omega 2\xi T]}{[(1 - \omega^2 T^2) + j\omega 2\xi T][(1 - \omega^2 T^2) - j\omega 2\xi T]}$$

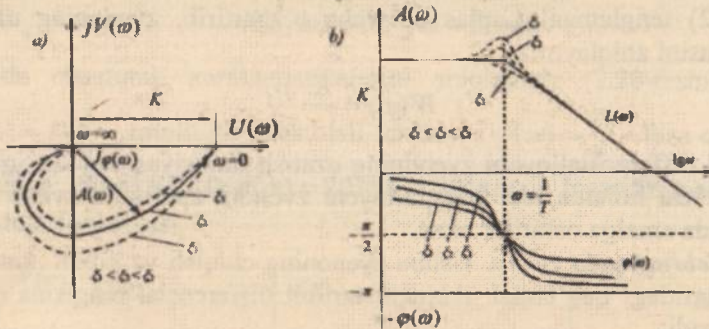
$$U(\omega) = \frac{K(1 - \omega^2 T^2)}{(1 - \omega^2 T^2)^2 + 4\xi^2 \omega^2 T^2} \quad \text{— haqiqiy qism;}$$

$$V(\omega) = -\frac{2K\xi\omega T}{(1-\omega^2T^2)^2 + 4\xi^2\omega^2T^2} \quad \text{-- mavhum qism;}$$

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{K}{\sqrt{(1-\omega^2T^2)^2 + 4\xi^2\omega^2T^2}} \quad \text{-- amplituda-chastota funksiyasi;}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = -\arctg \frac{2\xi\omega T}{1-\omega^2T^2} \quad \text{-- faza-chastota funksiyasi.}$$

2.29-rasmda tebranuvchi zvenoning chastotali xarakteristikallari keltirilgan.



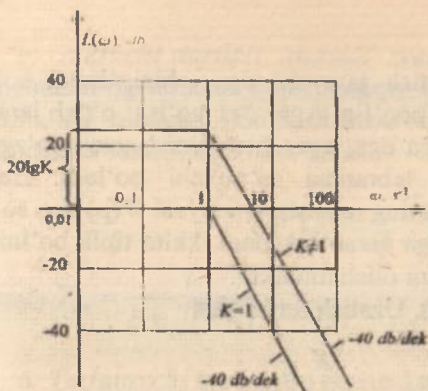
2.29-rasm. a) amplituda fazali; b) amplituda chastotali va faza chastotali xarakteristikalar.

Bu zvenolarning LACHX si ko'rilayotganda quyidagi asimptotik tenglamadan foydalaniladi:

$$L_s(\omega) = \begin{cases} 20 \lg K, & \omega T \leq 1 \text{ yoki } \omega \leq \frac{1}{T} \text{ bo'lganda;} \\ 20 \lg K - 40 \lg \omega T, & \omega T > 1 \text{ yoki } \omega > \frac{1}{T} \text{ bo'lganda.} \end{cases}$$

tutash chastota $\omega = \frac{1}{T}$ gacha bu zvenoning LACHX si absissa o'qi bilan mos tushadi, undan keyin -40 db/dek og'ishga ega bo'ladi.

Tebranuvchi zvenoning LAFX si $\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi\omega T}{1-\omega^2T^2}$ ga teng bo'lib, bu xarakteristikaning 0° dan -180° gacha o'zgaradi (2.30-rasm).



$$\begin{aligned} \omega T = 0; & \quad \varphi(\omega) = 0 \\ \omega T = 0; & \quad \varphi(\omega) = -90^\circ \\ \omega T = \infty; & \quad \varphi(\omega) = -\pi \end{aligned}$$

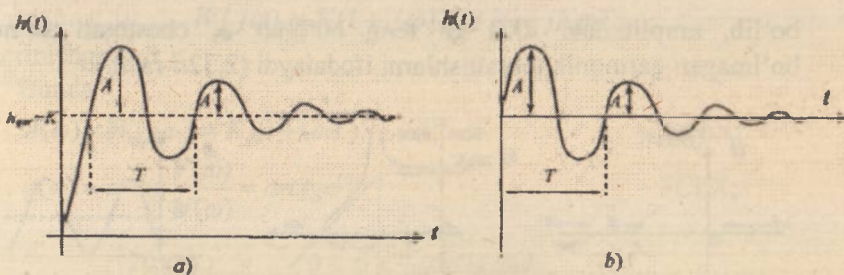
2.30-rasm. Logarifmik amplituda chastotali xarakteristika.

Tebranuvchi zvenoning o'tkinchi funksiyasi

$$h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \cdot \frac{1}{p} \right\} = L^{-1} \left\{ \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi p T + 1} \cdot \frac{1}{p} \right\} = K \left[1 - \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} e^{-\alpha t} \cdot \sin(\beta t + \varphi_0) \right],$$

bu yerda, $\alpha = \frac{\xi}{T}$; $\beta = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T}$; $\varphi_0 = \arctg \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi}$; impulsi o'tkinchi (vazn) xarakteristikasi $\omega(t) = h'(t) = \frac{K(\alpha^2 + \beta^2)}{\beta} e^{-\alpha t} \sin \beta t$ ga teng.

2.31-rasmda tebranuvchi zvenoning vaqt xarakteristikalari keltirilgan.



2.31-rasm. a) o'tkinchi xarakteristika; b) impulsi o'tkinchi (vazn) xarakteristika.

Tebranuvchi zvenoning o'tish jarayoni egri chizig'ining so'nish ko'effitsiyenti ξ ning qiymatiga bog'liq. Agar $\xi > 1$ bo'lsa, o'tish jarayoni nodavriy jarayon xususiyatlariga ega, agar ξ noldan 1 gacha o'zgarsa, o'tish jarayonining xarakteri tebranma so'nuvchi bo'ladi. Bularni hisobga olib, tebranuvchi zvenoning uzatish funksiyasi $W(p)$ dan so'nish ko'effitsiyenti « ξ » ning qiymatiga qarab quyidagi ikkita tipik bo'lmagan zvenolarning uzatish funksiyasini olish mumkin:

a) *Konservativ zveno* ($\xi = 0$). Uzatish funksiyasi

$$W(p) = \frac{K}{1 + p^2 T^2}.$$

Chastotali xarakteristikalari quyidagicha ifodalanadi (2.32-rasm).

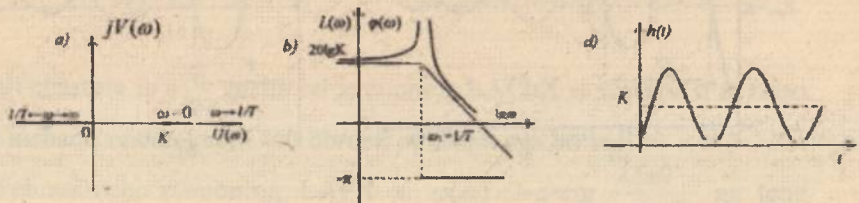
$$W(j\omega) = \frac{K}{1 - \omega^2 T^2} \text{ — amplituda faza chastotali funksiyasi;}$$

$$A(j\omega) = \frac{K}{1 - \omega^2 T^2} \text{ — amplituda chastotali funksiya;}$$

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} 0; & \omega < \frac{1}{T} \text{ bo'lganda;} \\ -\pi; & \omega \geq \frac{1}{T} \text{ bo'lganda.} \end{cases} \text{ — faza chastotali funksiya;}$$

$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg K - 40 \lg \omega T$ — logarifmik amplituda chastotali funksiya.

Konservativ zvenoning o'tkinchi funksiyasi $h(t) = K(1 - \cos \omega_1 t)$; $\omega_1 = \frac{1}{T}$ bo'lib, amplitudasi « K » ga teng bo'lgan ω_1 chastotali so'nuvchi bo'lmagan garmonik tebranishlarni ifodalaydi (2.32d-rasm).



2.32-rasm. a) AFX; b) LChX va LFChX; d) o'tkinchi xarakteristika.

b) *Ikkinchi tartibli inersial zveno* ($\xi > 1$). Bunda xarakteristik tenglamaning ildizlari faqat haqiqiy qismga ega bo'ladi va bu zvenoni ketma-ket ulangan ikkita birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno sifatida ko'rsatish mumkin, ya'ni

$$W(p) = \frac{K}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)},$$

bunda $T_{1,2} = \frac{T}{\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}}$.

6. *Tezlatuvchi zveno*. Bu zveno quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$y(t) = K \left[x(t) + T \frac{dx}{dt} \right], \quad (2.25)$$

Uni proporsional va differensiallagich zvenolarning parallel ulanishi yordamida hosil qilish mumkin.

(2.25) tenglamaning Laplas tasviri

$$y(p) = K [x(p) + Tpx(p)]$$

orqali bu zvenoning uzatish funksiyasi aniqlanadi:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = K(1 + pT).$$

Chastotali uzatish funksiyasi

$$W(j\omega) = K(1 + j\omega T) = K + jK\omega T$$

ko'rinishga ega.

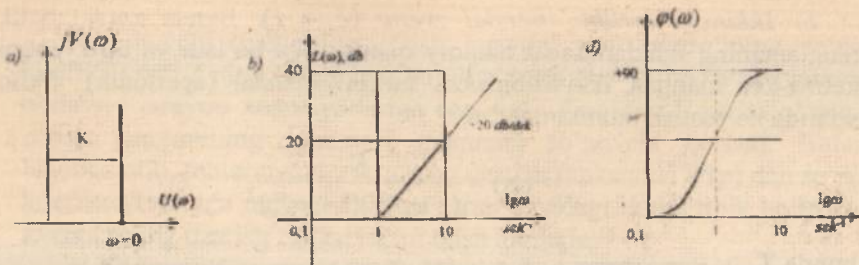
Bunda

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = K\sqrt{1 + (\omega T)^2} \quad - \text{AChX};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = \arctg \omega T \quad - \text{FChX};$$

$$L_s(\omega) = \begin{cases} 20 \lg K, & 0 < \omega < \frac{1}{T} \text{ bo'lganda,} \\ 20 \lg K + 20 \lg \omega T, & \omega > \frac{1}{T} \text{ bo'lganda.} \end{cases} \quad - \text{LACHX.}$$

Bu xarakteristikalar 2.33-rasmda keltirilgan.



2.33-rasm. a) AFX; b) LChX; d) LFChX.

Vaqt xarakteristikalari $h(t)$ va $\omega(t)$ quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi.

$$h(t) = L^{-1} \left\{ K(1 + pT) \cdot \frac{1}{p} \right\} = K_0 \cdot 1(t) + KT\delta(t);$$

$$\omega(t) = h'(t) = K[T\delta(t) + \delta(t)]$$

Differensiallagich zvenolar kabi tezlatgich zvenolarni ideal ko'rishda amalga oshirish mumkin emas, chunki real qurilmalarda, tizimlar tarkibida kichik parametr ga ega bo'lgan inersialliklar albatta bo'ladi. Ular uzatish funksiyasi $W(p)$ ning maxrajidagi polinomlar orqali xarakterlanadi. Odatda $W(p)$ maxrajidagi polinomlarning tartibi uning suratidagi polinomlar tartibidan ancha yuqori bo'ladi.

7. Kechikuvchi zveno. Umumiy holda, agar faza bo'yicha siljish shu zveno uchun mumkin bo'lgan ortib ketsa, zveno *nominal fazali* hisoblanadi. Bunday zvenolar qatoriga sof kechikish zvenosi kiradi. Bu zvenoning mohiyati shundan iboratki, u o'zining *sof* yoki *transport kechikish vaqti* deb ataladigan doimiy τ kechikish bilan kirish signalini xatosiz takrorlaydi. Zvenoning xususiyati $y(t) = x(t - \tau)$ tenglama bilan ta'riflanadi. Bu tenglamaning operator shakli quyidagicha

$$y(p) = e^{-p\tau} x(p).$$

Zvenoning uzatish funksiyasi yuqoridagi tenglamadan kelib chiqadi:

$$W(p) = e^{-p\tau}.$$

Zvenoning amplituda-faza xarakteristikasi:

$$W(j\omega) = e^{-j\omega\tau} = \cos \omega\tau - j \sin \omega\tau.$$

Ko'rilayotgan zvenoning o'tish xarakteristikasi va impulsli o'tish xarakteristikasi quyidagicha

$$h(t) = 1(t - \tau),$$

$$\omega(t) = \delta(t - \tau).$$

Amplituda va faza chastota xarakteristikalari esa quyidagicha:

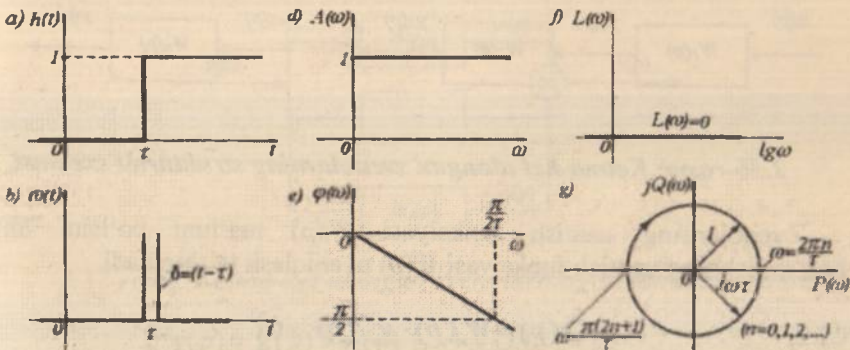
$$A(\omega) = \sqrt{\cos^2(\omega\tau) + \sin^2(\omega\tau)} = 1,$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{-\sin \omega\tau}{\cos \omega\tau} = -\arctg \left(\frac{\sin \omega\tau}{\cos \omega\tau} \right) = \arctg(-\operatorname{tg} \omega\tau) = -\omega\tau. \quad (2.26)$$

Ko'rinib turibdiki, logarifmik amplituda chastota xarakteristikasi

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg 1 = 0,$$

absissa o'qiga mos bo'lib, faza esa (2.26) tenglamaga muvofiq ω chastota o'sish bilan cheksiz oshib boradi. 2.34-rasmda sof kechikish zvenosining xarakteristikalari keltirilgan.

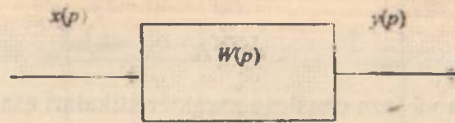


2.34-rasm. Sof kechikuvchi zvenosining xarakteristikalari.

2.10. Statsionar chiziqli tizimlarning strukturali sxemalari

Avtomatik boshqarish tizimlari matematik modelining ulangan zvenolar ko'rinishidagi grafik tasviriga *strukturali sxema* deyiladi.

Strukturali sxemada zvenolar shartli ravishda to'g'ri to'rtburchak shaklida ifodalanadi. Unda chiqish va kirish kattaliklari hamda zvenoning uzatish funksiyasi $W(p)$ ko'rsatiladi (2.35-rasm).



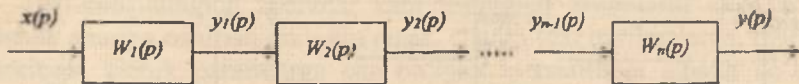
2.35-rasm. *Strukturali sxema.*

Strukturali sxema tizim tarkibidagi zvenolarning o‘zaro bog‘lanishni hamda tizimdan signallarning o‘tishi va o‘zgarishini yaqqol tasvirlanganligi sababli amaliyotda ABT larni tadqiq qilishda hamda loyihalashtirishda juda keng qo‘llaniladi [14,15,20].

Tizimlarni tadqiq etishda ko‘p hollarda struktur sxemalarni o‘zgartirishga to‘g‘ri keladi.

a) *ketma-ket ulangan zvenolar.*

Zvenolar ketma-ket ulangan taqdirda oldingi zvenoning chiqishidagi kattalik keyingi zvenoning kirishidagi kattalik rolini o‘taydi (2.36-rasm).



2.36-rasm. *Ketma-ket ulangan zvenolarning strukturali sxemasi.*

Zvenolarning uzatish funksiyasi $W_i(p)$ ma‘lum bo‘lsin. Shu bog‘lanishning uzatish funksiyasi $W(p)$ ni aniqlash talab etiladi.

$$\left. \begin{aligned}
 y(p) &= W_n(p) \cdot y_{n-1}(p) \\
 y_{n-1}(p) &= W_{n-1}(p) \cdot y_{n-2}(p) \\
 \dots\dots\dots \\
 y_2(p) &= W_2(p) \cdot y_1(p) \\
 y_1(p) &= W_1(p) \cdot x(p)
 \end{aligned} \right\} (2.27)$$

(2.27) tenglamalar tizimida oraliqdagi o‘zgaruvchilarni yo‘qotib, quyidagi ifoda olinadi:

$$y(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \dots W_n(p) \cdot x(p),$$

bundan

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \dots W_n(p)$$

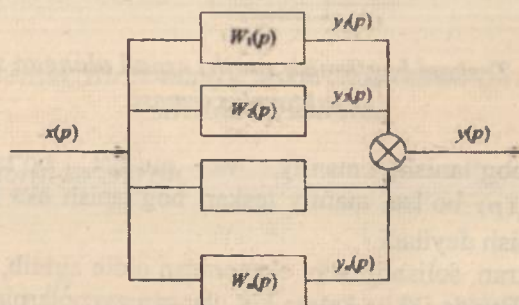
yoki

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (2.28)$$

Shunday qilib, zvenolari ketma-ket ulangan bog'lanishning (ya'ni ochiq zanjirli tizimning) uzatish funksiyasi ayrim zvenolar uzatish funksiyasining ko'paytmasiga teng bo'lar ekan.

b) zvenolarning parallel ulanishi.

Bu holda hamma «n» ta zvenolarning kirishiga bitta signal ta'sir etadi, chiqish signallari esa qo'shiladi (2.37-rasm).



2.37-rasm. Ketma-ket ulangan zvenolarning strukturali sxemasi.

$$y(p) = y_1(p) + y_2(p) + \dots + y_n(p), \quad (2.29)$$

$$\left. \begin{aligned} y_1(p) &= W_1(p) \cdot x(p) \\ y_2(p) &= W_2(p) \cdot x(p) \\ \dots &\dots \dots \dots \\ y_n(p) &= W_n(p) \cdot x(p) \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

(2.30) tenglamani (2.29) tenglamaga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$y(p) = [W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)] \cdot x(p),$$

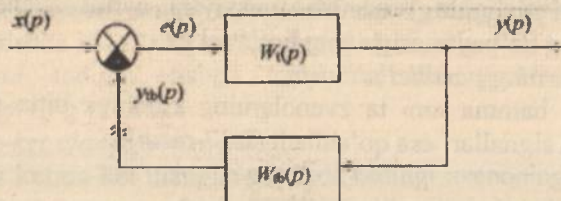
bundan

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p). \quad (2.31)$$

Shunday qilib, zvenolar parallel ulangan bog'lanishning uzatish funksiyasi undagi zvenolar uzatish funksiyalarining yig'indisiga teng bo'lar ekan.

d) *zvenolarning teskari bog'lanish zanjiri orqali ulanishi.*

Bunday bog'lanishning strukturali sxemasi 2.38-rasmda keltirilgan.



2.38-rasm. *Teskari bog'lanish zanjiri orqali ulangan zvenolarning strukturali sxemasi.*

Teskari bog'lanish manfiy va musbat bo'ladi. Agarda $e(p) = x(p) - y_n(p)$ bo'lsa, manfiy teskari bog'lanish aks holda musbat teskari bog'lanish deyiladi.

Tizimni fikran, solishtiruvchi elementdan oldin ajratib, ochiq tizimni hosil qilamiz. Bunda ikkita ketma-ket ulangan zvenolarning bog'lanishi hosil bo'ladi. Shuning uchun ochiq tizimning uzatish funksiyasi

$$y(p) = W_f(p) \cdot e(p), \quad (2.32)$$

$$e(p) = x(p) \pm y_n(p). \quad (2.33)$$

(2.33) tenglamani berk tizimning ulanish tenglamasi deyiladi.

$$y_n(p) = W_n(p) \cdot y(p). \quad (2.34)$$

(2.34) tenglamani oldin (2.33) ga keyin esa (2.32) tenglamaga qo'yib, berk tizimning uzatish funksiyasi aniqlanadi.

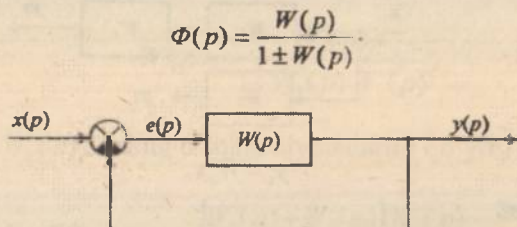
$$y(p) = W_f(p)[x(p) \pm W_n(p) \cdot y(p)],$$

$$y(p) = [1 \pm W_f(p)W_n(p)] = W_f(p) \cdot x(p),$$

$$\Phi(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_0(p)} = \frac{W_1(p)}{1 \pm W(p)}, \quad (2.35)$$

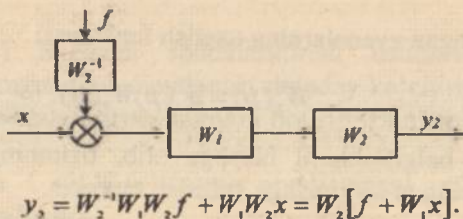
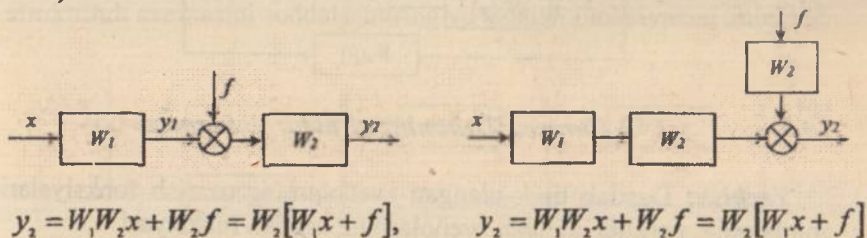
bu yerda $W(p) = W_1(p) \cdot W_0(p)$ – ochiq tizimning uzatish funksiyasi.

Ochiq tizimga birlik manfiy teskari bog‘lanish kiritilganda berk tizimning uzatish funksiyasi (2.35) formulaga muvofiq quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi (2.39-rasm).

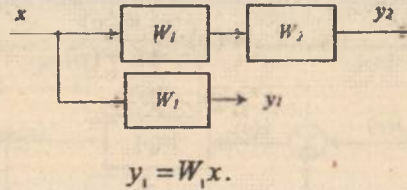
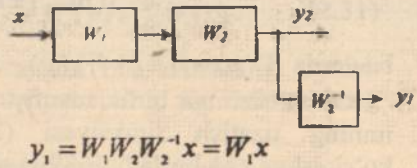
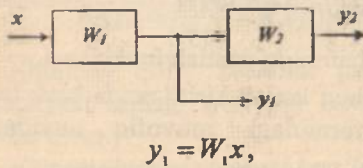


2.39-rasm. Birlik manfiy teskari bog‘lanish zvenolarning strukturali sxemasi.

e) summatorni ko‘chirish.

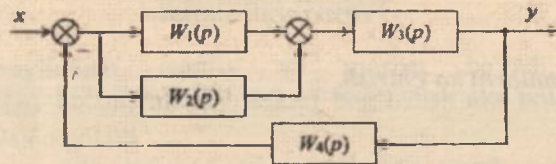


1) tugunni ko'chirish. —



2.4 - misol.

2.40-rasmda keltirilgan strukturali sxemadan tizimning umumiy uzatish funksiyasini aniqlang.



2.40-rasm. Tizimning strukturali sxemasi.

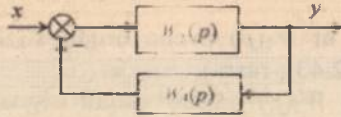
Yechish: Dastlab tipik ulangan zvenolarning uzatish funksiyalarini aniqlaymiz: parallel ulangan zvenolarning uzatish funksiyasi

$$\bar{W}_1(p) = W_1(p) + W_2(p),$$

ketma-ket ulangan zvenolarning uzatish funksiyasi

$$\bar{W}_2(p) = \bar{W}_1(p) W_3(p).$$

Kiritilgan belgilashlarni hisobga olib, tizimning tuzilishini 2.41-rasmda ko'rsatilgan ko'rinishga keltirish mumkin.



2.41-rasm. Ekvivalent tizimning strukturali sxemasi.

Strukturali o'zgartirishlardan foydalanib, tizimning umumiy uzatish funksiyasini yozamiz

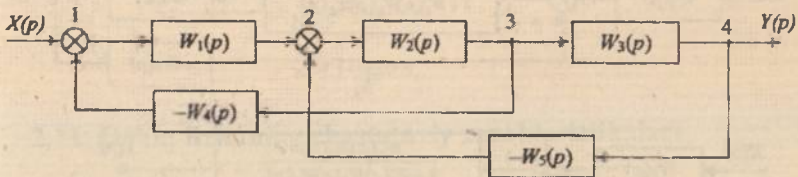
$$W(p) = \frac{\overline{W}_2(p)}{1 + \overline{W}_2(p) W_1(p)}$$

$\overline{W}_1(p)$ va $\overline{W}_2(p)$ larning o'rniga qiymatlarini qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$W(p) = \frac{[W_1(p) + W_2(p)] W_1(p)}{1 + [W_1(p) + W_2(p)] W_1(p) W_2(p)}$$

2.5 - misol.

Boshqarish tizimining ko'pkonturli strukturali sxemasi berilgan (2.42-rasm). Struktur o'zgartirish qoidalari bo'yicha tizimning strukturali sxemasini soddalashtiring va uzatish funksiyasini aniqlang.



2.42-rasm. Tizimning strukturali sxemasi.

Yechish: 1) Sxemani soddalashtirish usullaridan foydalanib, summator yoki tugunni elementlararo shunday ko'chirish kerakki, qisqa yo'l bilan uni soddalashtirish mumkin bo'lsin. Buning uchun bir nechta variant mavjud:

a) summator 1 ni $W_1(p)$ zveno orqali signal yo'nalishi bo'yicha ko'chirish (2.43a-rasm);

b) summator 2 ni $W_1(p)$ zveno orqali signalga teskari yo'nalish bo'yicha ko'chirish (2.43g-rasm);

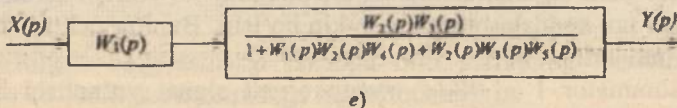
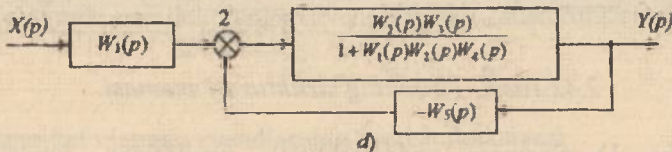
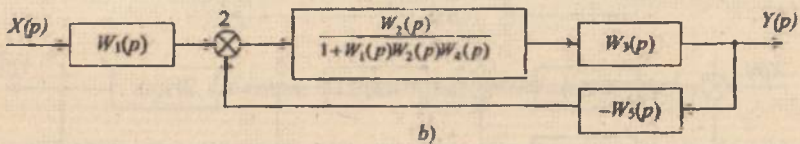
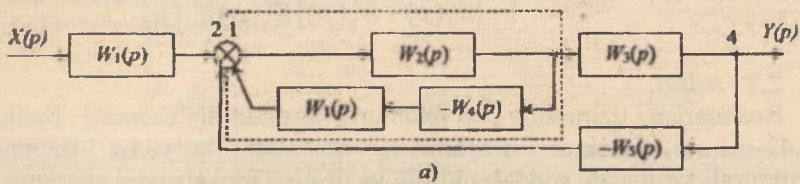
d) tugun 3 ni $W_3(p)$ zveno orqali signal yo'nalishi bo'yicha ko'chirish (2.43h-rasm), bunda tugun 4 bilan tugun 3 bir-birini qoplaydi;

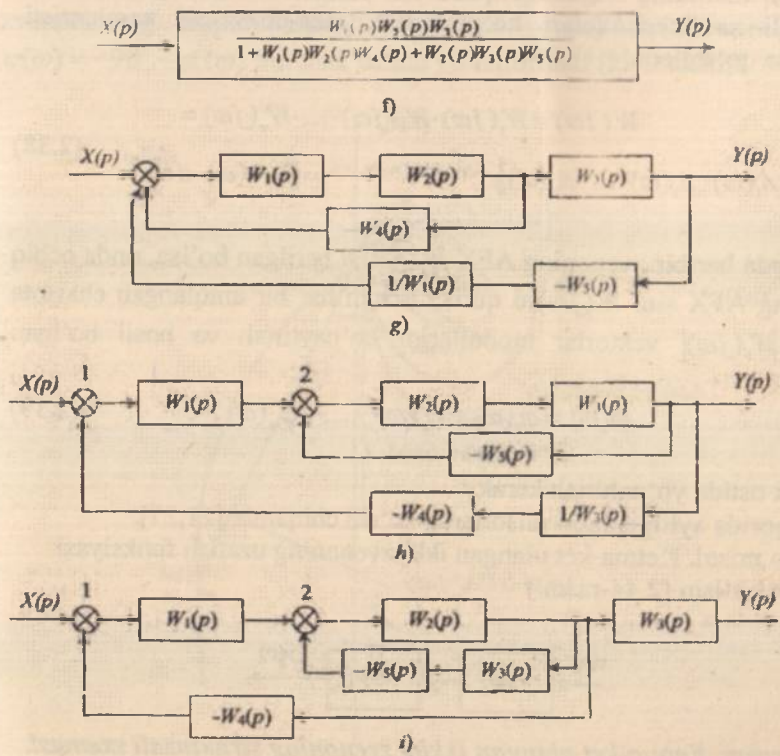
e) tugun 4 ni $W_3(p)$ zveno orqali signalga teskari yo'nalish bo'yicha ko'chirish (2.43i-rasm).

Istalgan holatda biz manfiy bir-birini kesib o'tmaydigan bog'lanishli ko'pkonturli sxemani olamiz. So'ngra 2.43,a-f-rasmda ko'rsatilgan kabi teskari aloqaning ichki konturidan boshlab soddalashtirib boramiz.

Tizimning uzatish funksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_4(p) + W_2(p)W_3(p)W_5(p)} \quad (2.36)$$





2.43-rasm.

2.11. Ochiq tizimning chastotaviy xarakteristikalarini

Ochiq tizimning chastotali xarakteristikasi $W(j\omega)$, ya'ni AFX si rostlash jarayonining turg'unlik holatini tekshirishda juda muhim rol o'ynaydi.

Agarda har bir zvenoning uzatish funksiyasi $W_i(p)$ ma'lum bo'lsa, unda har doim ochiq tizimning chastotali xarakteristikalarini hisoblash mumkin bo'ladi, chunki

$$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p). \tag{2.37}$$

Ochiq tizimning AFX sini qurishda ayrim zvenolarning amplituda-chastotali xarakteristikalari ko'paytirilib, faza-chastotali xarakteristikalari esa qo'shiladi [4,17,26].

$$W(j\omega) = W_1(j\omega) \cdot W_2(j\omega) \cdot \dots \cdot W_n(j\omega) = [A_1(\omega) \cdot A_2(\omega) \cdot \dots \cdot A_n(\omega)] e^{j(\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \dots + \varphi_n(\omega))} = \prod_{i=1}^n A_i(\omega) \cdot e^{j\varphi_i(\omega)} \quad (2.38)$$

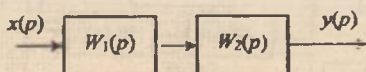
Agarda har bir zvenoning AFX $W(j\omega)$ si berilgan bo'lsa, unda ochiq tizimning AFX sini $W(j\omega)$ ni qurish uchun har bir aniqlangan chastota uchun $|W(j\omega)|$ vektorlar modullarini ko'paytirish va hosil bo'lgan vektorni

$$\varphi(\omega) = \varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \dots + \varphi_n(\omega) \quad (2.39)$$

burchak ostida yo'naltirish kerak.

Yuqorida aytilganlarni misollarda ko'rib chiqamiz [21,27].

2.6 - misol. Ketma-ket ulangan ikki zvenoning uzatish funksiyasi berilgan bo'lsin (2.44-rasm.)



2.44-rasm. Ketma-ket ulangan ikkita zvenoning strukturali sxemasi.

$$W_1(p) = \frac{K}{1 + pT_1}; \quad W_2(p) = \frac{1}{p}$$

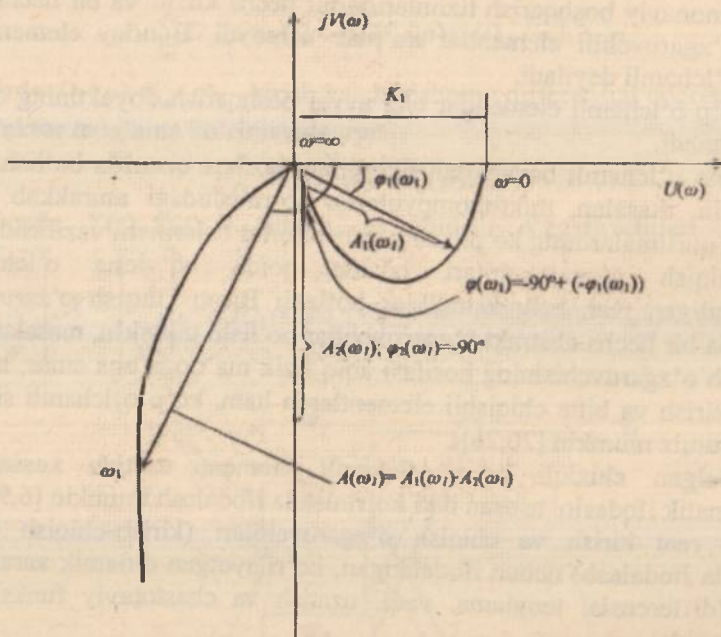
Bunda ochiq tizimning uzatish funksiyasi

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{K}{p(1 + pT_1)}$$

chastotali uzatish funksiyasi esa $W(j\omega) = W_1(j\omega) \cdot W_2(j\omega) = \frac{K}{(1 + j\omega T_1)j\omega}$ bo'ladi.

Inersial zvenoning AFX $W_1(j\omega)$ si va ideal integrallovchi zvenoning AFX $W_2(j\omega)$ sining grafigi ma'lum. Shuning uchun bu zvenolarning

AFX si chizib olinadi hamda har bir belgilangan chastota uchun bu zvenolarning amplitudalarini ko'paytirib, $\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) = \varphi(\omega)$ yoki $\varphi(\omega) = -90^\circ - \varphi_1(\omega)$ burchak ostida yo'naltiriladi (2.45-rasm).



2.45-rasm. Amplituda fazali xarakteristika.

Masalan, ω_1 chastotaga to'g'ri kelgan nuqta uchun inersial zvenoning amplitudasi $A_1(\omega_1)$ ga fazasi esa $\varphi_1(\omega_1)$ ga, integrallovchi zvenoning amplitudasi $A_2(\omega_1)$ ga fazasi esa o'zgarimas $\varphi_2(\omega) = -90^\circ$ ga teng bo'ladi.

(2.38) ifodaga muvofiq bu chastota uchun $A(\omega_1) = A_1(\omega_1) \cdot A_2(\omega_1)$ bo'lib, bu amplitudani $\varphi(\omega_1) = -90^\circ + (-\varphi_1(\omega_1))$ burchak ostida yo'naltiriladi. Har bir belgilangan chastota uchun yuqoridagi tadbirlar qaytariladi va umumiy AFX chiziladi.

2.12. Ko'p o'lchamli elementlarni vektor-matritsa shaklida ifodalash

Zamonaviy boshqarish tizimlarida bir necha kirish va bir necha chiqish o'zgaruvchili elementlar ko'plab uchraydi. Bunday elementlarni ko'p o'lchamli deyiladi.

Ko'p o'lchamli elementlar eng avval boshqarish obyektining o'zida hisoblanadi.

Ko'p o'lchamli boshqarish tizimining boshqa qismida bo'lishi ham mumkin, masalan, mikrokompyuterlar ko'rinishidagi murakkab boshqarish qurilmalarining ko'pkanali generatorlar bajarilishi vazifasida.

Chiqish o'zgaruvchilari odatda qoida bo'yicha o'lchashlar uzatiladigan real fizik kattaliklar bo'ladi. Biroq chiqish o'zgaruvchisi sifatida bir necha abstrakt o'zgaruvchilar bo'lishi mumkin, masalan, real chiqish o'zgaruvchisining hosilasi aniq fizik ma'noga ega emas, hattoki bitta kirish va bitta chiqishli elementlarda ham, ko'p o'lchamli sifatida qarashimiz mumkin [20,26].

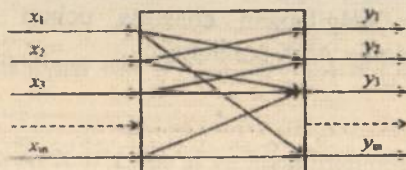
Istalgan chiziqli ko'p o'lchamli element uzatish xossasining matematik ifodasini asosan ikki ko'rinishda ifodalash mumkin [6,9]:

1) real kirish va chiqish o'zgaruvchilari (kirish-chiqish (KCh) usulida ifodalash) uchun ifodalangan, ko'rilayotgan dinamik xarakteristika (differensial tenglama, vaqt, uzatish va chastotaviy funksiyalar) yordamida;

2) abstrakt chiqish o'zgaruvchisi uchun ifodalangan Koshi shaklidagi differensial tenglamalar yordamida.

2.13. Avtomatik boshqarish tizimini "kirish-chiqish" usulida ifodalash

Ko'p o'lchamli obyekt m kirish o'zgaruvchi va n chiqish o'zgaruvchilariga ega bo'lsin (2.46-rasm).



2.46-rasm. Ko'p o'lchamli obyekt.

Umumiy holda har bir kirish o'zgaruvchilari har bir chiqish o'zgaruvchilari bilan bog'langan. Agar barcha kanallar $x_k - y_i$ bo'yicha o'zaro aloqa chiziqli (chiziqlantirilgan) bo'lsa, u holda umumiy holda elementlarni quyidagi tizim ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$\sum_{i=1}^n D_{ij}(p)y_j(t) = \sum_{k=1}^m K_{ik}(p)x_k(t), \quad i=1,2,\dots,n,$$

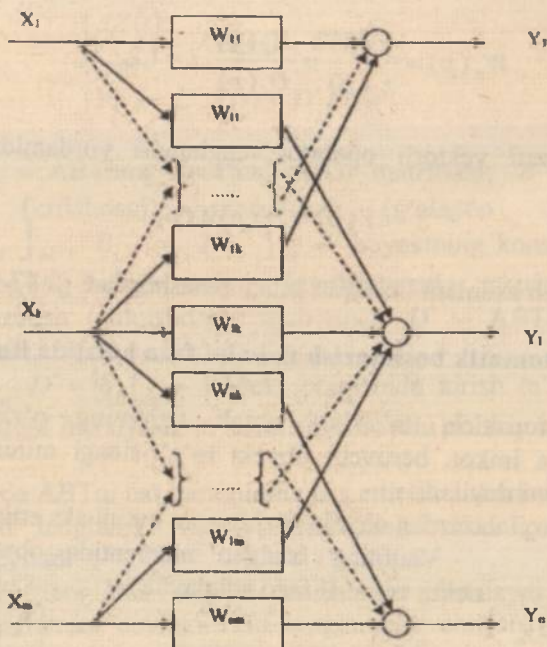
bu yerda $D_{ij}(p), K_{ik}(p)$ – kirish va chiqishning differensial operatorlari.

Vektor tenglama ko'rinishida esa

$$D(p)Y(t) = K(p)X(t),$$

bu yerda $Y(t), X(t)$ – kirish va chiqish o'zgaruvchilari vektori

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, D(p), K(p) \text{ – operator matrisalari } \underset{\dots}{D_{ij}(p)}, \underset{\dots}{K_{ik}(p)}.$$



2.47-rasm. Ko'p o'lchamli obyektning kirish-chiqish usulida ifodalangan sxemasi.

Agar boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lsa, unda Laplas bo'yicha ifodasi

$$D(p)Y(p) = K(p)X(p).$$

Endi elementning uzatish funksiyasi matritsasini (uzatish matritsasi-ni) aniqlash mumkin:

$$W(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & \dots & W_{1n}(p) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ W_{m1}(p) & \dots & W_{mn}(p) \end{bmatrix} = D^{-1}(p)K(p).$$

Ushbu matrisaning elementlari o'zida alohida kanallar $x_i - y_i$, bo'yicha uzatish funksiyasini $W_{in}(p)$ aks ettiradi. Agar $D(p)$ diagonal bo'lsa, unda $W_{in}(p)$ uzatish funksiyasini aniqlashdan foydalanib oson topiladi:

$$W_{in}(p) = \frac{y_i(p)}{x_i(p)} = \frac{K_{in}(p)}{D_{ii}(p)}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Unda tizimni vektorli operator tenglamasi yordamida ifodalash mumkin

$$Y(p) = W(p)X(p)$$

va boshlang'ich sxemani boshqasi bilan almashtiriladi (2.47-rasm):

2.14. Avtomatik boshqarish tizimini fazo holatida ifodalash

Ma'lum topshiriq ta'sirlari orqali tizimning o'zini tutishini bashoratlashga imkon beruvchi obyekt to'g'risidagi minimal axborot **ABTning holati** deyiladi.

ABN nuqtayi nazardan obyekt o'zida qora qutini aks ettiradi.

Vaqtning istalgan momentida obyekt holatini uchta vektorli fazo aniqlaydi:



1) Kirishdagi vektorli fazo $R = \begin{bmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_m \end{bmatrix}$ obyektidagi

(umumiy holda – boshqaruvchi, xalaqit va yuklama) kirish ta'sirlarini aniqlaydi.

2) Ichki holat vektorli fazo $X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$ kirish ta'sirida tizimning reaksiyasini aniqlaydi.

3) Chiqishdagi vektorli fazo $Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$ chiqish o'zgaruvchilarini aniqlaydi.

Ushbu vektorlar yig'indisi tizimning holatini (fazo holatini) aniqlaydi.

Uzluksiz chiziqli tizim uchun obyektning dinamika va statikasi quyidagi vektorli tenglama ko'rinishida ifodalaniladi [6,9,11]:

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = A' X(t) + B' R(t) \\ Y(t) = C' X(t) + D' R(t), \end{cases} \quad (2.40)$$

bu yerda A' – ABTning koeffitsiyentlar matritsasi; B' – ABTning boshqarish (kirishdagi) matritsasi (g'alayon ko'rilmaydi); $A' = [a_{ij}]_{n \times n}$, $B' = [b_{ij}]_{n \times m}$ – obyektning konstruktiv parametrlariga bog'liq bo'lgan doimiy koeffitsiyentlar matritsalarini; C' – ABTning kuzatish (chiqishdagi) matritsasi; D' – ABTning aylanib o'tish matritsasi.

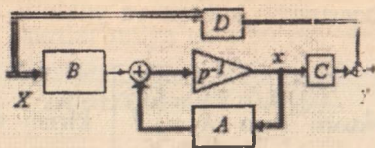
$C' = [c_{ij}]_{m \times n}$, $D' = [d_{ij}]_{m \times m}$ – obyekt chiqishida kirish ta'siri va holat o'zgaruvchilariga inersiyasiz ta'sirini tavsiflovchi doimiy koeffitsiyentli matritsalar.

Ushbu ifoda ABTni har tomonlama aks ettirish imkonini beradi:

– birinchi tenglama ABTni dinamikasini ifodalaydi va *holat tenglamasi* deyiladi.

– ikkinchi tenglama ABTni statikasini ifodalaydi va chiqish (kuzatish) tenglamasi deyiladi. Bu tenglamalar chiqish (kuzatiluvchi) o'zgaruvchili holat o'zgaruvchilari va kirish ta'sirlarini bog'laydi.

(2.40) tenglama ko'rinishida holat o'zgaruvchilari yordamida ifodalangan obyekt modeli quyidagi algoritmik sxemaga mos keladi:



2.48-rasm. Obyekt modelining algoritmik sxemasi.

\dot{X} va X dan tarkib topgan zvenoda o'zaro quyidagi amal bajariladi:

$$X = \frac{1}{p} \dot{X},$$

bu yerda $\frac{1}{p}$ – integrallash operatori, I – birlik matritsa.

Holat va chiqish tenglamalaridan ko'p o'lchamli chiziqli obyekt statikasi matritsali tenglamasini quyidagicha olish mumkin:

$$Y = K_r R,$$

bu yerda $K_r = D^* - C^*(A^*)^{-1}B^*$ – obyektning uzatish koeffitsiyentlari matritsasi.

Amaliyotda kirish vektori va ichki holatni birgalikda birlashtirilsa qulay bo'ladi:

$$V = \begin{bmatrix} R(t) \\ X(t) \end{bmatrix} \text{ – umumlashtirilgan vektor holati.}$$

Shunday qilib, tenglamalar tizimini olamiz:

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = A \cdot V(t), \\ Y(t) = C \cdot V(t). \end{cases}$$

Unda (2.40) tizimni quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B^* & A^* \end{bmatrix} \text{ – koeffitsiyentlar matritsasi;}$$

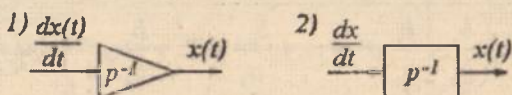
$$C^* = \begin{bmatrix} D^* & C^* \end{bmatrix} \text{ – chiqish matritsasi.}$$

Fazo holatida tizimlarni grafik ko'rinishi sifatida A, C matritsalarini oson olishga imkon beruvchi holat o'zgaruvchilari sxemalarining maxsus strukturali sxemalari taklif etiladi.

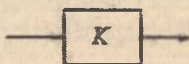
2.15. Holat o'zgaruvchilari sxemalari

Holat o'zgaruvchilari sxemalari quyidagi asosiy elementlardan tashkil topgan:

1. Holat o'zgaruvchilari sxemalari asosida birlik integrator yotadi:



2. Holat o'zgaruvchilari sxemalarining keyingi asosiy elementi proporsional (inersiyasiz) zveno hisoblanadi:



3. Summator.

Holat o'zgaruvchilari sxemalari obyektning uzatish funksiyasi bo'yi-cha quriladi. Holat sxemasini qurishning uch usuli mavjud:

- bevosita dasturlashtirish (bazali) usuli;
- parallel dasturlashtirish usuli;
- ketma-ket dasturlashtirish usuli.

Bevosita dasturlashtirish (bazali) usuli. ABTning ifodasi uzatish funksiyasi ko'rinishida berilgan bo'lsin:

$$W(p) = \frac{b_0 p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_{n-1} p + b_n}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n}, \text{ bu yerda } n=m.$$

Holat o'zgaruvchilari sxemalarini bazali usulda qurish algoritmi.

1. *O'zgartirilgan* uzatish funksiyasini olamiz: berilgan surat va maxrajlarni eng yuqori darajali p ga bo'lamiz, shuningdek a_0 koef-fitsiyentga ham. Agar $m > n$ bo'lmasa, holat o'zgaruvchilari sxemalarini qurib bo'lmaydi.

$$W(p) = \frac{b_0 + b_1 p^{-1} + \dots + b_{n-1} p^{-(n-1)} + b_n p^{-n}}{a_0 + a_1 p^{-1} + \dots + a_{n-1} p^{-(n-1)} + a_n p^{-n}} \left| \begin{array}{l} + a_0 \\ + a_0 \end{array} \right.$$

$$W(p) = \frac{\frac{b_0}{a_0} + \frac{b_1}{a_0} p^{-1} + \dots + \frac{b_{n-1}}{a_0} p^{-(n-1)} + \frac{b_n}{a_0} p^{-n}}{1 + \frac{a_1}{a_0} p^{-1} + \dots + \frac{a_{n-1}}{a_0} p^{-(n-1)} + \frac{a_n}{a_0} p^{-n}}$$

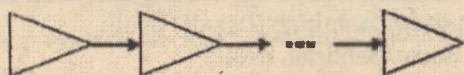
$$W(p) = \frac{Y(p)}{R(p)} \Rightarrow Y(p) = W(p) \cdot R(p);$$

$$Y(p) = E(p) \left(\frac{b_0}{a_0} + \frac{b_1}{a_0} p^{-1} + \dots + \frac{b_{n-1}}{a_0} p^{-(n-1)} + \frac{b_n}{a_0} p^{-n} \right), \text{ bu yerda } E(p) - \text{xatolik.}$$

$$E(p) = \frac{R(p)}{1 + \frac{a_1}{a_0} p^{-1} + \dots + \frac{a_{n-1}}{a_0} p^{-(n-1)} + \frac{a_n}{a_0} p^{-n}}$$

$$E(p) = R(p) - E(p) \frac{a_1}{a_0} p^{-1} - \dots - E(p) \frac{a_n}{a_0} p^{-n}.$$

2. k birlik integratordan ketuna-ket zanjir quramiz, bu yerda, k - o'zgartirilgan uzatish funksiyasi suratining p darajali maksimal moduli.

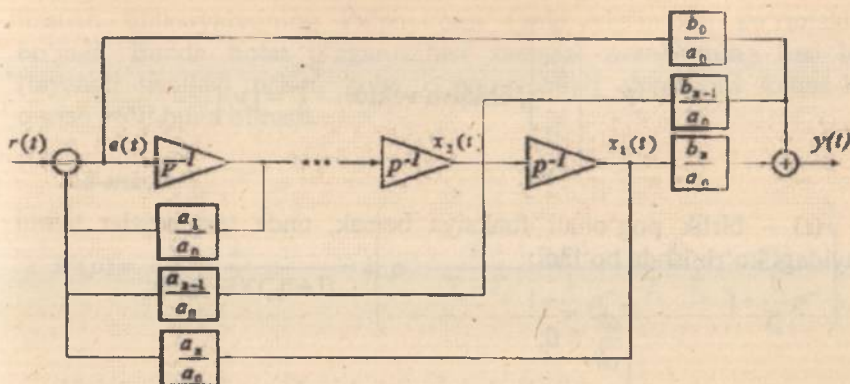


3. O'zgartirilgan uzatish funksiyasining surati to'g'ri aloqa tarmog'ini qurishga imkon beradi. Har bir (i -chi) integrator mos ravishda koeffitsiyent ($\frac{b_i}{a_0}$)ga ko'paytiriladi, so'ngra olingan signallar

yig'iladi. Agar koeffitsiyent ($\frac{b_i}{a_0}$) = 0 bo'lsa, unda mos ravishda

signallar qatnashmaydi. O'zgartirilgan uzatish funksiyasining qo'shiluvchi suratlari soni chiqish signalini hosil qiluvchi signallar soniga teng bo'ladi.

$\frac{b_m}{a_0}$ koeffitsiyent xatolik signaliga mos bo'ladi. Agar $m < n$ bo'lsa, unda xatolik signaliga muvofiq koeffitsiyent nolga teng bo'ladi.



4. O'zgartirilgan uzatish funksiyasining maxraji teskari aloqa (analogik) liniyalarini qurishga imkon beradi. (+) belgili maxraj koefitsiyentlari manfiy teskari aloqaga mos keladi va aksincha. Maxrajda bir bo'lishi shart, lekin u holat o'zgaruvchilari sxemalarida aks etmaydi.

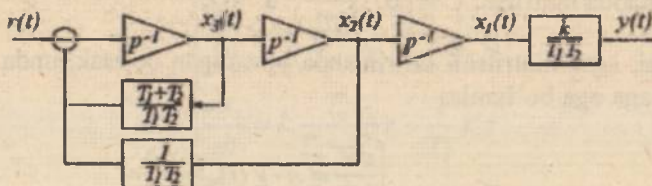
2.7-misol. Quyidagi uzatish funksiyasini ko'rib chiqamiz:

$$W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

uni

$$W(p) = \frac{k}{T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2)p^2 + p} = \frac{\frac{k}{T_1 T_2} p^{-3}}{1 + \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} p^{-1} + \frac{1}{T_1 T_2} p^{-2}}$$

ga o'zgartiramiz. Berilganlar bo'yicha sxema quramiz



Holat o'zgaruvchilarining ushbu sxema bo'yicha tenglamalar tizimini tuzamiz. Kengaytirilgan vektorni ko'ramiz:

$$V = \begin{bmatrix} r \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, \text{ chiqish vektori - } Y = [y_1].$$

$r(t)$ – birlik pog'onali funksiya bersak, unda tenglamalar tizimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = 0; \\ \frac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} = x_3; \\ \frac{dx_3}{dt} = r - \frac{T_1 + T_2}{T_1 \cdot T_2} x_3 + x_2 \left(-\frac{1}{T_1 \cdot T_2} \right); \end{cases}$$

$y(t)$ uchun tenglama tuzamiz: $y(t) = \frac{k}{T_1 T_2} x_1$.

Matritsa ko'effitsiyentlarini aniqlaymiz: $A = \begin{bmatrix} r & x_1 & x_2 & x_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -\frac{1}{T_1 T_2} & -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} \end{bmatrix}$.

Chiqishda matritsa: $C = \begin{bmatrix} 0 & \frac{k}{T_1 T_2} & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Ya'ni, agar matritsali ko'rinishda yozadigan bo'lsak, unda quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = A \cdot V(t), \\ Y(t) = C \cdot V(t). \end{cases}$$

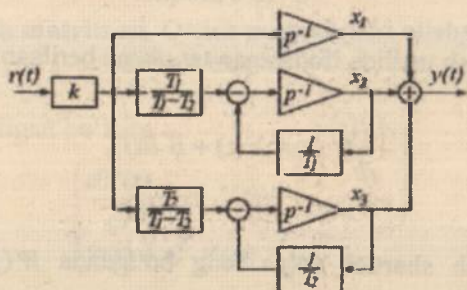
Ketma-ket va parallel dasturlashtirish usuli. Ushbu holatda berilgan strukturali sxema bog'langan zvenolar ko'rinishida yoki oddiy zvenolar

uzatish funksiyalarining ko'paytmasi (yoki yig'indisi) ko'rinishida bo'ladi. Bunda holat o'zgaruvchisi sxemasi zvenolarning har biri (tayanch usullar) uchun holat o'zgaruvchilari sxemasini ketma-ket qurish yo'li bilan olinadi.

2.8-misol:

$$W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = k \left(p^{-1} \frac{T_1}{T_1 - T_2} \frac{p^{-1}}{1 + \frac{1}{T_1} p^{-1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \frac{p^{-1}}{1 + \frac{1}{T_2} p^{-1}} \right)$$

Holat sxemasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:



Tenglamalar sistemasini tuzamiz:

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = 0; \\ \frac{dx_1}{dt} = kr; \\ \frac{dx_2}{dt} = k \left(\frac{-T_1}{T_1 - T_2} \right) r - \frac{1}{T_1} x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} = k \frac{T_2}{T_1 - T_2} r - \frac{1}{T_2} x_3; \\ y = x_1 + x_2 + x_3. \end{cases}$$

Unda A matritsa koeffitsiyentlari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$A_* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ k & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{T_1}{T_1 - T_2} & 0 & -\frac{1}{T_1} & 0 \\ k\frac{T_1}{T_1 - T_2} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_2} \end{bmatrix}$$

C matritsa esa quyidagiga teng: $C = [0 \ 1 \ 1 \ 1]$.

2.16. «Kirish-chiqish» va fazo holati usuli ifodalarining o'zaro aloqasi

Kirish-chiqish usulida ifodalagan tenglama berilgan bo'lsin

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = A \cdot X(t) + B \cdot R(t), \\ Y(t) = C \cdot X(t) + D \cdot R(t). \end{cases} \quad (2.41)$$

Boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda $W(p) = \frac{Y(p)}{R(p)}$, unda (2.41) ifodaga muvofiq:

$$\begin{aligned} pX(p) &= A \cdot X(p) + B \cdot R(p), \\ (pI - A)X(p) &= B \cdot R(p), \\ X(p) &= (pI - A)^{-1} B \cdot R(p). \end{aligned}$$

$Y(p)$ ni o'rninga quysak [9,11]:

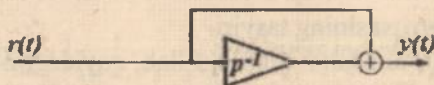
$$Y(p) = C \cdot (pI - A)^{-1} B \cdot R(p) + D \cdot R(p) \Rightarrow \frac{Y(p)}{R(p)} = W(p) = C \cdot (pI - A)^{-1} B + D.$$

Bundan ko'rinib turibdiki, matritsalar aniqlovchisi $(pI - A)^{-1}$ - tizimning xarakteristik tenglamasi hisoblanadi

$$\left(\frac{C \cdot \text{bog} \cdot B}{\Delta} + D \right).$$

2.9-misol.

Agar holat o'zgaruvchilari sxemasi quyidagi ko'rinishda bo'lsa, uzatish funksiyasini oling:



$$A^*=[0], B^*=[1], \quad C^*=[1], \quad D^*=[1],$$

$$W(p) = C^* \cdot (pI - A^*)^{-1} \cdot B^* + D^* = \frac{[1] \cdot [1] \cdot [1]}{p} + [1] = \frac{1}{p} + 1 = \frac{p+1}{p}$$

2.17. O'tish matritsasi. O'tish matritsasini olishning analitik uslubi

ABT ifodasi berilgan bo'lsin:

$$\begin{cases} \frac{dV(t)}{dt} = A \cdot V(t), \\ Y(t) = C \cdot V(t). \end{cases} \quad (2.42)$$

Ushbu tenglamalar sistemasining yechimini topish kerak.

Ushbu sistemani yechish uchun (2.42) tenglamaga Laplas to'g'ri almashtirishini qo'llaymiz, boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lmasligini ham hisobga olgan holda (tadqiq qilayotganda biz odatda boshlang'ich shartlar nolga teng deb hisoblaymiz, aslida esa boshqacha bo'lishi ham mumkin) [9,11]:

$$\begin{aligned} \frac{dV(t)}{dt} &= A \cdot V(t), \\ pV(p) - V(0) &= A \cdot V(p) \rightarrow pV(p) - A \cdot V(p) = V(0). \end{aligned}$$

Guruhlashtiramiz:

$$(pI - A) \cdot V(p) = V(0), \quad (2.43)$$

bu yerda $(pI - A)$ kvadrat matritsa; I - birlik matritsa.

(2.43) tenglamaning chap tarafini $(pI - A)$ teskari matritsasiga ko'paytiramiz:

$$V(p) = (pI - A)^{-1} V(0),$$

$$V(p) = \Phi(p) V(0),$$

$\Phi(p)$ – o'tish matritsasining tasviri.

Laplas teskari almashtirishini qo'llab, quyidagini olamiz:

$$V(t) = \underbrace{L^{-1}\{(pI - A)^{-1}\}}_{\Phi(t)} \cdot V(0).$$

Shunday qilib, tenglama yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$V(t) = \Phi(t) V(0),$$

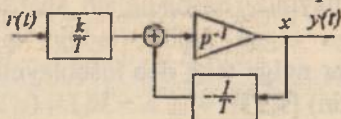
bu yerda, $\Phi(t)$ – o'tish (kengaytirilgan) matritsasi, $\Phi(t) = L^{-1}\{(pI - A)^{-1}\}$.

Ushbu tenglamani tahlil qilib, agar bizga boshlang'ich shartlar ma'lum bo'lsa (ular odatda ma'lum), unda tizim o'zini tutishi, istalgan t vaqtda o'zgaruvchilar qiymati to'g'risida hammasini bilish uchun o'tish matritsasini topish kerak bo'ladi.

Bu matritsani uch usulda olish mumkin, birinchisi – analitik – biz yuqorida ko'rib chiqqan – $\Phi(t) = L^{-1}\{(pI - A)^{-1}\}$ ni aniqlashda matritsani olish algoritmi.

2.10-misol:

Aperiodik zvenoni ko'rib chiqamiz – $W(p) = \frac{k}{p+1}$.



$$T=1, \begin{cases} \frac{dr}{dt} = 0; \\ \frac{dx}{dt} = kr - x; \end{cases} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k & -1 \end{bmatrix}$$

$F(t)$ ni topamiz:

$$pI = \begin{bmatrix} p & 0 \\ 0 & p \end{bmatrix}; \quad (pI - A) = \begin{bmatrix} p & 0 \\ -k & p+1 \end{bmatrix}; \quad \Delta = p(p+1); \quad (pI - A)^{-1} = \begin{bmatrix} p & -k \\ 0 & p+1 \end{bmatrix};$$

$$[pI - A]_{\text{inv}} = \begin{bmatrix} p+1 & 0 \\ k & p \end{bmatrix} \quad \{pI - A\}^{-1} = \frac{1}{p(p+1)} \begin{bmatrix} p+1 & 0 \\ k & p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{p} & 0 \\ \frac{k}{p(p+1)} & \frac{1}{p+1} \end{bmatrix}$$

$$\Phi(t) = L^{-1}\{(pI - A)^{-1}\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ k(1 - e^{-t}) & e^{-t} \end{bmatrix} - \text{Laplas jadvali bo'yicha qiymatlar}$$

2.18. Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha o'tish matritsalarini tasvirini olish

O'tish matritsasi quyidagi ko'rinishda desak

$$\Phi(t) = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n-1} & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & & f_{2n-1} & f_{2n} \\ \vdots & & \ddots & & \\ f_{n-1,1} & & & \ddots & f_{n-1,n} \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{n,n-1} & f_{nn} \end{bmatrix} \quad V(t) = \Phi(t) \cdot V(0)$$

umumlashgan vektorning i -chi tashkil etuvchisini quyidagicha yozish mumkin:

$$v_i(t) = f_{i1}v_1(0) + f_{i2}v_2(0) + \dots + f_{ij}v_j(0) + \dots + f_{in}v_n(0).$$

Ushbu tenglamada $v_j(0) = 1$ bo'lishi mumkin;
 $v_i(0) = 0 \Big|_{i \neq j}$

Agar boshlang'ich shartlar $v_j(0) = 1$ bo'lsa, unda bu integratorning j chi kirishiga birlik impuls berilganligini bildiradi (delta funksiyaning integrali birlik funksiyani beradi) va unda umumlashgan vektorning i chi tashkil etuvchisini tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$v_i(t) = f_{ij}$$

ya'ni integratorning mos i chi kirishlari birlik impulsga reaksiyasi hisoblanadi va bu reaksiya $F(t)$ o'tish matritsasining f_i elementi hisoblanadi.

$F(t)$ o'tish matritsasining f_j elementi boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda j -chi o'zgaruvchiga birlik impuls berilgan i -chi reaksiya kabi holat o'zgaruvchilar sxemasi bo'yicha aniqlanadi. Birlik impulsga reaksiya – bu vazn - $w(t)$ funksiyasini aniqlaydi.

Vazn funksiyasi va uzatish funksiyalarini orasidagi aloqani hisobga olgan holda j -chi integratorning kirishi va i -chi integratorning chiqishlari orasidagi uzatish funksiyani o'zida aks ettirgan $F(t)$ o'tish matritsasining f_j elementlaridan olamiz.

Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha $F(r)$ matritsani olish algoritmi quyidagicha [9,11]:

1) Tizim kirishiga birlik pog'onali signal berilishini hisobga olgan holda tizim kirishiga qo'shimcha integratorni chizib olamiz.

2) So'ngra holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha $V(t)$ umumlashgan vektorda o'zgaruvchilarni tartiblaymiz.

3) Mos ravishda tanlangan tartib bilan chiqish integratorlarini nomerlaymiz.

4) Meyson formulasidan foydalanib, $F(r)$ matritsa elementlarini olamiz.

5) Matritsa elementlarini olishda integrator ko'rsatkichi yo'nalishida, ya'ni chapdan o'ngga faqat asosiy kalan bo'yicha axborotlar uzatish qobiliyati kabi aniqlanadigan tizimning *detektirlik* xossasini hisobga olamiz.

Qatorga yoyish orqali o'tish matritsasini olish quyidagicha:

Buning uchun (2.41) differensial tenglamaning yechimi aniqlanadi.

$$V(t) = e^{At}V(0),$$

$$\Phi(t) = e^{At} \approx \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(At)^i}{i!} = I + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(At)^i}{i!}.$$

Hozirgi vaqtgacha hisoblash: $\left| \frac{(At)^{s-1}}{(s-1)!} - \frac{(At)^s}{s!} \right| \leq \varepsilon.$

O'tish matritsasini olishning bunday usuli kompyuterda oson amalga oshiriladi va shuning uchun hozirgi vaqtgacha ko'p foydalaniladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Statik va dinamik modellarni tushuntiring.
2. Chiziqlantirish deb nimaga aytiladi va qanday usullari mavjud?
3. Avtomatik boshqarish tizimlarida foydalanadigan qanday asosiy (tipik) kirish signallarini bilasiz?
4. O'tkinchi xarakteristika deb nimaga aytiladi?
5. Impulsi signal (funksiya) ni tushuntiring.
6. Impulsi o'tkinchi xarakteristika yoki vazn funksiyasi deb nimaga aytiladi va u qanday belgilanadi?
7. Garmonik signal (funksiya) to'g'risida tushuncha bering.
8. Laplas almashtirishi deb nimaga aytiladi va uning qanday xossalari mavjud?
9. Uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi?
10. Uzatish funksiyasining nollari va qutblarini tushuntirib bering va ularga misollar keltiring.
11. Avtomatik boshqarish tizimlarining vaqt xarakteristikalariga nimalar kiradi?
12. Avtomatik boshqarish tizimlarining qanday chastotaviy xarakteristikalarini bilasiz?
13. Logarifmik amplituda va faza chastotaviy xarakteristikalarini tushuntirib bering hamda ular qanday masshtabda quriladi?
14. Tipik dinamik zvenolar deb nimaga aytiladi va ularga qanday zvenolar kiradi?
15. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zvenoga misollar keltiring va differensial tenglamasi, uzatish funksiyasi hamda chastotaviy xarakteristikalarini tushuntirib bering.
16. Integrallovchi va differensiallovchi zvenolarning vaqt va chastotaviy xarakteristikalarini quring.
17. Tebranuvchi zvenoning dempfirlash (so'nish, tebranishni kamaytirish) koeffitsiyentini tushuntiring.
18. Tebranuvchi zvenoning xususiy chastotasi deganda nimani tushunasiz?
19. Tebranuvchi zvenoning doimiy vaqti bilan xususiy chastotasi qanday bog'langan?

20. Kechikuvchi zvenoning vaqt va chastotaviy xarakteristikalarini tushuntiring.

21. Strukturali sxema deb nimaga aytiladi.

22. Ketma-ket va parallel ulangan zvenolarning umumiy uzatish funksiyasi qanday aniqlanadi?

23. Zvenolar teskari bog'lanish zanjiri orqali ulanganda uzatish funksiyasi qanday topiladi?

24. Tugun va summatorni elementlararo ko'chirish qoidasini tushuntiring.

25. Fazoviy holatda modelni tushuntiring?

26. «Nol – qutb» ko'rinishidagi modelni tushuntiring?

27. Ko'p o'lchamli elementlarni vektor-matritsa shaklida qanday ifodalanadi?

28. Istalgan ko'p o'lchamli element uzatish xossasining matematik ifodasini qanday ko'rinishlarda ifodalash mumkin?

29. Holat o'zgaruvchilari sxemalari qanday quriladi va qanaqa usullari mavjud?

30. Holat o'zgaruvchilari sxemalarini bazali usulda qurish algoritmini tushuntiring.

31. «Kirish–chiqish» va fazo holati usuli ifodalarining o'zaro aloqasi.

32. O'tish matritsasi va uni olishning analitik uslubini tushuntiring.

33. Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha matritsani olish algoritmi qanday amalga oshiriladi?

34. Qatorga yoyish orqali o'tish matritsasini qanday olinadi?

Test savollari

1. Uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi?

A) Chiqish kattaligining kirish kattaligiga nisbati kuchaytirish koeffitsiyenti.

B) Boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda chiqish kattaligining Laplas tasvirini kirish kattaligining Laplas tasviriga nisbati (munosabati).

C) Chiqish kattalik Laplas tasviri.

D) Chiqish va kirish kattaliklari Laplas tasvirlari ko'paytmasi.

2. Ushbu $h(t) = K\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$ o'tish funksiyasi qaysi dinamik zvenoga

tegishli?

A) Tebranuvchi.

B) Aperiodik.

C) Differensial.

D) Integral.

3. Ushbu $h(t) = Kt$ o'tish funksiyasi qaysi dinamik zvenoga

tegishli?

A) Differensial.

B) Kechikuvchi.

C) Integral.

D) Aperiodik.

4. $W(p) = \frac{K}{1 + PT}$ uzatish funksiyasi qaysi dinamik zvenoga

tegishli?

A) Differensial.

B) Kechikuvchi.

C) Integral.

D) Aperiodik.

5. Qaysi o'tish funksiyasi kechikishli zvenoga ega?

A) $h(t) = l(t - \tau)$.

B) $h(t) = l(t)$.

C) $h(t) = KT(t - \tau)$.

D) $h(t) = \frac{K}{T}(t - \tau)$.

6. $L(w) = -20\text{db/dek}$ ko'rinishdagi LACHX ga qaysi zveno

tegishli?

A) Tebranuvchi.

B) Integrallovchi.

C) Aperiodik.

D) Kechikuvchi.

7. Ushbu FChX $\varphi(\omega) = -\text{arcig}(\omega T)$ qaysi zvenoga tegishli?

- A) Aperiodik. B) Tebranuvchi.
C) Integrallovchi. D) Differensiallovchi.

8. Ushbu FChX $\varphi(\omega) = -90$ qaysi zvenoga tegishli?

- A) Aperiodik. B) Tebranuvchi.
C) Integrallovchi. D) Differensiallovchi.

9. Ketma-ket ulangan zvenolarga xos ifodani toping.

- A) $W_1(p) + W_2(p) + \dots$ B) $W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots$
C) $W(p)/(1+W(p))$. D) $W(p)/(1-W(p))$.

10. Parallel ulangan zvenolarga xos ifodani toping.

- A) $W_1(p) + W_2(p) + \dots$ B) $W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots$
C) $W(p)/(1+W(p))$. D) $W(p)/(1-W(p))$.

11. Manfiy teskari aloqali bog'lanishga xos ifodani toping.

- A) $W_1(p) + W_2(p) + \dots$ B) $W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots$
C) $W(p)/(1+W(p))$. D) $W(p)/(1-W(p))$.

12. Berk tizimiga xos uzatish funksiyasi ifodasini toping.

- A) $(W_1(p)W_2(p))/(1+(W_1(p)W_2(p)))$.
B) $(W_1(p)+W_2(p))/W_1(p)W_2(p)+\dots$
C) $(W_1(p)+W_2(p))/(1+(W_1(p)+W_2(p)))$.
D) $(W_1(p)+W_2(p))/(1+(W_1(p)W_2(p)))$.

13. Tizimning o'tish funksiyasi $h(t)$ qaysi ifoda bilan aniqlanadi?

- A) $L^{-1}\{W(p)\}$. B) $L^{-1}\{W(p)/p\}$.
C) $L^{-1}\{W(t)\}$. D) $L^{-1}\{W(j\omega)\}$.

14. O'tish $h(t)$ va vazn $\omega(t)$ funksiyalarini o'zaro bog'liqligini ko'rsatuvchi ifodani toping.

- A) $h(t) = \int \omega(t) dt$. B) $h(t) = t\omega(t)$.
C) $h(t) = \omega(t)/t$. D) $h(t) = d\omega(t)/dt$.

15. Qaysi atamada holat bo'shlig'i usulida boshqarish obyektining tavsifi ishlab chiqiladi?

- A) «Kirish-holat-chiqish». B) «Kirish-chiqish».
C) «Kirish-holat». D) «Holat-chiqish».

16. Tizimning $\omega(t)$ vaznli funksiyasi qaysi ifoda yordamida aniqlanadi?

- A) $L^{-1}\{W(p)\}$. B) $L^{-1}\{W(p)/p\}$.
C) $L^{-1}\{W(t)\}$. D) $L^{-1}\{W(j\omega)\}$.

17. Ushbu $h(t) = \delta(t)$ o'tish funksiyasi qaysi dinamik zvenoga tegishli?

- A) Differensiallovchi. B) Kechikuvchi.
C) Integrallovchi. D) Aperiodik.

18. Ushbu $\omega(t) = \frac{K}{T}e^{-\frac{t}{T}}$ vaznli funksiyasi qaysi dinamik zvenoga tegishli?

- A) Differensiallovchi. B) Kechikuvchi.
C) Integrallovchi. D) Aperiodik.

19. $L(w) = -40 \text{ db/dek}$ ko'rinishli LACHX qaysi dinamik zvenoga tegishli?

- A) Aperiodik. B) Integrallovchi.
C) Differensiallovchi. D) Tebranuvchi.

20. Ushbu $W(p) = K(1 + pT)$ uzatish funksiyasi qaysi dinamik zvenoga tegishli?

- A) Tezlatuvchi (jadallash). B) Kechikuvchi.
C) Integrallovchi. D) Aperiodik.

21. Qaysi o'tish funksiyasi kechikuvchi zvenoga tegishli?

- A) $h(t) = \delta(t - \tau)$. B) $h(t) = \delta(t)$.
C) $h(t) = KT\delta(t - \tau)$. D) $h(t) = \frac{K}{T}\delta(t - \tau)$.

22. $\varphi(\omega) = 90^\circ$ FChX qaysi dinamik zvenoga tegishli?

- A) Tebranuvchi. B) Integrallovchi.
C) Differensiallovchi. D) Kuchaytiruvchi.

23. Qaysi uzatish funksiyasi jadallashtiruvchi (tezlatuvchi) zvenoga qarashli?

- A) $W(p) = K(1 + pT)$. B) $W(p) = K/(1 + pT)$.
C) $W(p) = KT(1 + pT)$. D) $W(p) = KT/(1 + pT)$.

24. $h(t) = 1(t - \tau)$ o'tish funksiyasi qaysi dinamik zvenoni tavsiflaydi?

- A) Integrallovchi. B) Aperiodik.
C) Differensiallovchi. D) Kechikuvchi zveno.

25. $W(p) = K(1 + pT)$ uzatish funksiyali statik tavsifga ega zvenoni ko'rsating?

- A) $y = Kx$. B) $y = K/x$.
C) $y = K$. D) $y = x$.

26. Quyida keltirilgan tenglamalardan qaysi biri $1(t)$ birlik pog'onali funksiyadan olingan hosilani tavsiflaydi?

- A) $\delta(t)$. B) $KT\delta(t)$.
C) $K/T\delta(t)$. D) $\delta'(t)$.

27. Tizimning statik xarakteristikasi nima?

A) Muvozanat rejimdagi kirish va chiqish signallari orasidagi bog'lanish.

B) Kirish va chiqish signallari orasidagi bog'lanish.

C) Tizimning birlik pog'onali signalga reaksiyasi.

D) Tizimning impulsli signalga reaksiyasi.

28. Tizimning dinamik xarakteristikasi nima?

A) Kirish va chiqish signallari orasidagi bog'lanish.

B) O'tkinchi holat rejimidagi kirish va chiqish signallari orasidagi bog'lanish.

C) Garmonik signal reaksiyasi.

D) Tizimning impulsli signal reaksiyasi.

29. Qaysi uzatish funksiyasi tebranuvchi zvenoga tegishli?

A) $W(p) = k * p.$

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

C) $W(p) = \frac{k}{p^2T^2 + 2\xi pT + 1}.$

D) $W(p) = k.$

30. Qaysi uzatish funksiyasi differensiallovchi zvenoga tegishli?

A) $W(p) = \frac{k}{p}.$

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

C) $W(p) = k * p.$

D) $W(p) = \frac{k}{p^2T^2 + 2\xi pT + 1}.$

31. Qaysi uzatish funksiyasi integrallovchi zvenoga tegishli?

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

B) $W(p) = \frac{k}{p}.$

C) $W(p) = k.$

D) $W(p) = k * p.$

32. Qaysi uzatish funksiyasi inersial zvenoga tegishli?

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

B) $W(p) = k.$

C) $W(p) = \frac{k}{p^2T^2 + 2\xi pT + 1}.$

D) $W(p) = \frac{k}{p}.$

33. Qaysi uzatish funksiyasi proporsional zvenoga tegishli?

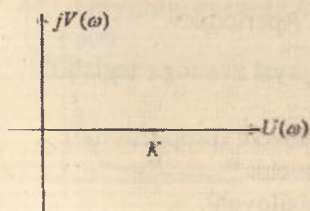
A) $W(p) = \frac{k}{p^2T^2 + 2\xi pT + 1}.$

B) $W(p) = k * p.$

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

D) $W(p) = k.$

34. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



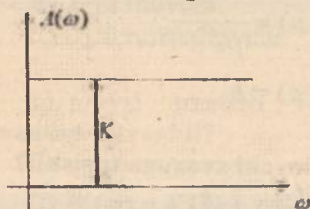
A) Kuchaytiruvchi (proporsional).

B) Integrallovchi.

C) Differensiallovchi.

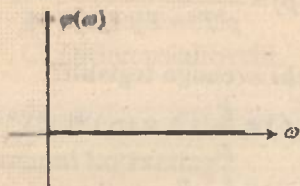
D) Aperiodik.

35. Quyidagi rasmda keltirilgan AChX qaysi zvenoga tegishli?



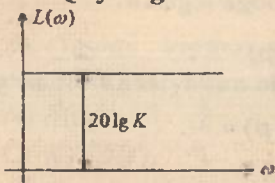
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

36. Quyidagi rasmda keltirilgan FChX qaysi zvenoga tegishli?



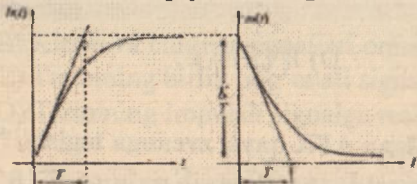
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

37. Quyidagi rasmda keltirilgan LChX qaysi zvenoga tegishli?



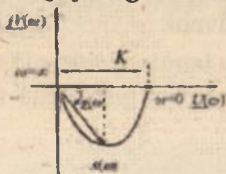
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

38. Quyidagi rasmda keltirilgan o'tkinchi va impulsli o'tkinchi xarakteristika qaysi zvenoga tegishli?



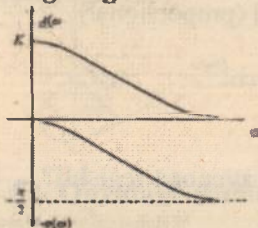
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

39. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

40. Quyidagi rasmda keltirilgan LChX va LFChX qaysi zvenoga tegishli?

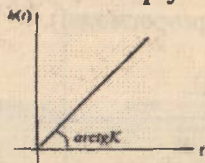


- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

41. $L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{1 + \omega^2 T^2}$ ifoda yordamida qaysi zvenoning LChX aniqlanadi?

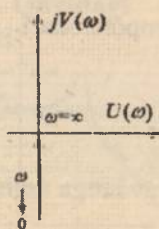
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

42. Quyidagi rasmda keltirilgan o'tkinchi va impulsli o'tkinchi xarakteristika qaysi zvenoga tegishli?



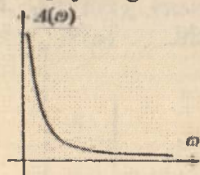
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

43. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



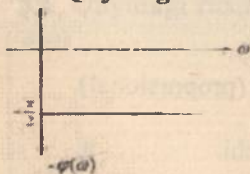
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

44. Quyidagi rasmda keltirilgan AChX qaysi zvenoga tegishli?



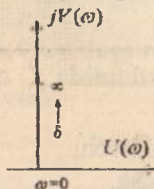
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

45. Quyidagi rasmda keltirilgan FChX qaysi zvenoga tegishli?



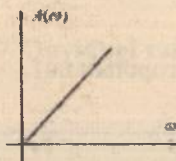
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

46. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



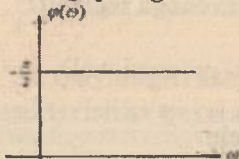
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

47. Quyidagi rasmda keltirilgan AChX qaysi zvenoga tegishli?



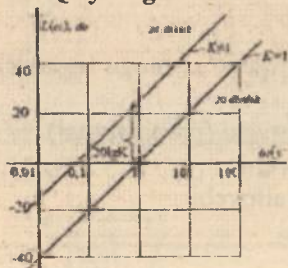
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

48. Quyidagi rasmda keltirilgan FChX qaysi zvenoga tegishli?



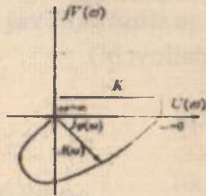
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

49. Quyidagi rasmda keltirilgan LChX qaysi zvenoga tegishli?



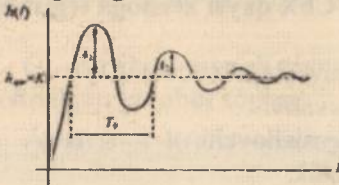
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional).
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

50. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



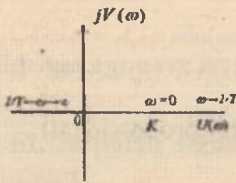
- A) Tebranuvchi.
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

51. Quyidagi rasmda keltirilgan o'tkinchi xarakteristika qaysi zvenoga tegishli?



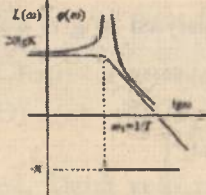
- A) Tebranuvchi.
- B) Integrallovchi.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

52. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



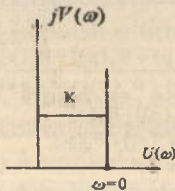
- A) Tebranuvchi.
- B) Konservativ.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

53. Quyidagi rasmda keltirilgan LAFChX qaysi zvenoga tegishli?



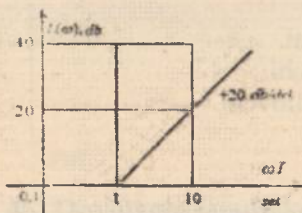
- A) Tebranuvchi.
- B) Konservativ.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

54. Quyidagi rasmda keltirilgan AFX qaysi zvenoga tegishli?



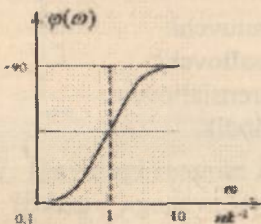
- A) Tezlatuvchi (jadallovchi).
- B) Konservativ.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

55. Quyidagi rasmda keltirilgan LACH qaysi zvenoga tegishli?



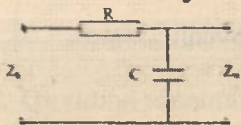
- A) Tezlatuvchi (jadallovchi).
- B) Konservativ.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

56. Quyidagi rasmda keltirilgan LFChX qaysi zvenoga tegishli?



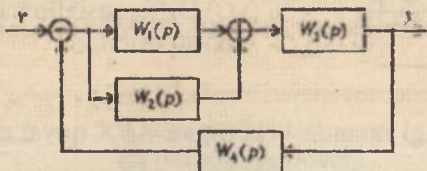
- A) Tezlatuvchi (jadallovchi).
- B) Konservativ.
- C) Differensiallovchi.
- D) Aperiodik.

57. Ushbu zanjirning uzatish funksiyasi qaysi zvenoga tegishli



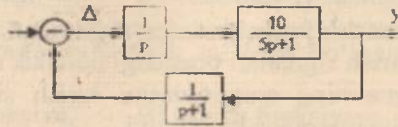
- A) Kuchaytiruvchi (proporsional)
- B) Konservativ
- C) Differensiallovchi
- D) Aperiodik

58. Ushbu sxemaning umumiy uzatish funksiyasi to'g'ri keltirilgan javobni tanlang.



- A) $W(p) = \frac{(W_1(p) + W_2(p))W_3(p)}{1 + (W_1(p) + W_2(p))W_3(p)}$
- B) $W(p) = \frac{(W_1(p) + W_2(p)) + W_3(p)}{1 + (W_1(p) + W_2(p)) + W_3(p)}$
- C) $W(p) = \frac{(W_1(p) + W_2(p))W_3(p)}{1 + (W_1(p) + W_2(p))W_3(p)}$
- D) $W(p) = \frac{(W_1(p)W_2(p)) + W_3(p)}{1 + (W_1(p)W_2(p)) + W_3(p)}$

59. Ushbu sxemaning umumiy uzatish funksiyasi to'g'ri keltirilgan javobni tanlang.



A) $W(p) = \frac{10(p+1)}{p(5p+1)(p+1)+10}$

B) $W(p) = \frac{(p+1)}{p(5p+1)(p+1)+1}$

C) $W(p) = \frac{10(p+1)}{p(5p+1)(p+1)+1}$

D) $W(p) = \frac{10}{p(5p+1)(p+1)}$

60. Birlik pog'onali signal yoki pog'onali funksiya ifodasi to'g'ri keltirilgan javobni toping.

A) $x(t) = A \cdot 1(t)$, $A = const$, $1(t) = \begin{cases} 1 & \text{agar } t \geq 0, \\ 0 & \text{agar } t < 0. \end{cases}$

B) $x(t) = A \cdot \delta(t)$, $A = const$, $\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{agar } t = 0; \\ 0 & \text{agar } t \neq 0. \end{cases}$

C) $x(t) = A_1(\omega) \sin(\omega t + \varphi_1(\omega))$, $x(t) = A_2(\omega) \cos(\omega t + \varphi_2(\omega))$.

D) $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$.

61. Impulsi signal (funksiya) ifodasi to'g'ri keltirilgan javobni aniqlang.

A) $x(t) = A \cdot 1(t)$, $A = const$, $1(t) = \begin{cases} 1 & \text{agar } t \geq 0, \\ 0 & \text{agar } t < 0. \end{cases}$

B) $x(t) = A \cdot \delta(t)$, $A = const$, $\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{agar } t = 0; \\ 0 & \text{agar } t \neq 0. \end{cases}$

C) $x(t) = A_1(\omega) \sin(\omega t + \varphi_1(\omega))$, $x(t) = A_2(\omega) \cos(\omega t + \varphi_2(\omega))$.

D) $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$.

62. Tizim yoki zvenoning garmonik signaldan olingan reaksiyasiga qanday xarakteristika deyiladi.

A) Chastotaviy.

B) O'tkinchi.

C) Impulsi o'tkinchi.

D) Amplituda fazali.

63. Chastota noldan cheksiz oraliqda o'zgartirganda \overline{OC} vektorining kompleks tekisligida chizgan egri chizig'iga nima deyiladi?

A) Amplituda-fazali xarakteristika (AFX).

B) Amplituda-chastotali xarakteristika (AChX).

C) Mavhum-chastotali xarakteristika (MChX).

D) Haqiqiy-chastotali xarakteristika (XChX).

64. Chastotali uzatish funksiyasining argumenti nimani ko'rsatadi?

A) Chiqish va kirish signallari orasidagi burchak siljishini.

B) Chiqish signalining amplitudasini kirish signalining amplitudasiga nisbatan necha marotaba kattaligini.

C) Chastotali uzatish funksiyasining modulini.

D) Chastotaning o'zgarishiga qarab amplituda va fazaning o'zgarishini.

65. $lg \omega$ qanday o'lchov birligida o'lchanadi?

A) Dekada.

B) Desibel.

C) Santimetr.

D) Millimetr.

66. Bir dekada chastotani necha marta oshishini bildiradi?

A) 10.

B) 100.

C) 1000.

D) 10000.

67. $L(\omega)$ qanday o'lchov birligida o'lchanadi?

A) Dekada.

B) Desibell.

C) Santimetr.

D) Millimetr.

68. Bir desibel necha bellga teng?

A) $\frac{1}{10}$ bell.

B) 10 bell.

C) 100 bell.

D) $\frac{1}{100}$ bell.

69. $y(t) = u(t - \tau)$, bu yerda τ – doimiy kattalik (miqdor) bo'lib, nima deyiladi?

A) Kechikish vaqti.

B) Doimiy vaqt.

C) O'sish vaqti.

D) O'tkinchi jarayon vaqti.

70. Kechikuvchi zvenoning uzatish funksiyasi to'g'ri keltirilgan javobni toping.

A) $W_{\text{uch}}(p) = e^{-pt}$.

B) $W_{\text{uch}}(p) = e^{pt}$.

C) $W_{\text{uch}}(p) = e^{pt}$.

D) $W_{\text{uch}}(p) = e^{-pt}$.

71. Tipik ta'sir $\delta(t)$ ga teng bo'lgan reaksiya qanday nomlanadi?

- A) Vazn funksiyasi. B) O'tish funksiyasi.
C) Uzatish funksiyasi. D) Chastotaviy funksiya.

72. Turg'un rejimda garmonik ta'sirga bo'lgan reaksiya nima nomlanadi?

- A) Chastotaviy funksiya. B) O'tish funksiyasi.
C) Uzatish funksiyasi. D) Impulslı funksiya.

73. $1/s^2$ ni Laplas bo'yicha tasviri quyida keltirilgan qaysi tipik sirga mos keladi?

- A) t . B) $\delta(t)$.
C) $\sin(t)$. D) $1(t)$.

74. $\frac{1}{2s+1}$ zveno qanday nomlanadi?

- A) Aperioidik. B) Astatik.
C) Proporsional. D) Tebranuvchi.

75. $\frac{1}{2s^2+1}$ zveno qanday nomlanadi?

- A) Konservativ. B) Astatik.
C) Proporsional. D) Tebranuvchi.

76. Differensiallovchi zvenoning AFChXsi qanday ko'rinishda ladi?

- A) To'g'ri chiziq. B) Ellips.
C) Uchburchak. D) Ko'pburchak.

77. Integrallovchi zvenoning AFChXsi qanday ko'rinishda ladi?

- A) To'g'ri chiziq. B) Ellips.
C) Uchburchak. D) Ko'pburchak.

78. Quyidagi shartlar qay biri bajarilganda zveno konservativ ataladi?

- A) $\xi = 0$. B) $0 < \xi < 1$.
C) $\xi = 1$. D) $\xi > 1$.

79. Agar barcha chastotalarda noldan cheksizgacha $A(\omega) = 1$ bo'lsa, unda zveno qanday nomlanadi?

- A) Kechikuvchi. B) Integrallovchi.
C) Differensial. D) Proporsionallovchi.

80. Qaysi ibora tipik dinamik zveno talablariga javob bermaydi?

- A) Zvenoning kuchaytirish koeffitsiyenti – musbat.
B) Zveno bitta erkin o'zgaruvchi bilan aniqlanadi.
C) Zveno boshqa zvenolarga ulanganda o'z tavsiflarini o'zgartirmaydi.

D) Zveno ikkinchi tartibdan yuqori bo'lmagan differensial tenglama bilan ifodalanadi.

81. Agar aperiodik (inersion) zvenoning vaqt doimiysi T ni nolgacha kamaytirilsa, u qanday zvenoga aylanadi?

- A) Proporsional zvenoga.
B) Integrallovchi zvenoga.
C) Differensiallovchi zvenoga.
D) Tebranuvchi zvenoga.

82. Uzatish funksiyasining nollari deganda nimani tushunasiz?

- A) Surat ildizlari.
B) Maxraj ildizlari.
C) O'tkinchi funksiya hosilasi.
D) Vazn funksiyasi.

83. Uzatish funksiyasining qutblari deganda nimani tushunasiz?

- A) Surat ildizlari.
B) Maxraj ildizlari.
C) O'tkinchi funksiya hosilasi.
D) Vazn funksiyasi.

III BOB. CHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING TURG'UNLIGI

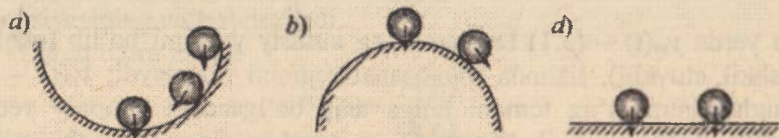
Tayanch so'zlar va iboralar: turg'unlik, A.M.Lyapunov teoremasi, turg'unlik shartlari, turg'unlik mezonlari, turg'unlikning algebraik mezonlari, Raus mezoni, Gurvis mezoni, Lenar-Shipar mezoni, Neymark mezoni, turg'unlikning chastotaviy mezonlari, Argumentlar prinsipi, Mixaylov mezoni, Naykvist mezoni, turg'unlikning logarifmik mezoni, D – bo'linish usuli.

3.1. Turg'unlik to'g'risida tushuncha

ABTlarni ishlash qobiliyatiga qo'yilgan talab, ularning turli xil tashqi qo'zg'atuvchi ta'siriga nosezgir bo'lishidir.

Agarda tizim turg'un bo'lsa, unda u tashqi qo'zg'atuvchi ta'sirlarga bardosh bera oladi va o'zining muvozanat holatidan chiqarilganda yana ma'lum aniqlikda dastlabki holatiga qaytib keladi. Agarda tizim noturg'un bo'lsa, unda u tashqi qo'zg'atuvchi ta'sir natijasida muvozanat holati atrofida cheksiz katta amplitudaga ega bo'lgan tebranishlar hosil qiladi yoki muvozanat holatidan cheksiz uzoqlashadi [4,20,26].

Agarda har qanday cheklangan kirish kattaligining absolyut qiymatida chiqish kattaligi ham cheklangan qiymatga ega bo'lsa, bunday tizim *turg'un* deb yuritiladi (3.1a-rasm).

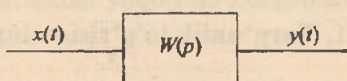


3.1-rasm. a - turg'un holat; b - noturg'un holat, d - neytral holat.

3.2. Chiziqli avtomatik boshqarish tizimining turg'unlik sharoitlari. A.M.Lyapunov teoremasi

Tizimning turg'unligini tahlil qilishda A.M.Lyapunov tomonidan yaratilgan usullarga asoslanadi. Chiziqli yoki chiziqlantirilgan tizim uchun turg'unlikning zarur va yetarli sharti sifatida birinchi yaqinlashish tenglamasi uchun tuzilgan xarakteristik tenglama ildizlari (qutblari) ning haqiqiy qismini manfiy ishorasi xizmat qiladi [10,14,26].

Kirish kattaligi $x(t)$ va chiqish kattaligi $y(t)$ bo'lgan tizimni ko'rib chiqamiz (3.2-rasm).



3.2-rasm.

Tizimning differensial tenglamasini umumiy ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = b_0 \frac{d^n x}{dt^n} + b_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + b_n x(t). \quad (3.1)$$

Tizimning turg'un yoki noturg'unligini ko'rish uchun (3.1) tenglamaning yechimini aniqlash kerak bo'ladi.

$$y(t) = y_e(t) + y_m(t), \quad (3.2)$$

bu yerda $y_m(t)$ – (3.1) tenglamaning xususiy yechimi bo'lib (majburiy tashkil etuvchi), tizimda muvozanat rejimini ifodalaydi; $y_e(t)$ – (3.1) tenglamaning o'ng tomoni nolga teng bo'lgandagi umumiy yechimi bo'lib (erkin tashkil etuvchisi), u tenglamaning o'tkinchi rejimini ifodalaydi.

$$t \rightarrow \infty \text{ bo'lganda } y_e(t) \rightarrow 0 \quad (3.3)$$

bo'lishi tizimning turg'unligini ifodalaydi.

Agar (3.3) shart bajarilsa, unda tizim turg'un bo'ladi. (3.1) tenglamaning o'tkinchi (erkin) tashkil etuvchisi $y_e(t)$

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = 0, \quad (3.4)$$

tenglamaning yechimini ifodalaydi.

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, uning yechimi (3.1) tenglamaning o'ng tomonidagi b_i koeffitsiyentga va $x(t)$ funksiyaning o'zgarish xarakteriga bog'liq emas ekan. (3.3) shartga ko'ra, tizimning turg'unligi yoki noturg'unligi koeffitsiyentlar b_i va kirish kattaligi $x(t)$ funksiyaga bog'liq emas ekan [8,18,20,26].

Demak, tizimning turg'unligi uning ichki xususiyati bo'lib, unga ta'sir etuvchi signallarga bog'liq emas.

(3.4) tenglamaning yechimini aniqlash uchun xarakteristik tenglamani olamiz:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (3.5)$$

bu yerda p_1, p_2, \dots, p_n - (3.5) xarakteristik tenglamaning ildizlari bo'lib, ular har xil bo'lsin, unda (3.4) tenglamaning yechimini quyidagi ko'rinishda ko'rsatish mumkin:

$$y_i(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{s_i t}, \quad (3.6)$$

bu yerda s_i - tizimga qo'yilgan boshlang'ich shartlar bo'yicha aniqlanadigan ixtiyoriy o'zgarmas son.

Shunday qilib, chiziqli tizimning turg'unligini xarakteristik tenglamaning ildizlari aniqlar ekan. Ildizlar esa haqiqiy, kompleks va mavhum bo'lishi mumkin.

Chiziqli tizim uzatish funksiyasi $W(p)$ ning hamma qutblari haqiqiy qismining manfiy ishoraga ega bo'lishi uning turg'un bo'lishining zarur va yetarli sharti hisoblanadi.

Uzatish funksiyasining maxrajidagi polinom ildizlarini uzatish funksiyasining qutblari, suratidagi polinom ildizlarini esa uzatish funksiyasining nollari deyiladi.

Ochiq tizim uchun

$$W(p) = \frac{P(p)}{Q(p)}. \quad (3.7)$$

Ochiq tizim uzatish funksiyasining xarakteristik tenglamasi $Q(p)=0$ ning ildizlari haqiqiy qismining manfiy bo'lishi ochiq tizimning turg'un bo'lishining yetarli va zaruriy shartidir.

Berk tizim uchun

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{\frac{P(p)}{Q(p)}}{1 + \frac{P(p)}{Q(p)}} = \frac{P(p)}{Q(p)+P(p)} = \frac{B(p)}{A(p)}. \quad (3.8)$$

$A(p) = 1 + W(p) = 0$ – berk tizimning xarakteristik tenglamasi.

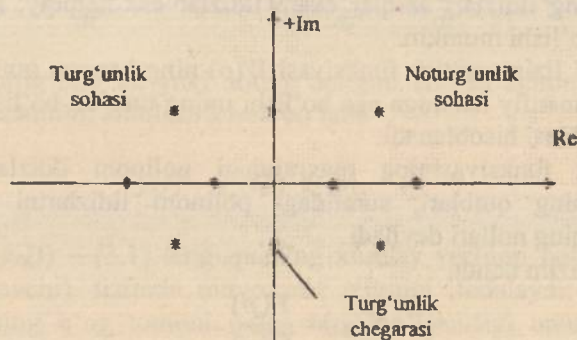
Berk tizim xarakteristik tenglamasi $A(p) \neq 0$ ildizlari haqiqiy qismining manfiy bo'lishi uning turg'un bo'lishining yetarli va zaruriy shartidir.

Turg'unlikning bu sharti A.M.Lyapunov tomonidan nochiziqli tizimlarning chiziqantirilgan tenglamalari uchun isbotlandi va qo'llanildi. Quyida bu teoremani isbotsiz keltiramiz [14,20,25]:

1-teorema: Agar chiziqantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi hamma ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi, ya'ni juda kichik nochiziqli hadlari tizimning turg'unlik holatiga ta'sir ko'rsata olmaydi (3.3-rasm).

2-teorema: Agarda chiziqantirilgan tizim xarakteristik tenglamasining birorta ildizi musbat haqiqiy qismga ega bo'lsa, unda real tizim noturg'un bo'ladi, ya'ni juda kichik nochiziqli hadlari tizimni turg'un qila olmaydi (3.3-rasm).

3-teorema: Agar chiziqantirilgan tizim xarakteristik tenglamasining ildizlari mavhum yoki nolga teng bo'lsa, unda real tizim turg'unlik chegarasida bo'ladi, bunda juda kichik nochiziqli hadlar o'tkinchi jarayon ko'rinishini tubdan o'zgartirib yuborishi hamda real tizimni turg'un yoki noturg'un holatga keltirishi mumkin (3.3-rasm).



3.3-rasm. Xarakteristik tenglama ildizlarining kompleks tekisligida joylashishi.

Shunday qilib, tizim turg'unligini tadqiq etish uning xarakteristik tenglamasi ildizlarining ishorasini aniqlashdan, ya'ni xarakteristik tenglama ildizlarini kompleks tekisligida mavhum o'qqa nisbatan qanday joylashganligini aniqlashdan iborat ekan.

tenglamaning yechimini ifodalaydi.

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, uning yechimi (3.1) tenglamaning o'ng tomonidagi b_i koeffitsiyentga va $x(t)$ funksiyaning o'zgarish xarakteriga bog'liq emas ekan. (3.3) shartga ko'ra, tizimning turg'unligi yoki noturg'unligi koeffitsiyentlar b_i va kirish kattaligi $x(t)$ funksiyaga bog'liq emas ekan [8,18,20,26].

Demak, tizimning turg'unligi uning ichki xususiyati bo'lib, unga ta'sir etuvchi signallarga bog'liq emas.

(3.4) tenglamaning yechimini aniqlash uchun xarakteristik tenglamani olamiz:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (3.5)$$

bu yerda p_1, p_2, \dots, p_n - (3.5) xarakteristik tenglamaning ildizlari bo'lib, ular har xil bo'lsin, unda (3.4) tenglamaning yechimini quyidagi ko'rinishda ko'rsatish mumkin:

$$y_s(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{p_i t}, \quad (3.6)$$

bu yerda s_i - tizimga qo'yilgan boshlang'ich shartlar bo'yicha aniqlanadigan ixtiyoriy o'zgarmas son.

Shunday qilib, chizikli tizimning turg'unligini xarakteristik tenglamaning ildizlari aniqlar ekan. Ildizlar esa haqiqiy, kompleks va mavhum bo'lishi mumkin.

Chizikli tizim uzatish funksiyasi $W(p)$ ning hamma qutblari haqiqiy qismining manfiy ishoriga ega bo'lishi uning turg'un bo'lishining zarur va yetarli sharti hisoblanadi.

Uzatish funksiyasining maxrajidagi polinom ildizlarini uzatish funksiyasining qutblari, suratidagi polinom ildizlarini esa uzatish funksiyasining nollari deyiladi.

Ochiq tizim uchun

$$W(p) = \frac{P(p)}{Q(p)}. \quad (3.7)$$

Ochiq tizim uzatish funksiyasining xarakteristik tenglamasi $Q(p)=0$ ning ildizlari haqiqiy qismining manfiy bo'lishi ochiq tizimning turg'un bo'lishining yetarli va zaruriy shartidir.

Berk tizim uchun

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{\frac{P(p)}{Q(p)}}{1+\frac{P(p)}{Q(p)}} = \frac{P(p)}{Q(p)+P(p)} = \frac{B(p)}{A(p)}. \quad (3.8)$$

$A(p) = 1 + W(p) = 0$ – berk tizimning xarakteristik tenglamasi.

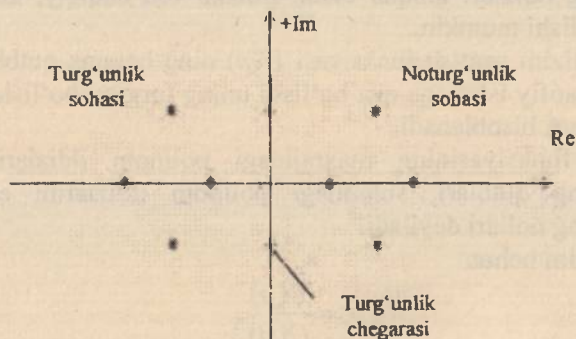
Berk tizim xarakteristik tenglamasi $A(p)=0$ ildizlari haqiqiy qismining manfiy bo'lishi uning turg'un bo'lishining yetarli va zaruriy shartidir.

Turg'unlikning bu sharti A.M.Lyapunov tomonidan nochiziqli tizimlarning chiziqlantirilgan tenglamalari uchun isbotlandi va qo'llanildi. Quyida bu teoremani isbotsiz keltiramiz [14,20,25]:

1-teorema: Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi hamma ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi, ya'ni juda kichik nochiziqli hadlari tizimning turg'unlik holatiga ta'sir ko'rsata olmaydi (3.3-rasm).

2-teorema: Agarda chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasining birorta ildizi musbat haqiqiy qismga ega bo'lsa, unda real tizim noturg'un bo'ladi, ya'ni juda kichik nochiziqli hadlari tizimni turg'un qila olmaydi (3.3-rasm).

3-teorema: Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasining ildizlari mavhum yoki nolga teng bo'lsa, unda real tizim turg'unlik chegarasida bo'ladi, bunda juda kichik nochiziqli hadlar o'tkinchi jarayon ko'rinishini tubdan o'zgartirib yuborishi hamda real tizimni turg'un yoki noturg'un holatga keltirishi mumkin (3.3-rasm).



3.3-rasm. Xarakteristik tenglama ildizlarining kompleks tekisligida joylashishi.

Shunday qilib, tizim turg'unligini tadqiq etish uning xarakteristik tenglamasi ildizlarining ishorasini aniqlashdan, ya'ni xarakteristik tenglama ildizlarini kompleks tekisligida mavhum o'qqa nisbatan qanday joylashganligini aniqlashdan iborat ekan.

Kompleks tekisligida xarakteristik tenglama ildizlarining mavhum o'qqa nisbatan joylashganligini aniqlaydigan qoidalarga *turg'unlik mezonlari* deyiladi.

Tizimning turg'unlik masalalarini yechishda quyidagi turg'unlik mezonlaridan foydalaniladi:

- 1) Turg'unlikning algebraik mezonlari:
 - a) Raus mezoni;
 - b) Gurvis mezoni;
 - d) Lenar-Shipar mezoni;
 - e) Neymark mezoni.
- 2) Turg'unlikning chastotaviy mezonlari:
 - a) Mixaylov mezoni;
 - b) Naykvist mezoni;
 - d) Turg'unlikning logarifmik mezoni;
 - e) D – bo'linish usuli.

3.3. Turg'unlikning algebraik mezonlari. Raus turg'unlik mezoni

Tizimning turg'unligi xarakteristik tenglamalarning ildizlarini hisobga olmasdan turib aniqlaydigan qoidalarga algebraik mezonlar deyiladi. Turg'unlikning algebraik mezoni xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari orqali tizimning turg'unligi haqida fikr yuritish imkonini beradi [8,20,25]. Turg'unlikning algebraik mezonidan Raus va Gurvis mezonlari eng ko'p qo'llaniladi. Xarakteristik tenglama quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (3.9)$$

Xarakteristik tenglamaning hamma koeffitsiyentlarini musbat bo'lishi tizimning turg'un bo'lishi uchun zaruriy shartdir

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0. \quad (3.10)$$

Raus va Gurvis mezonlari matematik jihatdan ekvivalentdir.

Rausning turg'unlik mezoni 1887-yil ingliz matematigi E.Raus tomonidan taklif qilingan. Bu mezonni quyidagi jadval orqali tushuntirish mumkin.

koef-ti	i qator	Ustun			
		1	2	3	4
—	1	$a_0 = c_{11}$	$a_2 = c_{21}$	$a_4 = c_{31}$	.....
—	2	$a_1 = c_{12}$	$a_3 = c_{22}$	$a_5 = c_{32}$	.....
$r_3 = \frac{a_6}{a_1}$	3	$s_{13} = a_2 - r_3 a_3$	$s_{23} = a_4 - r_3 a_5$	$s_{33} = a_6 - r_3 a_7$	.....
$r_4 = \frac{a_1}{a_{12}}$	4	$s_{14} = a_3 - r_4 a_{23}$	$s_{24} = a_5 - r_4 a_{33}$	$s_{34} = a_7 - r_4 a_{43}$	.....
$r_5 = \frac{a_{11}}{a_{14}}$	5	$s_{15} = c_{23} - r_5 s_{24}$	$s_{25} = c_{33} - r_5 s_{34}$	$s_{35} = c_{43} - r_5 s_{44}$	.....
.....
$r_i = \frac{a_{1,i-2}}{a_{1,i-1}}$	i	$s_{1,i} = c_{2,i-2} - r_i s_{2,i-1}$	$s_{2,i} = c_{3,i-2} - r_i s_{3,i-1}$	$s_{3,i} = c_{4,i-2} - r_i s_{4,i-1}$	.....

3.1-jadvalning birinchi qatoriga xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari indeksi oshib borish tartibida juft indeksli $a_0, a_2, a_4, a_6, \dots$, ikkinchi qatoriga esa toq indeksli $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots$ koeffitsiyentlar joylashtiriladi.

Jadvalning qolgan har bir koeffitsiyentlari quyidagicha topiladi [20,25]:

$$c_{n,i} c_{n+1,i-2} - r_i c_{n+1,i-1} \quad (3.11)$$

bu yerda

$$r_i = c_{1,i-2} / c_{1,i-1} \quad (3.12)$$

(3.11) va (3.12) tenglamalarda n – indeks jadvaldagi ustunni nomerini i – indeksi esa qator nomerini bildiradi.

Raus jadvalini qatorlar soni xarakteristik tenglamasi darajasi $n+1$ ga teng.

Raus jadvalini to'ldirgandan so'ng u tizim turg'un yoki noturg'unligini aniqlash mumkin. Raus turg'unlik mezoni quyidagicha ifodalana-nadi: ABT turg'un bo'lishi uchun Raus jadvalining birinchi ustuni koef-fitsiyentlari bir xil ishorali bo'lishi, ya'ni $a > 0$ bo'lganda

$$c_{11} = a_0 > 0; c_{12} = a_1 > 0; \dots; a_{1,n+1} > 0, \quad (3.13)$$

shart yetarli.

Agar birinchi ustun koeffitsiyentlarining hammasi musbat bo'lmasa, tizim noturg'un bo'ladi hamda xarakteristik tenglamaning o'ng ildizlar soni Raus jadvali birinchi ustunidagi ishoralar o'zgarish soniga teng.

Kompleks tekisligida karakteristik tenglama ildizlarining mavhum o'qqa nisbatan joylashganligini aniqlaydigan qoidalarga *turg'unlik mezonlari* deyiladi.

Tizimning turg'unlik masalalarini yechishda quyidagi turg'unlik mezonlaridan foydalaniladi:

- 1) Turg'unlikning algebraik mezonlari:
 - a) Raus mezon;
 - b) Gurvis mezon;
 - d) Lenar-Shipar mezon;
 - e) Neymark mezon.
- 2) Turg'unlikning chastotaviy mezonlari:
 - a) Mixaylov mezon;
 - b) Naykvist mezon;
 - d) Turg'unlikning logarifmik mezon;
 - e) D – bo'linish usuli.

3.3. Turg'unlikning algebraik mezonlari. Raus turg'unlik mezon

Tizimning turg'unligi karakteristik tenglamalarning ildizlarini hisobga olmasdan turib aniqlaydigan qoidalarga algebraik mezonlar deyiladi. Turg'unlikning algebraik mezonni karakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari orqali tizimning turg'unligi haqida fikr yuritish imkonini beradi [8,20,25]. Turg'unlikning algebraik mezonidan Raus va Gurvis mezonlari eng ko'p qo'llaniladi. Karakteristik tenglama quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (3.9)$$

Xarakteristik tenglamaning hamma koeffitsiyentlarini musbat bo'lishi tizimning turg'un bo'lishi uchun zaruriy shartdir

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0. \quad (3.10)$$

Raus va Gurvis mezonlari matematik jihatdan ekvivalentdir.

Rausning turg'unlik mezonni 1887-yil ingliz matematigi E.Raus tomonidan taklif qilingan. Bu mezonni quyidagi jadval orqali tushuntirish mumkin.

r_i koef-ti	i qator	Ustun			
		1	2	3	4
—	1	$a_0 = c_{11}$	$a_2 = c_{21}$	$a_4 = c_{31}$	.....
—	2	$a_1 = c_{12}$	$a_3 = c_{22}$	$a_5 = c_{32}$	.....
$r_3 = \frac{a_2}{a_1}$	3	$s_{13} = a_2 - r_3 a_3$	$s_{23} = a_4 - r_3 a_5$	$s_{33} = a_6 - r_3 a_7$	.....
$r_4 = \frac{a_1}{a_{12}}$	4	$s_{14} = a_3 - r_4 a_{23}$	$s_{24} = a_5 - r_4 a_{33}$	$s_{34} = a_7 - r_4 a_{43}$	.....
$r_5 = \frac{a_{11}}{a_{14}}$	5	$s_{15} = c_{23} - r_5 s_{24}$	$s_{25} = c_{33} - r_5 s_{34}$	$s_{35} = c_{43} - r_5 s_{44}$	.....
.....
$r_i = \frac{a_{i,j-2}}{a_{i,j-1}}$	i	$s_{1,j} = c_{2,j-2} - r_i s_{2,j-1}$	$s_{2,j} = c_{3,j-2} - r_i s_{3,j-1}$	$s_{3,j} = c_{4,j-2} - r_i s_{4,j-1}$	.....

3.1-jadvalning birinchi qatoriga xarakteristik tenglama koefitsiyentlari indeksi oshib borish tartibida juft indeksli $a_0, a_2, a_4, a_6, \dots$, ikkinchi qatoriga esa toq indeksli $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots$ koefitsiyentlar joylashtiriladi.

Jadvalning qolgan har bir koefitsiyentlari quyidagicha topiladi [20,25]:

$$c_{n,i} c_{n+1,i-2} - r_i c_{n+1,i-1} \quad (3.11)$$

bu yerda

$$r_i = c_{i,j-2} / c_{i,j-1} \quad (3.12)$$

(3.11) va (3.12) tenglamalarda n – indeks jadvaldagi ustunni nomerini i – indeksi esa qator nomerini bildiradi.

Raus jadvalini qatorlar soni xarakteristik tenglamasi darajasi $n+1$ ga teng.

Raus jadvalini to'ldirgandan so'ng u tizim turg'un yoki noturg'unligini aniqlash mumkin. Raus turg'unlik mezonini quyidagicha ifodalani: ABT turg'un bo'lishi uchun Raus jadvalining birinchi ustuni koefitsiyentlari bir xil ishorali bo'lishi, ya'ni $a > 0$ bo'lganda

$$c_{11} = a_0 > 0; c_{12} = a_1 > 0; \dots; a_{i,n+1} > 0, \quad (3.13)$$

shart yetarlidir.

Agar birinchi ustun koefitsiyentlarining hammasi musbat bo'lmasa, tizim noturg'un bo'ladi hamda xarakteristik tenglamaning o'ng ildizlar soni Raus jadvali birinchi ustunidagi ishoralar o'zgarish soniga teng.

Xarakteristik tenglama ko'effitsiyentlarining son qiymati berilgan bo'lsa, Raus mezonidan foydalanish juda oson.

3.1-misol. Xarakteristik polinomi

$$D(p) = 0,104p^7 + 0,33p^6 + 5,5p^5 + 15,5p^4 + 25p^3 + 25p^2 + 19,7p + 9,5$$

bo'lgan tizimning Raus mezoni bo'yicha turg'unligini baholang.

Yechish: Raus mezoni bo'yicha hisoblashda 3.2-jadval ko'rinishida ifodalash qulaydir.

3.2-jadval

Parametrlar	$a_0 = c_{11}$	$a_2 = c_{21}$	$a_4 = c_{31}$	$a_6 = c_{41}$
	$a_1 = c_{12}$	$a_3 = c_{22}$	$a_5 = c_{32}$	$a_7 = c_{42}$
$r_1 = c_{11}/c_{12}$	$s_{13} = s_{21} - r_1 s_{22}$	$s_{23} = s_{31} - r_1 s_{32}$	$s_{33} = s_{41} - r_1 s_{42}$	$s_{43} = 0$
$r_2 = c_{12}/c_{13}$	$s_{14} = s_{22} - r_2 s_{23}$	$s_{24} = s_{32} - r_2 s_{33}$	$s_{34} = s_{42} - r_2 s_{43}$	$s_{44} = 0$
$r_3 = c_{13}/c_{14}$	$s_{15} = s_{23} - r_3 s_{24}$	$s_{25} = s_{33} - r_3 s_{34}$	$s_{35} = s_{43} - r_3 s_{44}$	$s_{45} = 0$
...

Berilgan tizim uchun Raus jadvali 3.3-jadval ko'rinishiga ega bo'ladi

$$D(p) = 0,104 p^7 + 0,33 p^6 + 5,5 p^5 + 15,5 p^4 + 25 p^3 + 25 p^2 + 19,7 p + 9,5$$

3.3-jadval

Parametrlar	$a_0 = 0,104$	$a_2 = 5,5$	$a_4 = 25$	$a_6 = 19,7$
	$a_1 = 0,33$	$a_3 = 15,5$	$a_5 = 25$	$a_7 = 9,5$
$r_1 = 0,315$	0,6	17,1	16,7	0
$r_2 = 0,55$	6,0	15,8	9,5	0
$r_3 = 0,1$	15,52	15,75	0	0
$r_4 = 0,386$	9,7	9,5	0	0
$r_5 = 1,6$	0,55	0	0	0
$r_6 = 0$	9,5	0	0	0

To'ldirilgan Raus jadvalining (3.3-jadval) birinchi ustun ko'effitsiyentlari musbat bo'lgani uchun tizim turg'unidir.

3.4. Gurvis turg'unlik mezon

Bu mezon 1895-yilda nemis matematigi Gurvis tomonidan taklif qilingan.

Xarakteristik tenglama quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (3.14)$$

Gurvis turg'unlik mezoniga muvofiq xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlaridan Gurvisning bosh aniqlovchisi tuziladi. Bunda $a_0 > 0$ bo'lib, aniqlovchilari quyidagi qoidalarga asosan hisoblash kerak [8,20,23]:

1) koeffitsiyentlarni bosh diagonal bo'yicha « a_1 » dan to « a_n » gacha o'sish tartibi bilan yozib chiqiladi;

2) bosh diagonalga nisbatan qatorlarning pastga tomon indeksleri kamayuvchi, yuqoriga tomon indeksleri o'sib boruvchi koeffitsiyentlar bilan to'ldiriladi;

3) indeksleri noldan kichik hamda « n » dan katta bo'lgan koeffitsiyentlar o'rniga nollar yoziladi;

4) Gurvis aniqlovchisining yuqori tartibi xarakteristik tenglamaning darajasiga teng bo'ladi;

5) Gurvis aniqlovchisining oxirgi tartibi $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}$ ga tengdir.

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & \dots & 0 \\ a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_1 & a_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}. \quad (3.15)$$

Gurvis mezonining ta'rifi:

Agarda $a_0 > 0$ bo'lib, Gurvisning hamma aniqlovchilari noldan katta bo'lsa, u holda tizim turg'un bo'ladi, ya'ni $a_0 > 0$ bo'lganda $\Delta_1 > 0$; $\Delta_2 > 0$; $\Delta_3 > 0 \dots \Delta_n > 0$ bo'lishi kerak. $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}$ bo'lishi Gurvis aniqlovchisining tuzilish strukturasiidan kelib chiqadi. Shunga ko'ra, agar $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1} = 0$ bo'lsa, tizim turg'unlik chegarasida bo'ladi. Bu

tenglik esa ikki holda, ya'ni $a_n = 0$ yoki $\Delta_{n-1} = 0$ bo'lganda bajarilishi mumkin.

Agarda $a_n = 0$ bo'lsa, unda tekshirilayotgan tizim turg'unlik holatining aperiodik chegarasida bo'ladi (ya'ni xarakteristik tenglamaning bitta ildizi nolga teng bo'ladi).

Agarda $\Delta_{n-1} = 0$ bo'lsa, unda tekshirilayotgan tizim turg'unlik holatining tebranma chegarasida bo'ladi (ya'ni xarakteristik tenglama juft mavhum ildizga ega bo'ladi).

Endi $n = 1, 2, 3, 4$ ga teng bo'lgan tenglamalar bilan ifodalangan tizimlar uchun Gurvis mezonining shartlarini ko'rib chiqamiz.

$$a) n = 1, \quad a_0 p + a_1 = 0.$$

Bunda $a_0 > 0$; $\Delta_1 = a_1 > 0$ turg'unlik sharti bo'ladi. Demak, birinchi tartibli tizimlar turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining musbat bo'lishi yetarlidir.

$$b) n = 2, \quad a_0 p^2 + a_1 p + a_2 = 0.$$

Bunda turg'unlik shartlari quyidagicha bo'ladi:

$$a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \quad \Delta_2 = a_1 \cdot a_2 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 \cdot 0 = a_1 a_2 > 0.$$

Demak, ikkinchi tartibli tenglama bilan ifodalangan tizimlarning turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining musbat bo'lishi yetarli shart hisoblanadi.

$$d) n = 3, \quad a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$$

Turg'unlikning zaruriy shartlari:

$$a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \quad \Delta_3 = a_2 \cdot \Delta_2 > 0.$$

Shunday qilib, uchinchi tartibli tenglama bilan ifodalangan tizim turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining musbat bo'lishi yetarli bo'lmay, bunda $(a_1 a_2 - a_0 a_3) > 0$ tengsizlikning bajarilishi zarur shart hisoblanadi.

$$e) n = 4, \quad a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0$$

Turg'unlik shartlari:

$$a_0 > 0; \Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ a_0 & a_1 \end{vmatrix} = a_1 a_1 - a_0 a_2 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & 0 \\ a_0 & a_1 & a_2 \\ 0 & a_0 & a_1 \end{vmatrix} = a_1 a_2 a_1 + 0 + 0 - 0 - a_0 a_2^2 - a_1^2 a_2 = a_1(a_1 a_2 - a_0 a_2) - a_1^2 a_2 > 0$$

$$\Delta_3 = a_1 \cdot \Delta_2.$$

To'rtinchi tartibli tenglama bilan ifodalangan tizimlar turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining musbat bo'lishidan tashqari yana ikki $(a_1 a_2 - a_0 a_2) > 0$, $a_1(a_1 a_2 - a_0 a_2) - a_1^2 a_2 > 0$ shartlar bajarilishi kerak.

Xarakteristik tenglamaning darajasi «n» ortgan sari yuqoridagi kabi bajarilishi kerak bo'lgan shartlar ham ko'payib boradi. Shuning uchun turg'unlikning Gurvis mezonining $n \leq 4$ bo'lgan tizimlar uchun qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi.

3.2-misol. $12p^3 + 10p^2 + 8p + 10 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsa, Gurvis mezonini bo'yicha turg'unlikka tekshiring.

Yechish:

$$\begin{aligned} \text{Bu yerda} \quad a_0 &= 12 > 0, & a_2 &= 8 > 0, \\ a_3 &= 10 > 0, & a_1 &= 10 > 0. \end{aligned}$$

Demak, Gurvis mezonining yetarli sharti bajarilgan. Endi zaruriy shartini aniqlaymiz. Buning uchun Δ_1 va Δ_2 larni aniqlaymiz

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ a_0 & a_1 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_1 = 10 \cdot 8 - 12 \cdot 10 = -40 < 0.$$

Noldan kichik bo'lganligi sababli tizim noturg'un bo'ladi. O'z navbatida

$$\Delta_3 = a_3 \cdot \Delta_2 = 10 \cdot (-40) = -400 < 0$$

bo'ladi.

3.3-misol. $0,1p^4 + 6p^3 + 4p^2 + p + 4 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsa, Gurvis mezonini bo'yicha turg'unlikka tekshiring.

Yechish:

$$\begin{aligned} \text{Bu yerda} \quad a_0 &= 0,1 > 0, & a_1 &= 6 > 0, & a_2 &= 4 > 0, \\ a_3 &= 1 > 0, & a_4 &= 4 > 0. \end{aligned}$$

Gurvis mezonining yetarli sharti bajarilgan. Endi zarur shartini aniqlaymiz. Buning uchun Δ_1 , Δ_2 va Δ_3 larni aniqlaymiz:

$$\Delta_1 = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 6 \cdot 4 - 0,1 \cdot 1 = 23,9 > 0;$$

$$\Delta_1 = a_1(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 = 1 \cdot 23,9 - 6^2 \cdot 4 = 23,9 - 144 = -120,1 < 0$$

$$\Delta_2 = a_2 \Delta_1 = 4 \cdot (-120,1) = -480,4 < 0.$$

Gurvis mezonining zaruriy sharti bajarilmaganligi sababli berilgan xarakteristik tenglama noturg'un.

3.4-misol. $3p^5 + 10p^4 + 5p^3 - 7p^2 + p + 100 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsa, Gurvis mezonini bo'yicha turg'unlikka tekshir-ing.

Yechish:

$$\begin{array}{lll} \text{Bu yerda} & a_0 = 3 > 0, & a_1 = 10 > 0, & a_2 = 5 > 0, \\ & a_3 = -7 < 0, & a_4 = 1 > 0, & a_5 = 100 > 0. \end{array}$$

$a_3 = -7$ manfiy ishorali bo'lganligi sababli Gurvis mezonining yetarli sharti bajarilmayapti. Shuning uchun berilgan ushbu xarakteristik tenglama noturg'unidir.

3.5. Lenar-Shipar turg'unlik mezonini

Bu mezon 1919-yil P.Lenar va R.Shipar tomonidan taklif qilingan. Xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (3.16)$$

bu xarakteristik tenglamada n ning qiymatlari katta bo'lganda Gurvis mezonining o'rniga Lenar-Shiparning turg'unlik mezonini qo'llash ancha qulaydir.

Xarakteristik tenglamaning hamma koeffitsiyentlari musbat bo'lganda $\Delta_1, \Delta_3, \dots$ toq indeksli aniqlovchilar musbat ekanligi va Gurvisning $\Delta_2, \Delta_4, \dots$ juft indeksli aniqlovchilari ham musbat va aksincha ekanligi isbotlangan.

Shuning uchun turg'unlikning zarur sharti bajarilgan holda, ya'ni xarakteristik tenglamaning hamma koeffitsiyentlari musbat bo'lganda turg'unlik sharti Gurvis koeffitsiyentlari orasida

$$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5,$$

hamma juft indeksli yoki hamma toq indeksli aniqlovchilar musbat bo'lishi zarur va yetarlidir.

Tizim turg'un bo'lishi uchun quyidagi tengsizlik bajarilishi zarur va yetarlidir:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0,$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \Delta_3 > 0 \text{ yoki } \Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \Delta_6 > 0$$

bo'lganda

$$\Delta_0 > 0, \Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \dots, \Delta_n > 0.$$

Turg'unlikning Gurvis mezoniga nisbatan Lenar-Shipar mezonida kamroq sonli aniqlovchilar topiladi.

3.6. Turg'unlikning chastotaviy mezonlari. Argumentlar prinsipi

Turg'unlikning chastotaviy mezonlari avtomatik tizimlarning chastotaviy xarakteristikalari ko'rinishiga qarab ularning turg'unlik holatlarini tekshirish imkonini beradi [8,14,20].

Turg'unlikning chastotaviy mezonlari grafoanalitik mezon bo'lib, tizimlarning turg'unligini tekshirishda juda keng qo'llaniladi. Chunki bu mezonlar yordamida yuqori darajali avtomatik tizimlarning turg'unlik holatini tekshirish ancha oson hamda ular sodda geometrik tasvirga egadir [20,25].

Turg'unlikning chastotaviy mezonlari asosida kompleks o'zgaruvchi funksiya nazariyasidan ma'lum bo'lgan argumentlar prinsipi yotadi.

Quyida argumentlar prinsipining qisqacha bayonini keltiramiz

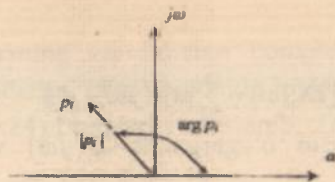
$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (3.17)$$

«n» - darajali polinom berilgan bo'lsin. Bu polinomni Bezu teoremasiga asosan quyidagicha ifodalash mumkin

$$D(p) = a_0 (p - p_1)(p - p_2)(p - p_3) \dots (p - p_n), \quad (3.18)$$

bu yerda $r_1, r_2, \dots, r_n - D(p)=0$ xarakteristik tenglamaning ildizlari.

«r» kompleks tekisligida har qaysi ildizni koordinata o'qi boshidan «r₁» nuqttagacha o'tkazilgan vektor orqali ifodalash mumkin (3.4-rasm).

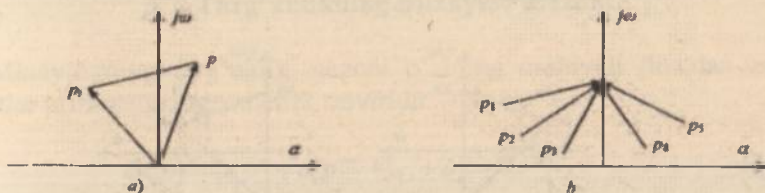


3.4-rasm.

Bu vektorning uzunligi kompleks sonning $p_i = \alpha_i + j\omega_i$ ning moduli $|p_i|$ ga shu vektorning musbat haqiqiy o'q bilan hosil qilgan burchagi esa p_i kompleks sonining argumentiga yoki fazasi $(p - p_i)$ ga teng bo'ladi. $(p - p_i)$ miqdorning geometrik o'rni p_i nuqtadan ixtiyoriy «r» nuqtasiga o'tkazilgan vektor orqali ifodalanadi. Xususiyl holda $p = j\omega$ bo'lganda (3.18) ifodani

$$D(j\omega) = a_0(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)(j\omega - p_3) \dots (j\omega - p_n) \quad (3.19)$$

ko'rinishida ifodalash mumkin. (3.19) ifodaning geometrik tasviri 3.5-rasmda keltirilgan.



3.5 -rasm.

$D(j\omega)$ vektorning moduli $(j\omega - p_i)$ elementar vektorning va a_0 koef-fitsiyentining ko'paytmasiga

$$|D(j\omega)| = a_0 |j\omega - p_1| \cdot |j\omega - p_2| \cdot |j\omega - p_3| \cdot \dots \cdot |j\omega - p_n| \cdot \dots \quad (3.20)$$

argumenti esa elementar vektorlar argumentining yig'indisiga teng bo'ladi

$$\arg D(j\omega) = \sum_{i=1}^n \arg(j\omega - p_i). \quad (3.21)$$

Chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda $D(j\omega)$ vektor argumentining o'zgarishi

$$\Delta \arg D(j\omega) = \sum_{i=1}^n \Delta \arg(j\omega - p_i) \quad (3.22)$$

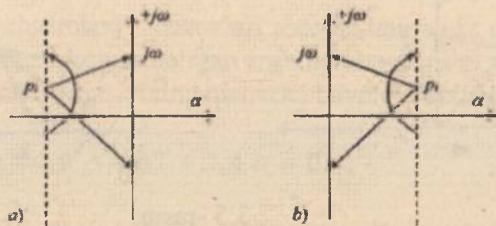
ga teng bo'ladi.

(3.22) ifodaga ko'ra $D(j\omega)$ vektor argumentining o'zgarishini hisoblash uchun $(j\omega - p_i)$ vektorlar argumenti o'zgarishining yig'indisini hisoblash zarur. Argumentning bu o'zgarishi esa p_i ildizning kompleks tekisligining qaysi tomonida joylashganligiga bog'liq.

1. p_i ildiz kompleks tekisligining chap tomonida joylashgan bo'lsin (3.6a-rasm).

$-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda $(j\omega - p_i)$ vektorning uchi mavhum o'q bo'yicha pastdan yuqoriga soat strelkasiga teskari (qarshi) yo'nalishda 180° burchakka buriladi, ya'ni

$$\Delta \arg(j\omega - p_i) = \pm \pi. \quad (3.23)$$



3.6-rasm.

2. p_i ildiz kompleks tekisligining o'ng tomonida joylashgan bo'lsin (3.6b-rasm).

Bu holda yuqoridagi kabi fikr yuritganimizda $(j\omega - p_i)$ vektori chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha (manfiy) $-\pi$ burchakka buriladi, ya'ni

$$\Delta \arg(j\omega - p_i) = -\pi. \quad (3.24)$$

$D(p) = 0$ tenglamaning « l » ildizlari kompleks tekisligining o'ng tomonida, $(n-l)$ ta ildizlari chap tomonida joylashgan deb faraz qilaylik. Unda (3.23) va (3.24) ifodalarga asoslanib, $D(j\omega)$ vektor argumentining o'zgarishi

$$\Delta \arg D(j\omega) = (n-l)\pi - l\pi = (n-2l)\pi \quad (3.25)$$

ga teng bo'lishini ko'ramiz.

(3.25) tenglik argumentlar prinsipining ifodasini bildiradi va uni quyidagicha ta'riflash mumkin.

Chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgariganda $D(j\omega)$ vektori argumentining o'zgarishi chap va o'ng ildizlar ayirmasining « π » soniga ko'paytirilganiga teng bo'ladi.

Agarda $0 < \omega < \pi/2$ o'zgarsa, unda

$$\Delta \arg D(j\omega) = (n-2l)\frac{\pi}{2} \quad (3.26)$$

bo'ladi.

3.7. Turg'unlikning Mixaylov mezon

Mixaylovning turg'unlik mezonini o'zining mohiyati jihatdan argumentlar prinsipining geometrik tasviridir.

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (3.27)$$

xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin. Bu yerda $D(p)$ polinomni xarakteristik polinom deb ataladi.

Tizim turg'un bo'lishi uchun (3.27) xarakteristik tenglamaning hamma ildizlari kompleks tekisligining chap yarim tekisligida joylashishi, ya'ni o'ng ildizlar soni $l=0$ bo'lishi kerak. U holda argumentlar prinsipiga muvofiq $\Delta \arg D(j\omega) = n\frac{\pi}{2}$ yoki $\Delta \arg D(j\omega) = n\pi$ shart bajarilishi kerak [8,20,25].

Chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgariganda $D(j\omega)$ vektorning kompleks tekisligidagi geometrik o'rniga Mixaylov gadografi deyiladi.

$$D(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n = U(\omega) + jV(\omega),$$

bunda $U(\omega) = (a_0 - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots)$ haqiqiy qism bo'lib, u chastotaga nisbatan juft funksiyadir, ya'ni $U(\omega) = U(-\omega)$.

Mavhum qism esa chastotaga nisbatan toq funksiya bo'ladi.

$$V(\omega) = \omega(a_{n-1} + a_{n-3}\omega^2 - a_{n-5}\omega^4 + \dots),$$

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

Shunday qilib,

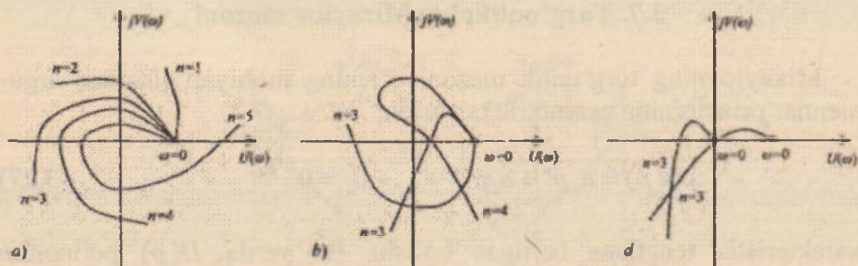
$$D(\omega) = U(\omega) - jV(\omega)$$

bo'ladi.

Mixaylov mezonining ta'rifi:

Agar chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda Mixaylov gadografi haqiqiy musbat o'qdan boshlab koordinata boshi atrofida musbat (soat strelkasiga qarshi) yo'nalishda $n\pi/2$ burchakka burilsa, u holda tizim turg'un bo'ladi (bu yerda «n» xarakteristik tenglamaning darajasi) [8,20,28].

3.7a-rasmda turg'unlik shartlari uchun Mixaylov gadograflarining ko'rinishlari keltirilgan.



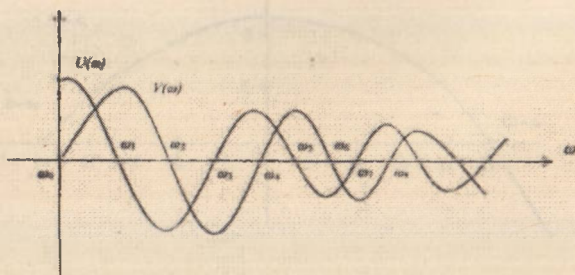
3.7-rasm. a) tizimning turg'unlik shartlari; b) tizimning noturg'unlik shartlari; d) tizimning turg'unlik chegaralari shartlari uchun Mixaylov gadograflarining ko'rinishlari.

Mixaylov gadografi tahlil etilganda, unda quyidagi natija kelib chiqadi.

Mixaylov gadografi koordinata tekisligida kvadratlarni ketma-ket kesib o'tganda, u haqiqiy va mavhum o'qlarni birin-ketin kesib o'tadi.

Mixaylov gadografi haqiqiy o'qni kesib o'tganda, uning mavhum funksiyasi $V(\omega)$ nolga aylanadi, mavhum o'qni kesib o'tganda esa Mixaylovning haqiqiy funksiyasi $U(\omega)$ nolga aylanadi.

Shuning uchun gadografning haqiqiy va mavhum o'qlarni kesib o'tgan nuqtalaridagi chastotaning qiymati $U(\omega) = 0$ (a), $V(\omega) = 0$ (b) tenglamalarining ildizlari bo'lishi kerak. Ushbu funksiyalarning grafigi 3.8-rasmda keltirilgan.



3.8-rasm. Gadografning haqiqiy va mavhum o'qlarni kesib o'tgan nuqtalaridagi ko'rinish grafigi.

Bu egri chiziqlarning absissa o'qi bilan kesishgan nuqtalari (a) va (b) tenglamalarning ildizlarini bildiradi.

Agar $\omega_0, \omega_2, \omega_4, \dots$ (b) tenglamaning ildizlari $\omega_1, \omega_3, \omega_5, \dots$ esa (a) tenglamaning ildizlari bo'lib, shu bilan birga $\omega_0 < \omega_2 < \omega_4$ va $\omega_1 < \omega_3 < \omega_5$ bo'lsa, unda tizim turg'un bo'lishi uchun $\omega_0 < \omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \omega_4 < \omega_5$ tengsizlik bajarilishi kerak.

3.5-misol. $2p^3 + 6p^2 + 10p + 15 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin. Mixaylov mezoni yordamida tizimning turg'unligini tekshiring.

Yechish: Buning uchun xarakteristik tenglamada « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtiramiz va haqiqiy hamda mavhum qismlarga ajratamiz.

$$2(j\omega)^3 + 6(j\omega)^2 + 10(j\omega) + 15 = 0,$$

$$U(\omega) = 15 - 6\omega^2; \quad V(\omega) = \omega(10 - 2\omega^2)$$

$$a) \omega = 0 \text{ bo'lsa} \quad U(\omega) = 15; \quad V(0) = 0;$$

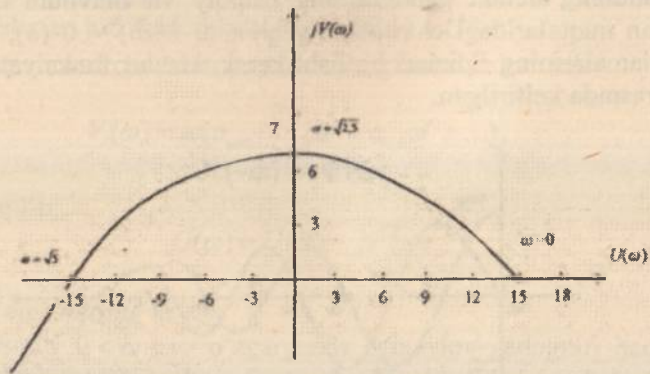
$$b) U(\omega) = 0; \quad 15 - 6\omega^2 = 0 \quad \omega^2 = 15/6 = 2.5;$$

$$V(\sqrt{2.5}) = \sqrt{2.5}(10 - 2 \cdot 2.5) = \sqrt{2.5} \cdot 5 = 7;$$

$$d) V(\omega) = 0; \quad (10 - 2\omega^2) = 2 \quad \omega^2 = 5;$$

$$U(\sqrt{5}) = 15 - 6 \cdot 5 = -15.$$

Shu qiymatlar asosida Mixaylov gadografini quramiz (3.9-rasm).



3.9-rasm.

Mixaylov gadografi uchta chorakni ketma-ket kesib o'tyapti, ya'ni I, II va III choraklarni. Shuningdek, xarakteristik tenglamaning darajasi ham $n=3$ teng. Ko'rinib turibdiki, tizim Mixaylov mezonidagi shartlarini qanoatlantirgani uchun u turg'undir.

3.6-misol. $p^3 + 4p^2 + 10p + 40 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin. Mixaylov mezoni yordamida tizimning turg'unligini tekshiring.

Yechish: Buning uchun xarakteristik tenglamada « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtiramiz va haqiqiy hamda mavhum qismlarga ajratamiz.

$$(j\omega)^3 + 4(j\omega)^2 + 10j\omega + 40 = 0,$$

$$u(\omega) = 40 - 4\omega^2; \quad v(\omega) = \omega(10 - 2\omega^2),$$

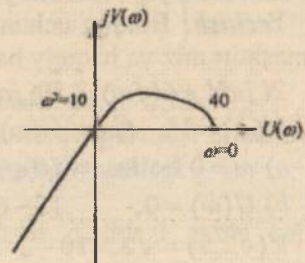
$$a) \omega = 0, \quad u(0) = 40$$

$$v(0) = 0,$$

$$b) u(\omega) = 0, \quad 40 - 4\omega^2 = 0,$$

$$\omega^2 = 10.$$

$$v(\sqrt{10}) = \sqrt{10}(10 - 10) = 0.$$

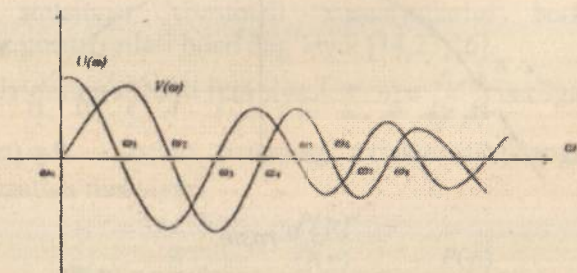


3.10-rasm.

3.10-rasmda keltirilgan gadografdan ko'rinib turibdiki, tizim turg'unlik chegarasida.

Mixaylov gadografi haqiqiy o'qni kesib o'tganda, uning mavhum funksiyasi $V(\omega)$ nolga aylanadi, mavhum o'qni kesib o'tganda esa Mixaylovning haqiqiy funksiyasi $U(\omega)$ nolga aylanadi.

Shuning uchun gadografning haqiqiy va mavhum o'qlarni kesib o'tgan nuqtalaridagi chastotaning qiymati $U(\omega) = 0$ (a), $V(\omega) = 0$ (b) tenglamalarining ildizlari bo'lishi kerak. Ushbu funksiyalarning grafifi 3.8-rasmda keltirilgan.



3.8-rasm. Gadografning haqiqiy va mavhum o'qlarni kesib o'tgan nuqtalaridagi ko'rinish grafifi.

Bu egri chiziqlarning absissa o'qi bilan kesishgan nuqtalari (a) va (b) tenglamalarning ildizlarini bildiradi.

Agar $\omega_0, \omega_2, \omega_4, \dots$ (b) tenglamaning ildizlari $\omega_1, \omega_3, \omega_5, \dots$ esa (a) tenglamaning ildizlari bo'lib, shu bilan birga $\omega_0 < \omega_2 < \omega_4$ va $\omega_1 < \omega_3 < \omega_5$ bo'lsa, unda tizim turg'un bo'lishi uchun $\omega_0 < \omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \omega_4 < \omega_5$ tengsizlik bajarilishi kerak.

3.5-misol. $2p^3 + 6p^2 + 10p + 15 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin. Mixaylov mezoni yordamida tizimning turg'unligini tekshiring.

Yechish: Buning uchun xarakteristik tenglamada «p» ni «j ω » bilan almashtiramiz va haqiqiy hamda mavhum qismlarga ajratamiz.

$$2(j\omega)^3 + 6(j\omega)^2 + 10(j\omega) + 15 = 0,$$

$$U(\omega) = 15 - 6\omega^2; \quad V(\omega) = \omega(10 - 2\omega^2)$$

$$a) \omega = 0 \text{ bo'lsa} \quad U(\omega) = 15; \quad V(0) = 0;$$

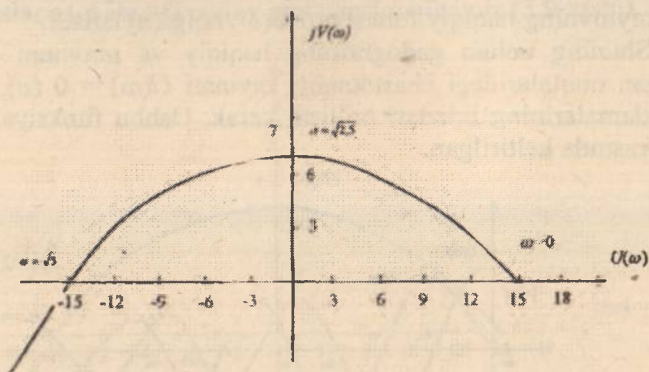
$$b) U(\omega) = 0; \quad 15 - 6\omega^2 = 0 \quad \omega^2 = 15/6 = 2.5;$$

$$V(\sqrt{2.5}) = \sqrt{2.5}(10 - 2 \cdot 2.5) = \sqrt{2.5} \cdot 5 = 7;$$

$$d) V(\omega) = 0; \quad (10 - 2\omega^2) = 2 \quad \omega^2 = 5;$$

$$U(\sqrt{5}) = 15 - 6 \cdot 5 = -15.$$

Shu qiymatlar asosida Mixaylov gadografini quramiz (3.9-rasm).



3.9-rasm.

Mixaylov gadografi uchta chorakni ketma-ket kesib o'tyapti, ya'ni I, II va III choraklarni. Shuningdek, xarakteristik tenglamaning darajasi ham $n=3$ teng. Ko'rinib turibdiki, tizim Mixaylov mezonidagi shartlarini qanoatlantirgani uchun u turg'undir.

3.6-misol. $p^3 + 4p^2 + 10p + 40 = 0$ xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin. Mixaylov mezonini yordamida tizimning turg'unligini tekshiring.

Yechish: Buning uchun xarakteristik tenglamada « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtiramiz va haqiqiy hamda mavhum qismlarga ajratamiz.

$$(j\omega)^3 + 4(j\omega)^2 + 10j\omega + 40 = 0,$$

$$u(\omega) = 40 - 4\omega^2; \quad v(\omega) = \omega(10 - 2\omega^2),$$

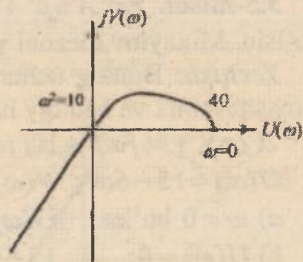
$$a) \omega = 0, \quad u(0) = 40$$

$$v(0) = 0,$$

$$b) u(\omega) = 0, \quad 40 - 4\omega^2 = 0,$$

$$\omega^2 = 10.$$

$$v(\sqrt{10}) = \sqrt{10}(10 - 10) = 0.$$



3.10-rasm.

3.10-rasmda keltirilgan gadografdan ko'rinib turibdiki, tizim turg'unlik chegarasida.

3.8. Naykvist turg'unlik mezoni

Turg'unlikning Naykvist mezoni ochiq tizimning amplituda faza xarakteristikasi (AFX) bo'yicha berk tizimning turg'unligini tekshirish imkoniyatini beradi. Ochiq tizimning AFXsini esa ham analitik ham tajriba yo'li bilan olish mumkin.

Turg'unlikning ushbu mezoni aniq fizik ma'noga ega bo'lib, ochiq tizimning statsionar chastotali xususiyatlarini berk tizimning nostatsionar xususiyatlari bilan bog'laydi [14,23,26].

Ochiq tizimning uzatish funksiyasi $W(p) = \frac{P(p)}{Q(p)}$ berilgan bo'lsin. Bu yerda $Q(p) = 0$ – ochiq tizimning xarakteristik tenglamasi. Berk tizimning uzatish funksiyasi:

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{\frac{P(p)}{Q(p)}}{1 + \frac{P(p)}{Q(p)}} = \frac{P(p)}{Q(p) + P(p)},$$

$$A(p) = 1 + W(p) = 1 + \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{Q(p) + P(p)}{Q(p)}. \quad (3.28)$$

Berk tizimning xarakteristik tenglamasi:

$Q(p) + P(p)$ – berk tizimning xarakteristik polinomini ifodalaydi.

$Q(p)$ – polinom « n » darajaga ega;

$P(p)$ – polinom « m » darajaga ega.

Tizimni ishga tushirish uchun doimo $m < n$ bo'lishi kerak. Shuning uchun $Q(p) + P(p)$ polinom « n » darajaga ega bo'ladi.

Ochiq tizimning o'zi turg'un va noturg'un hollarda bo'lishi mumkin. Biz mana shu ikki holatda berk tizimning turg'unligini tekshirib ko'ramiz.

a) Ochiq tizim turg'un holatda.

Xarakteristik tenglamaning o'ng ildizlari soni $l = 0$. Argumentlar prinsipiga asosan ochiq tizim xarakteristik tenglamasi argumentning o'zgarishi:

$$\Delta \arg Q(j\omega) = n \frac{\pi}{2}.$$

Endi berk tizim turg'un bo'lishini talab etamiz. Unda quyidagi tenglik bajarilishi lozim:

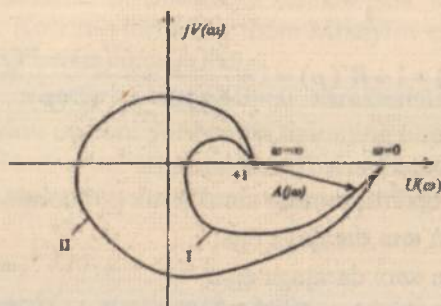
$$\Delta \arg[Q(j\omega) + P(j\omega)] = n \frac{\pi}{2} \quad (3.29)$$

(3.28) ifodaga muvofiq berk tizimning xarakteristik tenglamasining argument o'zgarishi:

$$\Delta \arg A(j\omega) = \Delta \arg[Q(j\omega) + P(j\omega)] - \Delta \arg Q(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - n \frac{\pi}{2} = 0. \quad (3.30)$$

Shunday qilib, berk tizim turg'un bo'lishi uchun chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda $A(j\omega)$ vektorining koordinata o'qi atrofidagi burchak burilishi (argument o'zgarishi) nolga teng bo'lishi kerak yoki chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda berk tizim AFXsi $A(j\omega)$ koordinata boshini, ya'ni $(0; 0)$ nuqtani o'z ichiga olmasligi kerak.

$A(j\omega) = 1 + W(j\omega)$ gadografining ko'rinishi 3.11-rasmda keltirilgan.

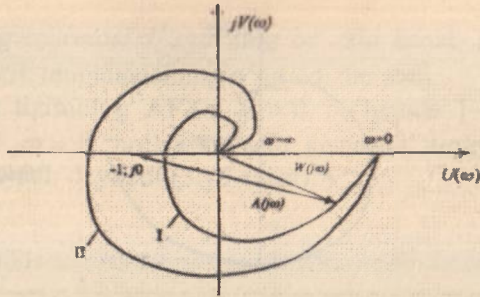


3.11-rasm. I – berk tizim turg'un; II – berk tizim noturg'un.

Lekin tizimning AFX $A(j\omega) = 1 + W(j\omega)$ si ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ sidan «+1» ga farq qiladi.

Shuning uchun yuqorida keltirilgan Naykvist mezonining ta'rifini ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ ga tatbiq etganimizda Naykvist mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Berk tizim turg'un bo'lishi uchun ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ si chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda $(-1; j0)$ kritik nuqtani o'z ichiga olmasligi kerak (3.12-rasm).



3.12-rasm. I – berk tizim turg'un; II – berk tizim noturg'un.

b) Ochiq tizim noturg'un.

Bunda ochiq tizim xarakteristik tenglamasi «l» o'ng ildizga ega, ya'ni $l \neq 0$, unda argumentlar prinsipiga muvofiq

$$\Delta \arg Q(j\omega) = (n-2l) \frac{\pi}{2} \quad (3.31)$$

bo'ladi.

Agar tizimning turg'un bo'lishi talab etilsa, unda quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\Delta \arg [Q(j\omega) + P(j\omega)] = n \frac{\pi}{2} \quad (3.32)$$

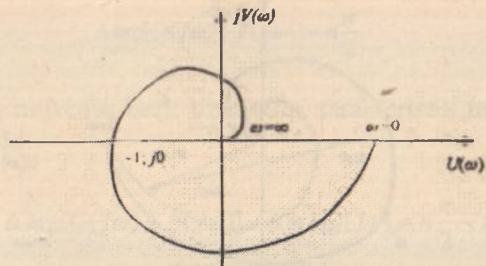
U holda $A(j\omega) = 1 + W(j\omega)$ vektorining argument o'zgarishi

$$\Delta \arg A(j\omega) = \Delta \arg [Q(j\omega) + P(j\omega)] - \Delta \arg Q(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - (n-2l) \frac{\pi}{2} = l\pi \quad (3.33)$$

bo'ladi. Ya'ni $A(j\omega)$ vektorining koordinata o'qining boshi atrofidagi summar burchak burilishi turg'un berk tizim uchun « $l\pi$ » ga teng bo'lishi lozim.

Bundan Naykvist mezonining quyidagi ta'rifi kelib chiqadi:

Berk tizim turg'un bo'lishi uchun chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ si kritik nuqta $(-1; j0)$ ni $l/2$ marta o'z ichiga olishi kerak; bunda l - ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni (3.13-rasm).

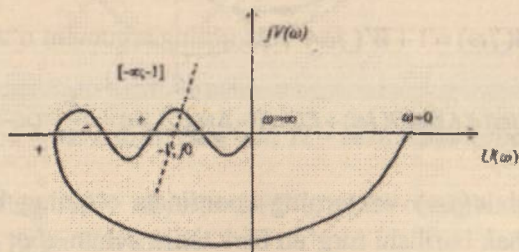


3.13-rasm.

$W(j\omega)$ gadografi $(-1; j0)$ nuqtani bir marta o'z ichiga olyapti. Shuning uchun bunda ochiq tizimning o'ng ildizlar soni $l = 2$, chunki $l/2 = 1 \Rightarrow l = 2$. Demak ochiq tizimning o'ng ildizlar soni $l = 2$ bo'lsa, berk tizim ham noturg'un bo'ladi.

Amaliy masalalarni yechishda Ya.Z.Sipkin taklif etgan «o'tish qoidasini» qo'llash maqsadga muvofiqdir.

$W(j\omega)$ xarakteristikani o'tishi deganda shu xarakteristikaning kompleks tekisligida manfiy haqiqiy o'qni $(-1; j0)$ nuqtaning chap tomonini, ya'ni $[-\infty; -1]$ kesmani chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda pastdan yuqoriga kesib o'tsa, musbat o'tish yuqoridan pastga kesib o'tsa, manfiy o'tish deyiladi (3.14-rasm).



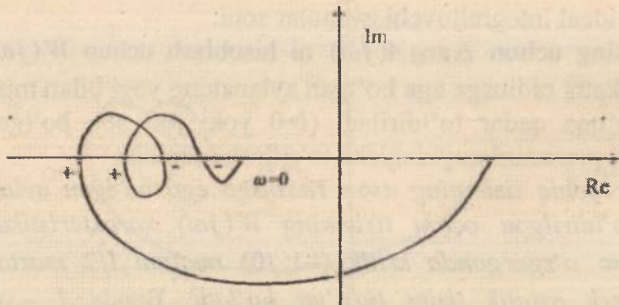
3.14-rasm.

Yuqorida aytilganlarni e'tiborga olgan holda Naykvist mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Berk tizim turg'un bo'lishi uchun ochiq tizimning AFXsining chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda $[-\infty; -1]$ kesma orqali musbat va man-

fiy o'tishlarning ayirmasi $1/2$ ga teng bo'lishi kerak. Bunda 1 - ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni.

Agar ochiq tizimning AFXsi $\omega=0$ bo'lganda $[-\infty; -1]$ kesmada boshlansa yoki $\omega=\infty$ bo'lganda shu kesmada tugasa, unda bunday o'tishni yarim o'tish deyiladi (3.15-rasm).



3.15-rasm.

Statik ochiq tizimning $W(j\omega)$ xarakteristiklari chastota o'zgar-ganda yopiq kontur hosil qiladi.

Ideal integrallagich zvenosi bo'lgan astatik ochiq tizimlarning $W(j\omega)$ xarakteristiklari chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgar-ganda yopiq kontur hosil qilmaydi.

d) astatik tizim uchun Naykvist mezonini qo'llash.

Astatik tizimning AFX

$$W(j\omega) = \frac{P(j\omega)}{(j\omega)^v Q(j\omega)}, \quad (3.34)$$

ko'rinishga ega bo'lib, berk kontur hosil qilmaydi.

Bunday tizimlar uchun ochiq tizimning xarakteristik tenglamasi nol ildizga ega bo'lib, quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin.

$$Q(p) = p^v Q_1(p), \quad (3.35)$$

bu yerda, v – astatizm darajasi, ya'ni tizimdagi ideal integral zvenolar soni; $Q_1(p)$ – nol ildizga ega bo'lmagan polinom.

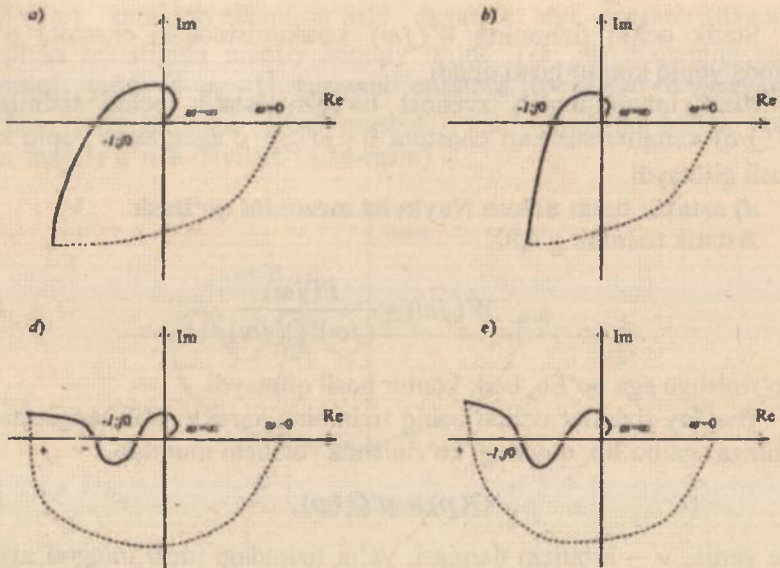
Astatik tizimlarning AFXsi (3.32) ifodaga ko'ra $\omega=0$ bo'lganda ∞ bo'ladi. Shuning uchun kritik $(-1; j0)$ nuqtani «kontur ichida» yoki «kontur tashqarisida» ekanligini aniqlash qiyinlashadi, ya'ni $W(j\omega)$

xarakteristikasi $(-1; j0)$ kritik nuqtani o'z ichiga olishi yoki olmasligini aytish mumkin bo'lmay qoladi. O'z navbatida berk tizimning turg'unlik masalalarini yechish qiyinlashadi.

Tizim tarkibidagi ideal integrallovchi zvenolar chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda $-\nu \frac{\pi}{2}$ burchak o'zgarishini beradi. Bunda ν – ketma-ket ulangan ideal integrallovchi zvenolar soni.

Shuning uchun $\Delta \arg A(j\omega)$ ni hisoblash uchun $W(j\omega)$ gadografi cheksiz katta radiusga ega bo'lgan aylananing yoyi bilan musbat haqiqiy yarim o'qqa qadar to'ldiriladi ($l=0$ yoki juft son bo'lganda). Unda Naykvist mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

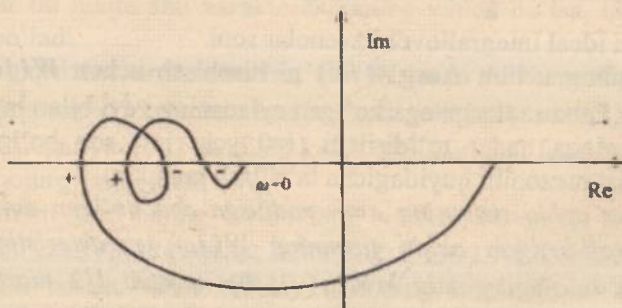
Agar ochiq tizimning « ∞ » radiusga ega bo'lgan aylananing yoyi bilan to'ldirilgan ochiq tizimning $W(j\omega)$ xarakteristikasi chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda kritik $(-1; j0)$ nuqtani $l/2$ marta o'z ichiga olsa, berk astatik tizim turg'un bo'ladi. Bunda l – ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni.



3.16-rasm. a) $\nu=1$ berk tizim noturg'un; b) $\nu=1$ berk tizim turg'un; d) $\nu=2$ berk tizim turg'un; e) $\nu=2$ berk tizim noturg'un.

fiy o'tishlarning ayirmasi $l/2$ ga teng bo'lishi kerak. Bunda l - ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni.

Agar ochiq tizimning AFXsi $\omega = 0$ bo'lganda $[-\infty; -1]$ kesmada boshlansa yoki $\omega = \infty$ bo'lganda shu kesmada tugasa, unda bunday o'tishni yarim o'tish deyiladi (3.15-rasm).



3.15-rasm.

Statik ochiq tizimning $W(j\omega)$ xarakteristiklari chastota o'zgar-ganda yopiq kontur hosil qiladi.

Ideal integrallagich zvenosi bo'lgan astatik ochiq tizimlarning $W(j\omega)$ xarakteristiklari chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgar-ganda yopiq kontur hosil qilmaydi.

d) astatik tizim uchun Naykvist mezonini qo'llash.

Astatik tizimning AFX

$$W(j\omega) = \frac{P(j\omega)}{(j\omega)^v Q(j\omega)}, \quad (3.34)$$

ko'rinishga ega bo'lib, berk kontur hosil qilmaydi.

Bunday tizimlar uchun ochiq tizimning xarakteristik tenglamasi nol ildizga ega bo'lib, quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin.

$$Q(p) = p^v Q_1(p), \quad (3.35)$$

bu yerda, v - astatizm darajasi, ya'ni tizimdagi ideal integral zvenolar soni; $Q_1(p)$ - nol ildizga ega bo'lmagan polinom.

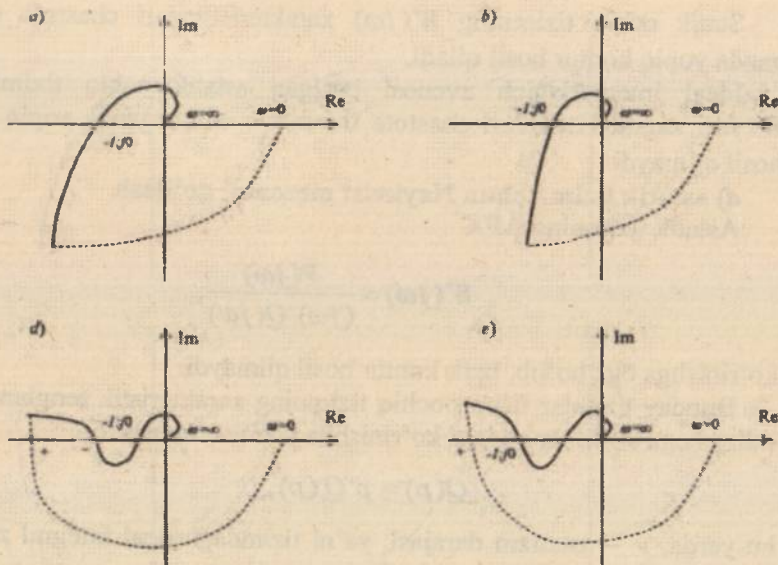
Astatik tizimlarning AFXsi (3.32) ifodaga ko'ra $\omega = 0$ bo'lganda ∞ bo'ladi. Shuning uchun kritik $(-1; j0)$ nuqtani «kontur ichida» yoki «kontur tashqarisida» ekanligini aniqlash qiyinlashadi, ya'ni $W(j\omega)$

xarakteristikasi $(-1; j0)$ kritik nuqtani o'z ichiga olishi yoki olmasligini aytish mumkin bo'lmay qoladi. O'z navbatida berk tizimning turg'unlik masalalarini yechish qiyinlashadi.

Tizim tarkibidagi ideal integrallovchi zvenolar chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda $-\nu \frac{\pi}{2}$ burchak o'zgarishini beradi. Bunda ν - ketma-ket ulangan ideal integrallovchi zvenolar soni.

Shuning uchun $\Delta \arg A(j\omega)$ ni hisoblash uchun $W(j\omega)$ gadografi cheksiz katta radiusga ega bo'lgan aylananing yoyi bilan musbat haqiqiy yarim o'qqa qadar to'ldiriladi ($l=0$ yoki juft son bo'lganda). Unda Naykvist mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Agar ochiq tizimning « ∞ » radiusga ega bo'lgan aylananing yoyi bilan to'ldirilgan ochiq tizimning $W(j\omega)$ xarakteristikasi chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda kritik $(-1; j0)$ nuqtani $l/2$ marta o'z ichiga olsa, berk astatik tizim turg'un bo'ladi. Bunda l - ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni.



3.16-rasm. a) $\nu=1$ berk tizim noturg'un; b) $\nu=1$ berk tizim turg'un; d) $\nu=2$ berk tizim turg'un; e) $\nu=2$ berk tizim noturg'un.

3.16-rasmda ochiq tizim turg'un bo'lgan ($l = 0$) holda berk tizimning turg'unligini aniqlashga misollar keltirilgan.

3.16-rasmda keltirilgan gadograflardan ko'rinib turibdiki, agar tizim turg'un bo'lsa, u holda kritik $(-1; j0)$ nuqta « ∞ » radiusga ega bo'lgan aylananing yoyi bilan to'ldirilgan ochiq tizim AFX sining tashqarisida yotadi. Agar bu nuqta shu xarakteristikaning ichida bo'lsa, unda tizim noturg'un bo'ladi.

Agar ochiq tizim turg'un bo'lsa, ($l = 0$), unda AFX manfiy haqiqiy yarim o'qni $[-\infty; -1]$ kesmada kesib o'tadi yoki bu kesmani juft marta kesib o'tadi. Agar $[-\infty; -1]$ kesmani kesib o'tishlar soni toq bo'lsa, unda berk tizim noturg'un bo'ladi.

Ochiq tizim yoki uning tarkibidagi birorta zvenoning tenglamasi noma'lum bo'lsa-yu, lekin ochiq tizimning $W(j\omega)$ AFX si tajriba yo'li bilan olingan bo'lsa, unda bunday tizimning turg'unligini tekshirish uchun faqatgina Naykvist mezonini qo'llash mumkin. Bu esa Naykvist turg'unlik mezonining boshqa turg'unlik mezonlaridan afzalligini ko'rsatadi. Bundan tashqari kechikuvchi tizimlarning turg'unligini tekshirishda faqatgina Naykvist mezonini qo'llash mumkin.

3.9. Logarifmik chastotaviy xarakteristika bo'yicha turg'unlikning tahlili (Turg'unlikning logarifmik mezon)

Muhandislik amaliyotida ABT larning turg'unligini tahlil etishda ochiq tizimning logarifmik chastotaviy xarakteristikasi (LChX) dan keng foydalaniladi. Chunki ochiq tizimning asimptotik LChXsini qurish AFXni qurishdan ancha oson va qulaydir [17,23].

Tizimning turg'unligi ochiq tizim $W(j\omega)$ AFXsining $[-\infty; -1]$ kesmada manfiy haqiqiy yarim o'qni kesib o'tishlar soni bilan bog'liqdir. Shuning uchun ochiq tizimning AFXsi $W(j\omega)$ bilan LChXsi orasidagi bog'liqlikni aniqlab olamiz.

Ochiq tizimning AFXsi $W(j\omega)$ manfiy haqiqiy o'qni kesib o'tganda, LFChX $-\pi(2l+1)$ chiziqning birini kesib o'tadi. $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ tizimning turg'unligi nuqtayi nazaridan olganda, bu o'tishlar soni kritik $(-1; j0)$ nuqtaning o'ng tomonida, $|W(j\omega)| < 1$ AFX ning moduli birdan kichik bo'lganda, ya'ni LChX ordinalari manfiy $L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| < 0$ bo'lganda sodir etilsa, unda bu o'tishlar tizimning turg'unligiga hech qanday xavf tug'dirmaydi.

Shu sababli $L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| < 0$ bo'lagi tizimning turg'unligini tekshirilayotganda unchalik ahamiyat kash etmaydi.

$W(j\omega)$ xarakteristikaning $[-\infty; -1]$ kesma orqali musbat o'tishiga (pastdan yuqoriga) LFChX ning $L(\omega) > 0$ bo'lagida $-\pi(2l+1)$ to'g'ri chiziqni yuqoridan pastga (musbat o'tish) kesib o'tishi $W(j\omega)$ xarakteristikaning $[-\infty; -1]$ kesma orqali manfiy o'tishiga (yuqoridan pastga) LFChX ning $L(\omega) > 0$ bo'lagida $-\pi(2l+1)$ to'g'ri chiziqni pastdan yuqoriga (manfiy) o'tishi to'g'ri keladi.

Yuqorida aytilganlarni hisobga olib, turg'unlikning logarifmik mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Agar ochiq tizimning LFChX $L(\omega) > 0$ bo'lagida $-\pi(2l+1)$ to'g'ri chizig'idan o'tgan musbat va manfiy o'tishlari ayirmasi $l/2$ ga teng bo'lsa, berk tizim turg'un bo'ladi. Bunda l – ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlari soni.

3.17-rasmda ochiq tizim turg'un bo'lgan holda, berk tizim turg'un yoki noturg'un holatlariga to'g'ri keladigan logarifmik xarakteristikalaridan misollar keltirilgan.

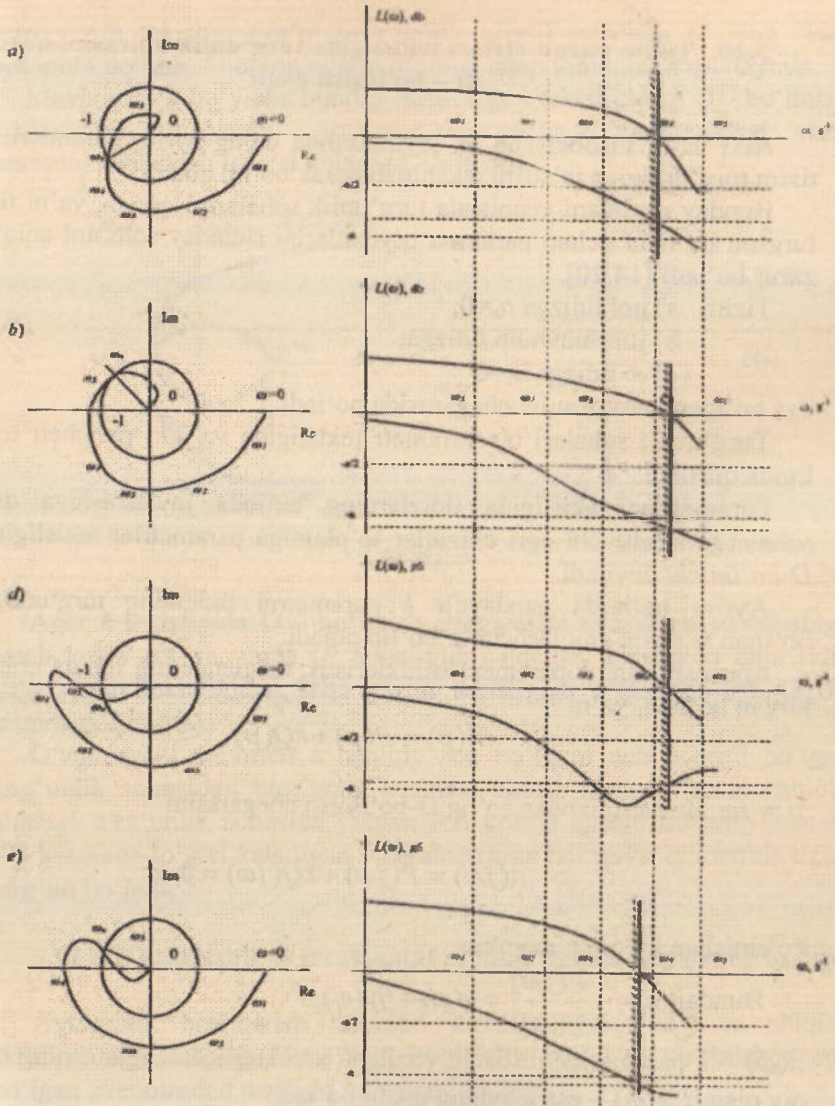
Berk tizimning turg'unligini tekshirish LACHX ning musbat ordinatasiga to'g'ri kelgan bo'lagida tekshirilgan, rasmda u shtrixlangan chiziq bilan ko'rsatilgan. Logarifmik xarakteristikalar bilan birga ularga mos tushadigan ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ xarakteristikalari ham keltirilgan.

$W(j\omega)$ xarakteristikasining radiusi birga teng bo'lgan aylana bilan kesishiga LACHX ning absissa o'qi bilan kesishi to'g'ri keladi va bu chastotani kesish chastotasi deyiladi va ω_c bilan belgilanadi.

$W(j\omega)$ xarakteristikasining manfiy haqiqiy o'q bilan kesishgan nuqtasiga LFChX ning π to'g'ri chizig'ini kesib o'tishi to'g'ri keladi va bu chastotani ω , o'tish chastotasi deyiladi.

Agar ochiq tizim turg'un ($l=2$) bo'lsa, unda berk tizim turg'un bo'lishi uchun $\omega_c < \omega$, sharti bajarilishi kerak. Aks holda berk tizim noturg'un bo'ladi.

3.17a,d-rasmlarda keltirilgan xarakteristikalar berk tizimning turg'un holatiga to'g'ri keladi, 3.17b,e-rasmlarda keltirilgan xarakteristikalar esa berk tizimning noturg'un holatiga to'g'ri keladi.



3.17-rasm. Ochiq tizim turg'un bo'lgan holda, berk tizim turg'un (a,d) yoki noturg'un (b,e) holatlariga to'g'ri keladigan logarifmik xarakteristikalar.

3.10. Tizim parametrlari tekisligida turg'unlik doirasini qurish. D – bo'linish usuli

ABT larni hisoblashda va loyihalashda uning ayrim parametrlarini tizim turg'unligiga ta'sirini tekshirish kerak bo'lib qoladi.

Bunday masalani yechishda turg'unlik sohalarini qurish, ya'ni tizim turg'un bo'lishi uchun parametr qiymatlarini shunday sohasini aniqlash zarur bo'ladi [14,20].

- Tizim a) nol ildizga $a_n=0$;
b) juft mavhum ildizga;
d) ∞ ildizga $a_0=0$

ega bo'lganda turg'unlik chegarasida bo'ladi.

Turg'unlik sohalari bir parametr tekisligida va ikki parametr tekisligida quriladi.

Parametrlar tekisligida ildizlarning tartibda joylashishiga qarab sohalarga ajratuvchi egri chiziqlar to'plamiga parametrlar tekisligining *D-bo'linishi* deyiladi.

Ayrim hollarda qandaydir k parametrni tizimning turg'unligiga bo'lgan ta'sirini aniqlash zarur bo'lib qoladi.

Masalan: shu k parametr xarakteristik tenglamaning ichiga chiziqli kirgan bo'lsin, ya'ni

$$A(p) = P(p) + kQ(p),$$

$p = j\omega$ almashtirishdan so'ng D-bo'linish chegarasini

$$A(j\omega) = P(j\omega) + kQ(j\omega) = 0$$

ko'rinishga keltirish mumkin.

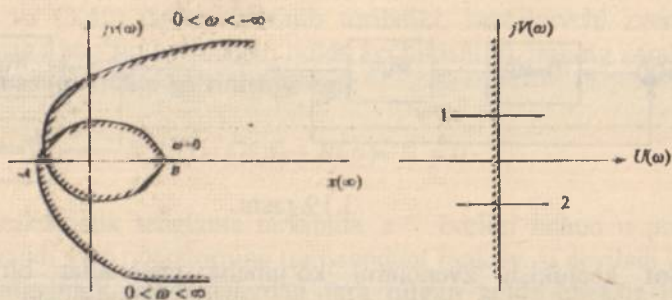
$$\text{Bundan } k = -\frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)} = x(\omega) + jy(\omega),$$

$x(\omega)$ – k parametrغا nisbatan yozilgan xarakteristik tenglamaning haqiqiy qismi; $y(\omega)$ – esa mavhum qismi bo'ladi.

D – bo'linish chegarasini qurayotganda uni faqat chastotaning musbat qiymatlari uchun qurish yetarlidir, ya'ni $0 < \omega < \infty$. Undan keyin esa chastotaning manfiy qiymatlariga to'g'ri keladigan uchastkasini haqiqiy o'qqa nisbatan simmetrik ravishda chizib qo'yish mumkin. Chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda P tekisligida pastdan yuqori tomon

chap yarim tekisligi (ya'ni turg'unlik sohasi) mavhum o'qning chap tomonida bo'ladi. Shuning uchun o'qning chap tomonini shtrixlaymiz.

Mavhum o'q bo'yicha bunday harakatga k tekisligidagi D – bo'linish chegarasining chastota $-\infty < \omega < +\infty$ gacha o'zgarganidagi chap tomonini shtrixlash to'g'ri keladi (3.18-rasm).



3.18-rasm.

Agar k tekisligida D – bo'linish chegarasini shtrixlash yo'nalishiga qarab kesib o'tilsa, unda (P tekisligida) ildizlar tekisligida bitta ildiz o'ng yarim tekisligidan chap yarim tekisligiga o'tgan bo'ladi (3.18-rasmdagi 2 nuqta).

O'zgaruvchi parametr k haqiqiy son bo'lgani uchun hosil bo'lgan turg'unlik sohasidan turg'unlik kesmasi ajratib olinadi. Ya'ni haqiqiy o'qdagi turg'unlik sohasida yotgan AB kesma ajratib olinadi. Demak, AB kesmaga to'g'ri keladigan v parametrning har qaysi qiymatida tizim turg'un bo'ladi.

3.11. Kechikishli va irratsional zvenoli tizimlarning turg'unligi

Avtomatik boshqarish tizimlari kirish kattaligi $u(t)$ va chiqish kattaligi $y(t)$ larining o'rtasidagi bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan zvenolardan tuzilishi mumkin [20,26]:

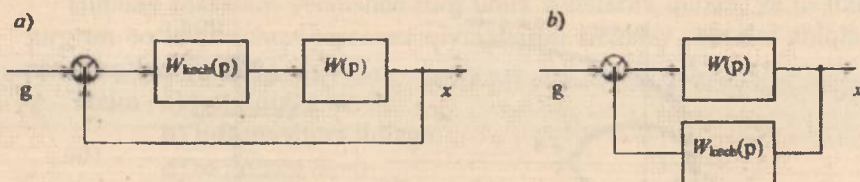
$$y(t) = u(t - \tau), \quad (3.36)$$

bu yerda, τ – doimiy kattalik (miqdor) bo'lib, *kechikish vaqti* deyiladi. Bunday zvenolar kechikuvchi zvenolar deb ataladi va ular kirish

kattaligining o'zgarishini yo'qotishlarsiz (buzilishlarsiz), lekin bir qancha τ kechikish vaqti bilan amalga oshiradi.

Kechikuvchi zvenolarning uzatish funksiyasi

$$W_{\text{kech}}(p) = e^{-p\tau}. \quad (3.37)$$



3.19-rasm.

Sof kechikish zvenolarni ko'pincha materiallar bir nuqtadan boshqasiga tasmali transporterlar orqali ko'chiruvchi texnologik jarayonlarda; magnitli zaxira tizimlarida va boshqa tizimlarda uchratish mumkin.

Tarkibida hech bo'lmaganda bitta kechikuvchi zveno bo'lgan avtomatik boshqaruv tizimlari *kechikuvchi tizimlar* deyiladi. Kechikishli tizimlardagi jarayonlar differensial-ayirma tenglamalar yordamida tavsiflanadi.

Bitta kechikuvchi zvenodan tashkil topgan bir konturli avtomatik boshqaruv tizimining strukturaviy sxemasi, agar kechikuvchi zveno to'g'ri zanjirda bo'lsa, 3.19,a-rasmdagidek keltiriladi, agar kechikuvchi zveno teskari zanjirda bo'lsa, 3.19,b-rasmdagidek keltiriladi.

Kechikishli boshqarish tizimining uzatish funksiyasi quyidagiga teng:

$$W_r(p) = W_{\text{kech}}(p)W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)}e^{-p\tau}, \quad (3.38)$$

bu yerda $W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)}$ – kechikishi hisobga olinmagan ochiq tizimning o'zida p operatorning ratsional-kasrli funksiyasini namoyon etuvchi uzatish funksiyasi.

Agar kechikuvchi zveno to'g'ri zanjirda bo'lsa, unda berk tizimning uzatish funksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W_{\text{berk}}(p) = \frac{W_r(p)}{1 + W_r(p)} = \frac{R(p)e^{-p\tau}}{Q(p) + R(p)e^{-p\tau}} = \frac{R_r(p)}{D_r(p)}. \quad (3.39)$$

Agar ushbu kechikuvchi zveno teskari aloqa zanjirida bo'lsa, unda yopiq tizimning uzatish funksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W_e(p) = \frac{W(p)}{1 + W_r(p)} = \frac{R(p)}{Q(p) + R(p)e^{-pT}} = \frac{R(p)}{D_r(p)} \quad (3.40)$$

(3.39) va (3.40) lardan ko'rinib turibdiki, kechikuvchi zvenoning ulanish joyiga bog'liq bo'lmagan holda kechikishli tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$D_r(p) = Q(p) + R(p)e^{-pT} = 0. \quad (3.41)$$

Bu xarakteristik tenglama tarkibida e^{-pT} borligi uchun u polinom hisoblanmaydi va p operatorning transsendent funksiyasi deyiladi hamda odatdagi algebraik tenglamalardan farq qilgan holda cheksiz ildizlar to'plamiga ega bo'ladi [14,20].

Doimiy kechikishli chiziqli tizim turg'un bo'lishi uchun (3.41) tenglamaning barcha ildizlari chap ildizlar bo'lishi zaruriy va etarlidir. (3.41) tenglamaning ildizlarini topish mushkul, shuning uchun kechikishli tizimning turg'unligini tadqiq qilishda turg'unlik mezonlaridan foydalaniladi.

Kechikishli berk tizimning turg'unligi haqidagi xulosa kechikishli ochiq tizim AFX si $W_r(j\omega)$ ni $(-1; j0)$ nuqtaga nisbatan tadqiq qilinishiga asoslanib amalga oshiriladi. Kechikishli tizimlar uchun Naykvist turg'unlik mezonining ifodalanishi ratsional-kasrli uzatish funksiyasiga ega oddiy tizimlar uchun ifodalanishiga o'xshashdir.

Kechikishli ochiq tizimning chastotali uzatish funksiyasi $W_r(j\omega)$ ni (3.38) tenglamadan $p \rightarrow j\omega$ bilan almashtirib hosil qilinadi:

$$W_r(j\omega) = W(j\omega)e^{-j\omega T} = A(\omega)e^{-j\varphi(\omega)} e^{-j\omega T} = A(\omega)e^{-j\varphi_r(\omega)}, \quad (3.42)$$

bu yerda $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$ – kechikish hisobga olinmagan ochiq tizimning AFX si; $A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$ – AChX;

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} - \text{FChX};$$

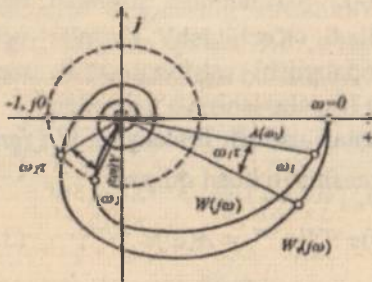
$$\varphi_r(\omega) = \varphi(\omega) - \omega T \quad (3.43)$$

kechikishli ochiq tizimning FChX si.

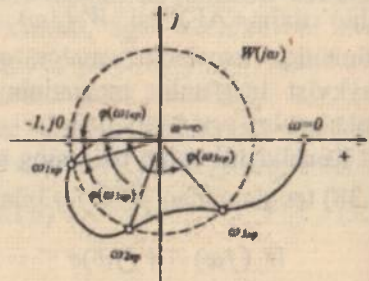
(3.42) va (3.43) lardan ko'rinib turibdiki, kechikuvchi zvenoning mavjudligi ochiq tizimning AFX si moduli $A(\omega)$ ni o'zgartirmaydi, faqatgina chastota proporsional ravishda proporsional koeffitsiyenti kechikish vaqti τ hisoblanuvchi manfiy $\omega\tau$ fazoviy siljish hosil qiladi [20,23].

Kechikishi bo'lmagan ochiq tizimning AFX si $W(j\omega)$ ni bilgan holda kechikishli berk tizimning AFX si $W_c(j\omega)$ ni oson qurish mumkin. Buning uchun $W(j\omega)$ AFX ning modul vektori $A(\omega)$ ni soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha $\omega\tau$ burchakka burish kerak. Ω chastotani oshishi bilan $\omega\tau$ burchak tez oshib boradi, $A(\omega)$ esa odatda kamayadi, shuning uchun ham kechikishli berk tizimlarning AFX si $W_c(j\omega)$ koordinata boshini o'rab oluvchi spiral ko'rinishiga ega bo'ladi (3.20-rasm). AFXning «o'rab olish» da $\omega\tau$ fazaviy siljishning borligi, umuman aytganda, turg'unlikni yomonlashtiradi, chunki AFX kritik nuqta $(-1; j0)$ ga yaqinlashib keladi. Biroq ba'zida $W(j\omega)$ AFX ning murakkab formasiga kechikish doimiysini kiritish turg'unlik shartlarini yaxshilashi mumkin.

Kechikish vaqti τ ni keng chegaralarda o'zgartirib, uning shunday qiymatini topish mumkinki, bunda berk tizim turg'unlik chegarasiga tushib qoladi. Bunday hollarda $W_c(j\omega)$ xarakteristika $(-1; j0)$ nuqta orqali o'tadi.



3.20-rasm.



3.21-rasm.

Kechikish vaqti τ_{cp} va unga mos keluvchi chastota qiymati ω_{cp} kritik deb ataladi.

Agar $W(j\omega)$ gadografning birlik radiusli aylana bilan bir nechta nuqtalarda kesishishga ega bo'lsa, masalan, ω_{1cp} , ω_{2cp} va ω_{3cp} (3.21-

rasm) larda, unda tizim bir qancha kritik chastotaviy kechikish vaqtlariga ega bo'ladi:

$$\tau_{1sp} = \varphi(\omega_{1sp})/\omega_{1sp}; \tau_{2sp} = \varphi(\omega_{2sp})/\omega_{2sp}; \tau_{3sp} = \varphi(\omega_{3sp})/\omega_{3sp},$$

chunki minimal kechikish vaqti $\tau_{sp\ min} = \tau_{1sp}$. Tizim $\tau < \tau_{1sp}$ da, shuningdek, $\tau_{2sp} < \tau < \tau_{3sp}$ da turg'un bo'ladi. Tizim $\tau_{1sp} < \tau < \tau_{2sp}$ da, shuningdek, $\tau < \tau_{3sp}$ larda noturg'un bo'ladi.

Tizimning noturg'unlik va turg'unlik uchastkalari τ ning uzluksiz o'zgarishida (shuningdek, tizimning boshqa parametrlarida ham) almashish holati doimiy kechikishli ko'pgina tizimlarning xarakterli xususiyati hisoblanadi. Odatda, tezkorlik va aniqlikni oshirish maqsadida tizimlarning kechikish vaqti τ ni kechiktirishga intiladi, shuning uchun ham turg'unlik mezonlari faqatgina minimal kechikish vaqtlari uchun ifodalanadi.

Agar kechikish vaqti τ minimal kritik kechikish vaqti $\tau_{sp\ min}$ dan kichik bo'lsa, avtomatik boshqaruv tizimi turg'un bo'ladi:

$$\tau < \tau_{sp\ min}.$$

Nazorat va muhokama savollari

1. ABTning turg'unligi deganda nimani tushunasiz?
2. Chiziqli ABTning turg'unligini yetarli va zaruriy shartlarini tushuntiring.
3. Chiziqli ABTning turg'unligi to'g'risidagi Lyapunov teoremasini ayting?
4. Turg'unlik mezonlari deb nimaga aytiladi?
5. Turg'unlikning algebraik mezonlariga qanday mezonlar kiradi?
6. Turg'unlikning Raus va Gurvis mezonlarini afzalliklari va kamchiliklari to'g'risida aytib bering.
7. Gurvis aniqlovchisi (determinanti) qanday qoidalarga asosan aniqlanadi?
8. Gurvis mezonining ta'rifini aytib bering.
9. Lenar-Shipar turg'unlik mezoni qachon va kim tomonidan taklif qilingan?
10. Turg'unlikning chastotaviy mezonini imkoniyatlari va qo'llanilishi to'g'risida nimalar deya olasiz?
11. Argumentlar prinsipini tushuntirib bering.

12. Mixaylov gadografi qanday tartibda quriladi.
13. Mixaylov mezonining ta'rifini aytib bering.
14. Naykvist mezonining qanday imkoniyatlari mavjud?
15. Ochiq tizim turg'un bo'lgan holatda berk tizim turg'un bo'lishi uchun Naykvist mezoniga asosan qanday shart bajarilishi kerak?
16. Ochiq tizim noturg'un bo'lgan holatda berk tizim turg'un bo'lishi uchun Naykvist mezoniga asosan qanday shart bajarilishi kerak?
17. Ya.Z.Sipkin taklif etgan «o'tish qoidasi»ni tushuntirib bering.
18. Astatik tizim uchun Naykvist mezonini qanday qo'llaniladi?
19. Turg'unlikning logarifmik mezonini tushuntirib bering.
20. D-bo'linishi deb nimaga aytiladi?
21. Kechikuvchi tizimlar deb nimaga aytiladi? Kechikishli va irratsional zvenoli tizimlarning turg'unligi to'g'risida tushuncha bering.

Test savollari

1. Agar tizimning xarakteristik tenglamasini ildizlari kompleks tekisligining chap yarim tekisligida joylashgan bo'lsa, uzluksiz tizim qaysi holatda bo'ladi?

- A) Turg'unlik chegarasida. B) Noturg'un.
C) Turg'un. D) Shartlar yetarli emas.

2. Agar tizimning xarakteristik tenglamasini ildizlari kompleks tekisligining chap va o'ng yarim tekisliklarida joylashgan bo'lsa, tizim qaysi holatda bo'ladi?

- A) Tizim noturg'un. B) Tizim turg'un.
C) Tizim neytral. D) Shartlar yetarli emas.

3. Agar tizimning xarakteristik tenglamasini ildizlari kompleks tekisligining chap yarim tekisligida va mavhum o'qida joylashgan bo'lsa, tizim qaysi holatda bo'ladi?

- A) Turg'unlik chegarasida. B) Tizim turg'un.
C) Tizim neytral. D) Shartlar yetarli emas.

4. Uzatish funksiyasi $W(p) = K/(1+T_1p)(1+T_2p)$ bo'lgan tizimning turg'unligini aniqlang.

- A) Noturg'un. B) Turg'un.
C) Turg'unlik chegarasida. D) Ma'lumotlar yetarli emas.

5. Uzatish funksiyasi $W(p) = K(1+T_1p)/p(1+T_2p)(1+T_3p)$ bo'lgan tizimning turg'unligini aniqlang.

- A) Noturg'un. B) Turg'un.
C) Turg'unlik chegarasida. D) Ma'lumotlar yetarli emas.

6. Xarakteristik tenglamasi $5p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$ bo'lgan tizimning turg'unligini aniqlang.

- A) Noturg'un. B) Turg'un.
C) Turg'unlik chegarasida. D) Ma'lumotlar yetarli emas.

7. Xarakteristik tenglamasi $5p^3 + 4p^2 + p + 4 = 0$ bo'lgan tizimning turg'unligini aniqlang.

- A) Noturg'un. B) Turg'un.
C) Turg'unlik chegarasida. D) Ma'lumotlar yetarli emas.

8. Xarakteristik tenglamasi $3p^3 + 10p^2 + 5p - 7p^2 + p + 100 = 0$ bo'lgan tizimning turg'unligini aniqlang.

- A) Noturg'un. B) Turg'un.
C) Turg'unlik chegarasida. D) Ma'lumotlar yetarli emas.

9. Agar Mixaylov gadografi ω chastotaning noldan cheksizlik-kacha o'zgarishida soat strelkasiga teskari koordinatali tekisligining kvadrantini ketma-ket aylanib chiqsa, uchinchi tartibli tizim turg'un bo'ladimi?

- A) Turg'unlik chegarasida. B) Noturg'un.
C) Turg'un. D) Ma'lumotlar yetarli emas.

10. Quyida keltirilgan javoblarning qaysi birida turg'unlikning Mixaylov mezoni haqida to'g'ri fikr yuritilgan?

A) Mixaylovning turg'unlik mezoni o'zining mohiyati jihatdan argumentlar prinsipining geometrik tasviridir.

B) Turg'unlikning chastotaviy mezonlari asosida kompleks o'zgaruvchi funksiya nazariyasidan ma'lum bo'lgan argumentlar prinsipi yotadi.

C) Tizimning turg'unligi xarakteristik tenglamalarning ildizlarini hisobga olmasdan turib aniqlaydigan qoidalar turg'unlikning Mixaylov mezonini bildiradi.

D) Chastota $-\infty \leq \omega \leq \infty$ o'zgariganda $D(j\omega)$ vektori argumentning o'zgarishi chap va o'ng ildizlar ayirmasining « π » soniga ko'paytirilganiga teng bo'ladi.

11. Ochiq tizimning AFX bo'yicha berk tizimning turg'unligini tahlil masalasi ko'rilmogda. Quyida keltirilganlardan turg'unlik mezonlarining qaysi biri ushbu masalani yechadi?

- A) Naykvistning turg'unlik mezoni.
B) Mixaylovning turg'unlik mezoni.
C) Mixaylovning turg'unlik mezoni.
D) D-bo'lish usuli.

12. Ochiq tizimning AFX $(-1; j0)$ koordinatali nuqtani musbat yo'nalishda ikki marta aylanadi, uning xarakteristik tenglamasi esa to'rtta o'ng yechimlarga ega. Berk tizim turg'unmi?

- A) Turg'unlik chegarasida topiladi. B) Neytral.
C) Turg'un. D) Noturg'un.

13. Ochiq tizimning AFX $(-1; j0)$ koordinatali nuqtani musbat yo'nalishda bir yarim marta aylanadi. Ochiq tizimning xarakteristik tenglamasining qanday sonli o'ng yechimlarda berk tizim turg'un bo'ladi?

- A) Uch.
- B) To'rt.
- C) Olti.
- D) Nol.

14. Agar Mixaylov gadografi ω chastotaning noldan cheksizlikkacha o'zgarishida soat strelkasiga teskari koordinatali tekisligining beshta kvadrantini ketma-ket aylanib chiqsa, to'rtinchi tartibli tizim turg'un bo'ladimi?

- A) Shartlar yetarli emas.
- B) Turg'unlik chegarasida.
- C) Noturg'un.
- D) Turg'un.

15. Avtomatik boshqarish tizimining turg'unligi nima?

A) Tizimni tashqi ta'sirlardan so'ng muvozanat holatiga yana qaytish qobiliyati.

- B) Tizimni boshlang'ich holatiga qaytish qobiliyati.
- C) Tizimning dinamik xususiyatlarini hisobga olish qobiliyati.
- D) Tizimning statik xususiyatlarini hisobga olish qobiliyati.

16. Turg'unlikning Gurvis mezoni shartini ko'rsating.

A) Xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari noldan katta bo'lishi kerak.

B) Hech bo'lmaganda bitta aniqlovchi noldan katta bo'lishi kerak.

C) Matritsaning diagonal elementlari noldan katta bo'lishi kerak.

D) Agar xarakteristik tenglamaning barcha tartibli koeffitsiyentlari va aniqlovchilari noldan katta bo'lsa.

17. Tizimning xarakteristik tenglamasi nima?

A) Tizimning dinamikasini aniqlovchi ildizlari.

B) Laplas o'zgartirishini differensial tenglamalarga qo'llanilishi.

C) Tizimning harakat xarakteristikasini aniqlovchi ildizlari.

D) Tizimning statikasini aniqlovchi ildizlari.

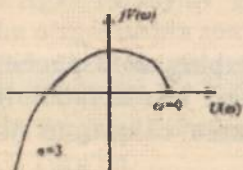
18. Agar ochiq tizim o'ng yechimlarga ega bo'lmasa, qaysi holatda berk tizim turg'un bo'ladi?

A) Agar ochiq tizimning AFX si $(-1, j0)$ kritik nuqtani qamrab olmasa.

B) Agar ochiq tizimning AFX si $(-1, j0)$ kritik nuqtani qamrab olsa.

- C) Agar yopiq tizimning AFX si $(-1, j0)$ kritik nuqtani qamrab olmasa.
 D) Ochiq tizimning AFX si $(-1, j0)$ kritik nuqtani n marta qamrab olmasa.

19. Rasmda keltirilgan Mixaylov gadografiga qarab tizimning turg'unligi to'g'risida qanday fikr yuritishimiz mumkin?



- A) Turg'un.
 B) Noturg'un.
 C) Turg'unlik chegarasida.
 D) Ma'lumotlar yetarli emas.

20. Turg'unlik sharti to'g'ri keltirilgan javob variantini toping

- A) $t \rightarrow \infty$ bo'lganda $y_r(t) \rightarrow 0$.
 B) $t \rightarrow \infty$ bo'lganda $y_n(t) \rightarrow 0$.
 C) $t \rightarrow \infty$ bo'lganda $y_r(t), y_n(t) \rightarrow 0$.
 D) $t \rightarrow \infty$ bo'lganda $y_r(t), y_n(t) \rightarrow 1$.

21. Qaysi javobda A.M.Lyapunov tomonidan nochiziqli tizimlarning chiziqlantirilgan tenglamalari uchun turg'unlikning 1-teoremasi to'g'ri keltirilgan?

A) Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi hamma ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi.

B) Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi hamma ildizlarining haqiqiy qismi musbat bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi.

C) Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi hamma ildizlarining mavhum qismi musbat bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi.

D) Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi hamma ildizlarining mavhum qismi manfiy bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi.

22. Turg'unlikning algebraik mezonlari qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

- A) Gurvis mezoni, Rauss mezoni.

- B) Gurvis mezon, Mixaylov mezon.
- C) Naykvist mezon, Rauss mezon.
- D) Mixaylov mezon, Naykvist mezon.

23. Turg'unlikning chastotaviy mezonlari qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

- A) Gurvis mezon, Rauss mezon.
- B) Gurvis mezon, Mixaylov mezon.
- C) Naykvist mezon, Rauss mezon.
- D) Mixaylov mezon, Naykvist mezon.

24. Tizimning turg'unligi xarakteristik tenglamalarning ildizlarini hisobga olmasdan turib aniqlaydigan qoidalar turg'unlikning qanday mezonlari deyiladi?

- A) Algebraik.
- B) Chastotaviy.
- C) Logarifmik.
- D) Ma'lumot yetarli emas.

25. Turg'unlikning algebraik mezon xarakteristik tenglamaning ... orqali tizimning turg'unligi haqida fikr yuritish imkonini beradi.

- A) Koeffitsiyentlari.
- B) O'zgaruvchilari.
- C) Operatorlari.
- D) Ildizlari.

26. Xarakteristik tenglamaning hamma koeffitsiyentlarini musbat bo'lishi tizimning turg'un bo'lishi uchun qanday shart hisoblanadi.

- A) Zaruriy shart.
- B) Yetarli shart.
- C) Zaruriy va yetarli shart.
- D) Hech qanday shart hisoblanmaydi.

27. Rauss jadvalini to'ldirish uchun qanday ifodadan foydalanamiz?

- A) $c_{n,i} = c_{n+1,i-2} - r_i c_{n+1,i-1}$ n -ustun, i -qator.
- B) $c_{i,n} = c_{n-1,i+2} - r_i c_{n-1,i+1}$ n -ustun, i -qator.
- C) $c_{n,i} = c_{n+2,i-1} - r_i c_{n+2,i-2}$ n -ustun, i -qator.
- D) $c_{n,i} = c_{n+2,i-2} - r_i c_{n+2,i-1}$ n -ustun, i -qator.

28. Gurvis turg'unlik mezonining zaruriy va yetarli sharti to'g'ri keltirilgan javobni tanlang.

A) n -tartibli chiziqli tizimning turg'un bo'lishi uchun berilgan tizimning xarakteristik tenglamasida koeffitsiyentlardan tashkil topgan n ta aniqlovchilar musbat bo'lishi zarur va yetarli.

B) n -tartibli chiziqli tizimning turg'un bo'lishi uchun berilgan tizimning xarakteristik tenglamasida koeffitsiyentlardan tashkil topgan n ta aniqlovchilar manfiy bo'lishi zarur va yetarli.

C) n -tartibli chiziqli tizimning turg'un bo'lishi uchun berilgan tizimning xarakteristik tenglamasida koeffitsiyentlar musbat bo'lishi zarur va yetarli.

D) n -tartibli chiziqli tizimning turg'un bo'lishi uchun berilgan tizimning xarakteristik tenglamasida koeffitsiyentlar manfiy bo'lishi zarur va yetarli.

29. Gurvis aniqlovchisi (determinanti) ning oxirgi tartibi nimaga teng.

A) $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}$.

B) $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-2}$.

C) $\Delta_n = a_{n-1} \cdot \Delta_{n-1}$.

D) $\Delta_n = a_{n-2} \cdot \Delta_{n-1}$.

30. Turg'unlikning logarifmik mezonining to'g'ri tarifi keltirilgan javobni toping.

A) Agar ochiq tizim turg'un bo'lsa, unda berk tizim turg'un bo'lishi uchun $\omega_1 < \omega_2$ (kesishish va o'tish chastotalari) sharti bajarilishi kerak. Aks holda berk tizim noturg'un bo'ladi.

B) Agar ochiq tizim turg'un bo'lsa, unda berk tizim turg'un bo'lishi uchun $\omega_1 > \omega_2$ (kesishish va o'tish chastotalari) sharti bajarilishi kerak. Aks holda berk tizim noturg'un bo'ladi.

C) n -tartibli chiziqli tizimning turg'un bo'lishi uchun berilgan tizimning xarakteristik tenglamasida koeffitsiyentlardan tashkil topgan n ta aniqlovchilar musbat bo'lishi zarur va yetarli.

D) n -tartibli chiziqli tizimning turg'un bo'lishi uchun berilgan tizimning xarakteristik tenglamasida koeffitsiyentlar manfiy bo'lishi zarur va yetarli.

31. Parametrlar tekisligida ildizlarning tartibda joylashishiga qarab sohalarga ajratuvchi egri chiziqlar to'plamiga qanday bo'linish deyiladi.

A) Parametrlar tekisligining D-bo'linishi.

B) Parametrlar tekisligining S-bo'linishi.

C) Bir parametr va ikki parametrlar tekisligi.

D) Ikki parametrlar tekisligi.

32. D-bo'linish chegarasini qarayotganda uni faqat chastotaning qanday qiymatlari uchun qurish yetarlidir?

- A) Musbat ya'ni $0 < \omega < \infty$.
- B) Manfiy ya'ni $\infty < \omega < 0$.
- C) Musbat va manfiy ya'ni $\infty < \omega < \infty$.
- D) Ma'lumotlar yetarli emas.

33. Tarkibida hech bo'lmaganda bitta kechikuvchi zveno bo'lgan avtomatik boshqarish tizimlari qanday tizimlar deyiladi?

- A) Kechikuvchi.
- B) Optimal.
- C) Adaptiv.
- D) Suboptimal.

34. Agar kechikish vaqti τ minimal kritik kechikish vaqti τ_{kpmn} dan kichik (ya'ni $\tau < \tau_{kpmn}$) bo'lsa, avtomatik boshqaruv tizimi qanday bo'ladi?

- A) Turg'un.
- B) Noturg'un.
- C) Turg'unlik chegarasida.
- D) Bunday bo'lishi mumkin emas.

IV BOB. AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING SIFAT KO'RSATKICHLARINI TADQIQ QILISH

Tayanch so'zlar va iboralar: sifat ko'rsatkichlari, bevosita va bilvosita usullar, rostdash sifatini baholash, o'tish jarayonining sifat ko'rsatkichlari, rostlanish vaqti, o'tarostlash, so'nish dekrementi, oshish vaqti, baholashning ildiz usuli, baholashning chastota usuli.

4.1. Umumiy tushunchalar

Avtomatik boshqarish tizimlarining sifat ko'rsatkichlari boshqarish obyektining o'zi qanday bo'lsa, shunday boshqaruvchi qurilmani, ya'ni butun boshqarish tizimining xususiyatlari orqali aniqlanadi. Sonli o'lchagichlarga ega bo'lgan va tashkil etuvchilar xossalari uchun ushbu majmui boshqarish tizimlarining *sifat ko'rsatkichlari* deyiladi.

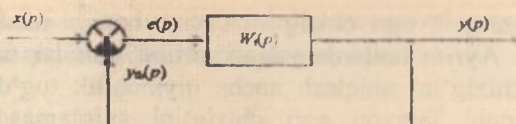
Avtomatik tizimlarning sifati istalgan texnologik qurilma qanday bo'lsa, shunday umumiy qabul qilgan, butun tizim, uning o'lchamlari, ishonchliligi, chidamliligi va boshqa ko'rsatkichlari orqali baholanadi. Ushbu umumtexnikaviy ko'rsatkichlar yig'indisi keng ma'noda boshqarish tizimi sifatini tavsiflaydi [2,8,20].

ABN va avtomatlashtirish amaliyotida «tizimning sifati», «boshqarish sifati» terminlari qoida bo'yicha tor ma'noda faqat tizimlarning statik va dinamik xossalari ko'rib chiqiladi. Bu xossalari o'rnatilgan va o'tish rejimlarda berilgan darajada boshqariluvchi kattaliklar (obyektning chiqish kattaliklari) ni ushlab turish aniqligini qayta aniqlash, ya'ni boshqarish jarayonini samaradorligini ta'minlash imkonini beradi.

Faqat statik va dinamik xossalarni qamrab olgan ABT sifatining tor ma'nodagi bunday tushunchasi uchun «boshqarish sifati» termini qo'llaniladi. Miqdoriy shaklda ifodalangan tizimning o'zini xossasi esa *boshqarishning sifat ko'rsatkichlari* deyiladi.

O'tkinchi jarayonning aniqligini va rostdash bir tekisligini xarakterlovchi sifat ko'rsatkichlarga o'tkinchi jarayon tezkorligi (o'tkinchi jarayon vaqti), tebranishlar soni (o'tkinchi jarayonning tebranishlar soni) hamda o'tarostlash kiradi.

O'zgarmas koeffitsiyentli chiziqli differensial tenglama bilan ifodalangan tizim berilgan bo'lsin.



4.1-rasm.

Kirish kattaligi $x(t)$ o'zgariganda tizimning chiqishidagi $y(t)$ kattalikni o'zgarishini quyidagicha ifodalash mumkin

$$y(t) = y_e(t) + y_n(t), \quad (4.1)$$

bunda, $y(t)$ – tizimni ifoda etuvchi tenglamaning umumiy yechimi; $y_e(t)$ – shu yechimning erkin tashkil etuvchisi.

Agar $y_e(t)$ karra ildizga ega bo'lmasa, unda

$$y_e(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t},$$

bunda, C_i – tizimning parametrlari va boshlang'ich shartlarga bog'liq bo'lgan o'zgarimas son; p_i – berk tizimning xarakteristik tenglamasi, $A(p) = 0$ ildizlaridir.

$y_n(t)$ - kirish signali $x(t)$ ning o'zgarishiga bog'liq bo'lgan o'tkinchi jarayonni qaror rejimini ifodalovchi majburiy tashkil etuvchidir.

(4.1) tenglamadan ko'rinib turibdiki, o'tkinchi jarayonning sifatini uning $y_e(t)$ va $y_n(t)$ tashkil etuvchilari yordamida aniqlash mumkin ekan. Shu nuqtayi nazardan qaraganda rostlash jarayonining sifatini aniqlash yoki baholash ikki guruhga bo'linadi:

Birinchi guruh – erkin tashkil etuvchi $y_e(t)$ hisoblanib, o'tkinchi jarayonni ifodalovchi sifat ko'rsatkichi.

Ikkinchi guruh – tizimning aniqligini belgilovchi o'tkinchi jarayonning majburiy tashkil etuvchisini $y_n(t)$ xarakterlovchi sifat ko'rsatkichlari.

Boshqarish sifatini tahlili uchun baholashning bevosita va bilvosita usullaridan foydalanish mumkin.

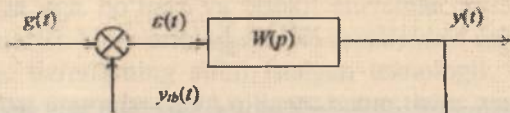
O'tkinchi jarayon egri chizig'i bo'yicha aniqlangan sifat ko'rsatkichlarini tizimning sifatini *bevosita baholash usuli* deyiladi.

O'tkinchi jarayon egri chizig'ini tajriba hamda nazariy yo'l bilan olish mumkin. Ayrim hollarda yuqori tartibli tizimlar uchun o'tkinchi jarayon egri chizig'ini aniqlash ancha qiyinchilik tug'diradi. Bunday hollarda o'tkinchi jarayon egri chizig'ini aniqlamasdan turib shu jarayonning sifatini baholashga to'g'ri keladi. O'tkinchi jarayon egri chizig'ini aniqlamasdan turib, shu jarayonning sifatini baholashga imkon beruvchi usul sifat ko'rsatkichlarini baholashning *bilvosita usuli* deyiladi [8,23]. Sifat ko'rsatkichning bilvosita usullariga quyidagilar kiradi: so'nish usuli; integral usuli; chastotaviy usul.

Sifat ko'rsatkichining o'ziga xos turkumiga *integral baholash* kiradi. Ushbu baholashda bevosita tizimning o'tish funksiyasi bo'yicha yoki tizimning uzatish funksiyasi koeffitsiyentlari bo'yicha hisoblanadi.

4.2. Barqaror rejimda roslash sifatini baholash

Quyidagi blok-sxemani ko'rib chiqamiz (4.2-rasm):



4.2-rasm.

Bu yerda xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned}\varepsilon(t) &= g(t) - y_a(t), \\ y_a(t) &= W(p) \cdot \varepsilon(t), \\ \varepsilon(t) &= g(t) - y_a(t) = g(t) - W(p)\varepsilon(t), \\ \varepsilon(t)[(1 + W(p))] &= g(t).\end{aligned}$$

Tasvirga o'tamiz

$$\varepsilon(p)[1 + W(p)] = g(p),$$

$$W_{\text{--}}(p) = \frac{\varepsilon(p)}{g(p)} = \frac{1}{1 + W(p)},$$

bu yerda, $W_{\text{--}}(p)$ – xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi.

Agar $g(t), 0 \leq t \leq \infty$ oraliqda differensiallovchi bo'lsa, tizimning xatoligi $\varepsilon(t)$ ni quyidagicha ifodalash mumkin.

$$\varepsilon(t) = C_0 g(t) + C_1 g'(t) + \frac{C_2}{2!} g''(t) + \dots + \frac{C_n}{n!} g^{(n)}(t). \quad (4.2)$$

Bu yerda $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$ - xatolik koeffitsiyentlari deb ataladi. Xatolik koeffitsiyenti xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi asosida quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$C_0 = \lim_{p \rightarrow \infty} W_{\text{um}}(p);$$

$$C_1 = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p} [W_{\text{um}}(p) - C_0];$$

$$C_2 = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p^2} [W_{\text{um}}(p) - C_0 - C_1 p];$$

...

$$C_n = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p^n} [W_{\text{um}}(p) - C_0 - C_1 p - \dots - C_{n-1} p^{n-1}].$$

Bu yerda C_0 - statik xatolik koeffitsiyenti, C_1 - tezlik bo'yicha xatolik koeffitsiyenti, C_2 - tezlanish bo'yicha xatolik koeffitsiyenti deyiladi.

Agar kirish signali $g(t)=1(t)$ bo'lsa, $C_0 = \lim_{p \rightarrow \infty} W_{\text{um}}(p), C_1 = C_2 = \dots = C_n = 0$ bo'ladi.

Agar kirish signali $g(t)=t$ bo'lsa,

$$C_0 = \lim_{p \rightarrow \infty} W_{\text{um}}(p), C_1 = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p} [W_{\text{um}}(p) - C_0], \quad C_2 = \dots = C_n = 0 \quad \text{va hokazo}$$

bo'ladi.

Statik tizimlarda C_0 koeffitsiyenti noldan farqli.

1 - tartibli astatizmli tizimlarda $C_0 = 0; C_1 \neq 0$.

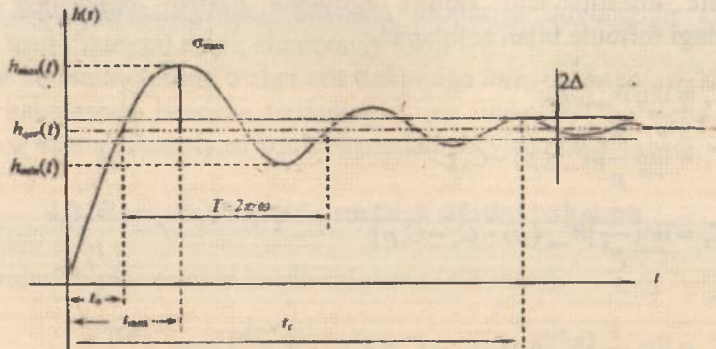
2 - tartibli astatizmli tizimlarda $C_0 = 0; C_1 = 0; C_2 \neq 0$.

Integral zvenolarning soni oshishi bilan tizimning aniqligi oshadi, lekin bu holda tizimning turg'unligi jiddiy ravishda kamayadi.

Nisbatan sekin o'zgaruvchi ta'sirlarda odatda xatoliklar koeffitsiyenti usuli qo'llaniladi.

4.3. Pog'onali signal ta'siri orqali o'tish jarayonning sifat ko'rsatkichlari

Tizimning pog'onali signaldan olgan reaksiyasiga o'tkinchi funksiya deyiladi. Tizimning o'tkinchi xarakteristikasi bo'yicha quyidagi sifat ko'rsatkichlarini aniqlash mumkin (4.3-rasm):



4.3-rasm. O'tkinchi xarakteristika.

1) Rostlanish vaqti yoki o'tkinchi jarayon vaqti – t_r . Bu rostlanuvchi qiymat o'zining qaror qiymatiga ma'lum Δ darajada aniq bo'lishi kerak, ya'ni

$$|h_{\max} - h_{\text{qor}}| \leq \Delta,$$

bu yerda Δ – tizim tezkorligini ifodalovchi qiymat (odatda $\Delta = (2 \div 5)\% h_{\text{qor}}$ bo'ladi).

2) O'ta rostlash (yoki maksimal rostlash) – $\sigma, \%$

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{qor}}}{h_{\text{qor}}} \cdot 100\%.$$

O'tkinchi xarakteristikani qaror qiymatdan qanchaga o'zgarganligini (og'ganligini) bildiradi.

3) Tebranishlar soni – μ . $h(t)$ xarakteristikani tebranishlar soni odatda $\mu \leq (1 \div 2)$ gacha, ayrim hollarda $\mu \leq (3 \div 4)$ gacha bo'lishi mumkin.

4) Oshish vaqti - t_{os} , bu $h(t)$ xarakteristikani h_{os} qiymatining birinchi uchrashgan nuqtasidir.

5) Maksimal vaqt - t_{max} . $h(t)$ xarakteristikaning maksimal qiymatga erishishga ketgan vaqt.

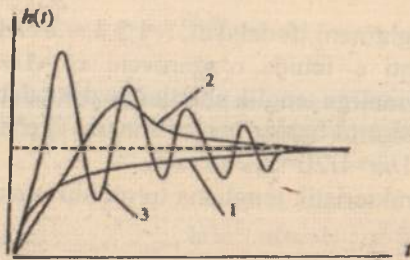
6) Tebranish chastotasi (davri) - $\omega = \frac{2\pi}{T}$ yoki $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

7) So'nish dekrementi - χ , buning fizik ma'nosi o'tkinchi xarakteristikaning so'nish tezligini bildiradi

$$\chi = \left| \frac{h_{\text{max}} - h_{\text{os}}}{h_{\text{os}} - h_{\text{os}}} \right| \cdot 100\%.$$

Pog'onali signalda tizim uchta ko'rinishda bo'lishi mumkin:

- 1) monoton jarayon;
- 2) aperiodik jarayon;
- 3) tebranuvchi jarayon.



4.4-rasm.

O'tkinchi xarakteristika $h(t)$ ni nazariy tomondan topadigan bo'lsak,

$h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \frac{1}{p} \right\}$ ifoda orqali amalga oshiramiz. O'tish funksiyasini

bevosita qurish uchun ABT uzatish funksiyasining qutblarini bilish zarur. ABT uzatish funksiyasining tartibi yuqori bo'lganda uning qutblarini aniqlash ancha qiyin. ABT sifatini baholovchi bilvosita usullarga chastota usullari (sifat to'g'risida chastota xarakteristikalarini bo'yicha hukm chiqarish) va muhandislik amaliyotida kamdan-kam qo'llanuvchi ildiz usullari (sifat to'g'risida ABT uzatish funksiyasi qutblari) taalluqlidir.

4.4. Rostlash sifatini baholashning ildiz usullari

Bu usul xarakteristik tenglamaning chegaralarini aniqlashga va o'tish jarayonining sifati bilan ko'rsatilgan chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga asoslangan.

Bu usul o'tish jarayonining tebranuvchanligini va rostdash vaqtini yetarli darajada tez aniqlashga imkon beradi [14,20,26].

Quyidagi tenglamani ko'rib chiqamiz:

$$C_0 p^n + C_1 p^{n-1} + \dots + C_n = 0.$$

Agar o'zgaruvchi x rostdanuvchi kattalik bo'lsa, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

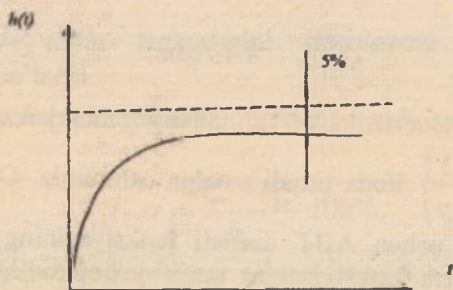
$$x(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{p_i t},$$

bu yerda, $p_i - \varepsilon(t) = C_0 g(t) + C_1 g'(t) + \frac{C_2}{2!} g''(t) + \dots + \frac{C_m}{m!} g^{(m)}(t) -$ xarakteristik tenglamani ifodalaydi, $i=1,2,3,\dots,n$ - ildizlar.

Rostlash vaqti t_r ichida o'zgaruvchi $x/t_r = 1/m$ bo'lganda o'zining boshlang'ich qiymatiga tenglik shartini yozish talab qilinadi.

Bu yerda m birorta butun musbat son, $m -$ ko'pincha 20 ga teng qilib olinadi, shunda $1/m = 1/20 = 5\%$ bo'ladi.

Bu holda xarakteristik tenglama turg'unlik shartlarinigina qanoatlantirib qolmaydi.



4.5-rasm. Tizimning o'tish grafigi.

Bu tenglamaning ildizlari mavhum o'qdan α - kattaligidan kichik masofada bo'lmisligi kerak.

α - kattaligi t_r va $1/m$ lar bilan quyidagicha bog'langan:

$$1/m = e^{-\alpha t_r}.$$

Bu ifodani logarifmlaymiz – $\ln m = -\alpha t_r$, $\alpha = \frac{\ln m}{t_r}$.

Shunday qilib, mavhum o'q bilan unga yaqin joylashgan ildizlar orasidagi masofa $\frac{\ln m}{t_r}$ rostdash vaqtidan katta bo'lmisligi zarur.

Tekshirish uchun yangi o'zgaruvchi kiritamiz: $z = p + \frac{\ln m}{t_r}$ va quyidagi shart bajarilishini ko'rib chiqamiz: $1/m = e^{-\alpha t}$.

Yangi o'zgaruvchi z – uchun mavhum o'q P – tekisligida $\ln m / t_r$ kattalikda chapga surilgan bo'ladi, u holda xarakteristik tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$C_0 \left(z - \frac{\ln m}{t_r} \right)^n + C_1 \left(z - \frac{\ln m}{t_r} \right)^{n-1} + \dots + C_n = 0. \quad (4.3)$$

Oxirgi tenglamadagi har bir ayirmaning darajasi darajali qatorga yoyilishi mumkin:

$$\begin{aligned} \left(z - \frac{\ln m}{t_r} \right)^n &= z^n - n z^{n-1} \frac{\ln m}{t_r} + \frac{n(n-1)}{2!} z^{n-2} \left(\frac{\ln m}{t_r} \right)^2 - \\ &- \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} z^{n-3} \left(\frac{\ln m}{t_r} \right)^3 + \dots + (-1)^n \left(\frac{\ln m}{t_r} \right)^n. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Agar (4.3) – tenglama uchun (4.4) – qatorga yoyish shartini hisobga olgan holda turg'unlik sharti bajarilsa, tizimning rostdash vaqti t_r dan katta bo'lmaydi.

Bu usulning geometrik shakli 4.6-rasmda keltirilgan.

$\cos \varphi$ kattaligi tizimning so'nish koeffitsiyenti deyiladi. Bu kattalik qancha kichik bo'lsa, tizim shunchalik tebranishlarga moyil bo'ladi. α kattaligi esa turg'unlik darajasini aniqlaydi.

$$\omega(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Re} W(j\omega) \cos \omega t d\omega - \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Im} W(j\omega) \sin \omega t d\omega, \quad (4.6)$$

$t < 0$ bo'lganda, vazn funksiyasi nolga teng bo'lishini va $\sin \omega t$ toq funksiya ekanligini hisobga olib, (4.6) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\omega(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Re} W(j\omega) \cos \omega t d\omega + \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Im} W(j\omega) \sin \omega t d\omega = 0. \quad (4.7)$$

(4.5) – tenglamadan

$$\operatorname{Re} W(j\omega) \cos \omega t = -\operatorname{Im} W(j\omega) \sin \omega t. \quad (4.8)$$

(4.5) va (4.8) – tenglamalar asosida quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Re} W(j\omega) \cos \omega t d\omega \\ \omega(t) &= -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Im} W(j\omega) \sin \omega t d\omega \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Agar tizimning kirishiga birlik pog'onali funksiya ta'sir qilayotgan bo'lsa, o'tish funksiyasi $h(t)$ ni quyidagicha ifodalash mumkin [23,26]:

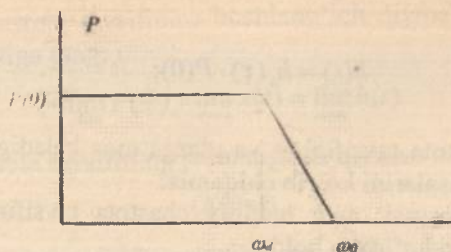
$$h(t) = \int_0^t \omega(t) dt = \int_0^t \left[\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \operatorname{Re} W(j\omega) \cos \omega t d\omega \right] dt = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega) \sin \omega t}{\omega} d\omega, \quad (4.10)$$

bu yerda $P(\omega)$ – tutash tizimning haqiqiy chastota tavsifi.

(4.10) – tenglama avtomatik tizimlarning sifat tahlilida asos qilib olinadi. (4.10) – tenglama asosida o'tish jarayonini qurishning trapetsiya usuli yoki V.V.Solodovnikovning h funksiya usulini ko'rib chiqamiz.

Bu usulga asosan boshlang'ich haqiqiy chastota tavsifi tipik trapetsiyalarga bo'linadi va Solodovnikovning h – funksiya jadvali bo'yicha har bir trapetsiya uchun o'tish jarayoni quriladi va tipik o'tish funksiyalarini algebraik qo'shish yo'li bilan izlanayotgan o'tish jarayoni hosil qilinadi.

Faraz qilamiz, tutash tizimning haqiqiy chastota tavsifi 4.8-rasm kabi berilgan.



4.8-rasm.

bu yerda ω_0 – tizimning o‘tkazish yo‘li, ω_d – tizimning bir tekis o‘tkazish yo‘li.

O‘tish funksiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_0} \frac{P_0 \sin \omega t}{\omega} d\omega + \frac{2}{\pi} \int_{\omega_d}^{\omega_0} \frac{a-b}{\omega} \sin t d\omega.$$

Oxirgi tenglamada a va b ni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$a = P(0) \cdot \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega_d} = P(0) \frac{1}{1 - \lambda}; \quad \lambda = \frac{\omega_d}{\omega_0}$$

$$b = \frac{P(0)}{\omega} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega_d} = \frac{P(0)}{\omega} \cdot \frac{1}{1 - \lambda}; \quad 0 \leq \lambda \leq 1.$$

Qabul qilingan belgilashni hisobga olib, $P(0)=1$ uchun oxirgi ifodani integrallaymiz

$$h_1(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{1 - \lambda} \left[si \tau - \lambda si \tau + \frac{\cos \tau - \cos \tau}{\tau} \right]$$

bu yerda

$$si \tau = \int_0^{\tau} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega \quad - \text{integral sinus}$$

$$\tau = \omega_0 \cdot t$$

Oxirgi ifoda birlik trapetsiya uchun o‘tish funksiyasini tasvirlaydi va u vaqtga nisbatan o‘lchamsizdir. Quyidagi tenglamalar orqali o‘lchamli vaqt va modulga o‘tish mumkin:

$$h(t) = h_\lambda(\tau) \cdot P(0); \quad t = \frac{\tau}{\omega_0}$$

Haqiqiy chastota tavsifining va ularga mos keladigan o'tish jarayonining asosiy xossalarini ko'rib chiqamiz:

1) Chiziqli xossasi: agar haqiqiy chastota tavsifini yig'indi holda ifodalash mumkin bo'lsa, u holda

$$\left. \begin{aligned} P(\omega) &= \sum_{i=1}^n P_i(\omega) \\ h_i(t) &= \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \frac{P_i(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

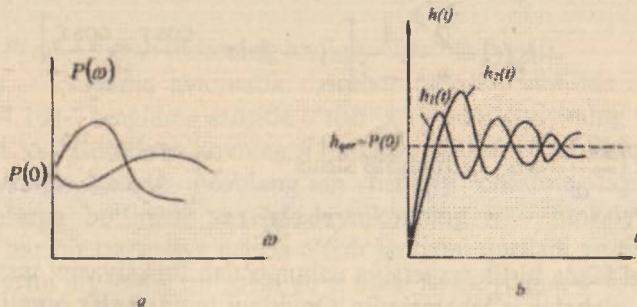
O'tish jarayonini ham yig'indi holda ifodalash mumkin:

$$h(t) = \sum_{i=1}^n R_i(t). \quad (4.12)$$

2) Ordinata o'qi bo'yicha $P(\omega)$ va $h(t)$ masshtabining mos kelishi. Agar $P(\omega)$ ni doimiy ko'paytuvchi a ga ko'paytirilsa, $h(t)$ ning mos qiymatlari ham a ko'paytuvchiga ko'payadi.

3) $P(\omega)$ va $h(t)$ ning absissa o'qi bo'yicha masshtablarining mos kelishi.

Agar argument ω chastota tavsifining mos ifodasi doimiy songa ko'paytirilsa, u holda argument o'tish jarayoniga mos keladigan ifodada shu songa bo'linadi (4.9a,b-rasm).



4.9-rasm.

4) Haqiqiy chastota tavsifining boshlang'ich qiymati o'tish tavsifining oxirgi qiymatiga teng:

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} P(\omega) = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t).$$

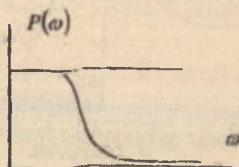
Mavhum chastota tavsifining boshlang'ich qiymati

$$Q(0)=0.$$

5) Haqiqiy chastota tavsifining oxirgi qiymati o'tish tavsifi originalining boshlang'ich qiymatiga teng:

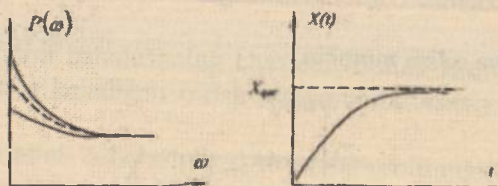
$$\lim_{\omega \rightarrow 0} P(\omega) = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t).$$

6) Tizim o'tish tavsifining o'ta rostlanishi 18% dan oshmasligi uchun ($\sigma \leq 18\%$) haqiqiy chastota tavsifi chastotaning musbat o'sib bormaydigan funksiyasi bo'lishi kerak, ya'ni $u(\omega) > 0$ da $\frac{dP(\omega)}{d\omega} \leq 0$ bo'lishi kerak



4.10-rasm.

7) O'tish jarayonining monoton bo'lish sharti (4.11-rasm)



4.11-rasm.

$$P(\omega) > 0 \text{ da } \left| \frac{dP}{d\omega} \right| < 0.$$

O'tish jarayoni monoton xarakterga ega bo'lishi uchun, unga mos keladigan haqiqiy chastota tavsifi musbat va chastotaning funksiyasi

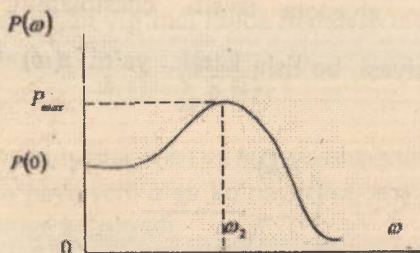
bo'lishi hamda uning hosilasi manfiy va absolyut qiymati kamayib boruvchi bo'lishi kerak, ya'ni

$$P(\omega) > 0, \quad \left| \frac{dP(\omega)}{d\omega} \right| < 0.$$

8) O'tish jarayonining o'ta rostlanishini eng katta qiymatini haqiqiy chastota tavsifining maksimumi bo'yicha topish

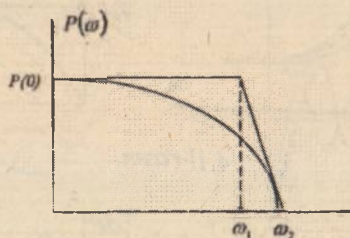
$$\sigma_{\max} = [1,18P_{\max} - P(0)]/P(0),$$

bu yerda $P_{\max} - P(\omega)$ ning maksimal qiymati, $P(0) - P(\omega)$ ning boshlang'ich qiymati.



4.12-rasm.

9) Agar haqiqiy chastota tavsifi trapetsiya ko'rinishiga yaqin bo'lsa, uni chastotalar doirasi ω_2 va nishablik koeffitsiyenti $\chi = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ orqali ap-proksimatsiya qilish mumkin.



4.13-rasm.

Bunda $\frac{\pi}{\omega_2} < t, \frac{4\pi}{\omega_2}$ agar $P(\omega)$ maksimumga ega bo'lsa, $\frac{3\pi}{\omega_2} < t, \frac{8\pi}{\omega_2}$ bo'ladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Avtomatik boshqarish tizimlarining sifat ko'rsatkichlarini bevosita baholash usulini tushuntirib bering.

2. Sifat ko'rsatkichlarini baholashning bilvosita usulini deb nimaga aytiladi?

3. Barqaror rejimda roslash sifatini baholashda xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi qanday aniqlanadi?

4. Xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi asosida xatolik koefitsiyentlari qaysi formula orqali hisoblanadi?

5. Qanday ta'sirlada xatolik koefitsiyentlari usulini qo'llash maqsadga muvofiq?

6. O'tkinchi xarakteristika bo'yicha tizimning qanday sifat ko'rsatkichlarini aniqlash mumkin?

7. Rostlash sifatini baholashning ildiz usuli qaysi chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga asoslangan?

8. Rostlash sifatini baholashning ildiz usulida so'nish koefitsiyenti nimaga bog'liq?

9. O'tish jarayoni sifatining integral baholash usuli asosida nima yotadi?

10. Eng ko'p qo'llaniladigan integral baholash usuli ifodalarini keltiring.

11. Rostlash sifatini baholashning chastota usulida haqiqiy chastota tavsifi va ularga mos keladigan o'tish jarayonining asosiy xossalari tushuntirib bering.

12. Rostlash sifatini baholashning chastota usulining afzalligi va qo'llanilishi to'g'risida nimalar deyish mumkin?

Test savollari

1. O'tarostlash qiymati qaysi xususiyatni ko'rsatadi?

- A) O'tish vaqti. B) Maksimal dinamik xatolik.
C) Sezuvchanlik. D) Asllik.

2. O'tkinchi jarayon vaqti qaysi xususiyatni ko'rsatadi?

- A) Doimiy vaqt. B) Statik holati.
C) Sezuvchanlik. D) Asllik.

3. Tizimning statik xatoligi asosan qaysi parametrga bog'liq?

- A) Vaqt doimiysi.
B) Kuchaytirish koeffitsiyenti.
C) Kechikish vaqti.
D) Vaqt doimiysi va kuchaytirish koeffitsiyenti.

4. O'tarostlash qiymati qaysi ifoda bilan hisoblanadi?

- A) h_{max}/h_0 . B) h_0/h_{max} .
C) $(h_{max} - h_0)/h_{max}$. D) $\frac{(h_{max} - h_0)}{h_{max}} \cdot 100\%$.

5. Boshqarish tizimining tezligini oshirish usulini ko'rsating.

- A) Tizim tarkibiga integrallovchi zveno kiritish orqali.
B) Tizim tarkibiga kuchaytiruvchi zveno kiritish orqali.
C) Tizim tarkibiga korrektlovchi zveno kiritish orqali.
D) Tizim tarkibiga differensiallovchi zveno kiritish orqali.

6. Boshqarish tizimining aniqligini oshirish usulini ko'rsating.

- A) Tizim tarkibiga differensiallovchi zveno kiritish orqali.
B) Tizim tarkibiga integrallovchi zveno kiritish orqali.
C) Tizim tarkibiga kuchaytiruvchi zveno kiritish orqali.
D) Tizim tarkibiga korrektlovchi zveno kiritish orqali.

7. O'tkinchi jarayon egri chizig'i bo'yicha aniqlangan sifat ko'rsatkichlarini tizimning sifatini baholashning qanday usuli deyiladi?

- A) Bevosita. B) Bilvosita.
C) Xatolik koeffitsiyentlar. D) Chastotaviy.

8. Ayrim hollarda yuqori tartibli tizimlar uchun o'tkinchi jarayon egri chizig'ini aniqlash ancha qiyinchilik tug'diradi. Shunday hollarda o'tkinchi jarayon egri chizig'ini aniqlamasdan turib shu jarayonning sifatini baholashga imkon beruvchi usulni sifat ko'rsatkichlarini baholashning qanday usuli deyiladi?

- A) Bevosita. B) Bilvosita.
C) Xatolik koeffitsiyentlar. D) Chastotaviy.

9. Barqaror rejimda rostlash sifatini baholashda xatolik koeffitsiyentlari qanday ifoda yordamida aniqlanadi?

- A) $C_s = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p^s} [\Phi_s(p) - C_s - C_1 p - \dots - C_{s-1} p^{s-1}]$.
B) $C_s = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p^s} [\Phi_s(p) - C_s - C_1 p]$.
C) $C_s = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p} [\Phi_s(p) - C_s]$.
D) $C_s = \lim_{p \rightarrow \infty} \Phi_s(p)$.

10. Pog'onali signallar ta'siri orqali o'tish jarayonining sifatini baholashda so'nish dekrementi qanday topiladi?

- A) $\chi = \left| \frac{h_{max} - h_{sv}}{h_{max} - h_{sv}} \right| \cdot 100\%$. B) $\chi = \left| \frac{h_{max} - h_{sv}}{h_{sv}} \right| \cdot 100\%$.
C) $\chi = \left| \frac{h_{sv} - h_{max}}{h_{max}} \right| \cdot 100\%$. D) $\chi = \left| \frac{h_{max}}{h_{max} - h_{sv}} \right| \cdot 100\%$.

11. Rostlash sifatini baholashning ildizli usullari nimaga asoslangan?

- A) Xarakteristik tenglamaning chegaralarini aniqlashga va o'tish jarayonining sifati bilan ko'rsatilgan chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga asoslangan.
B) Xarakteristik tenglamaning chegaralarini aniqlashga asoslangan.
C) O'tish jarayonining sifati bilan ko'rsatilgan chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga.
D) Bu usul o'tish jarayonining tebranuvchanligini va rostlash vaqtini yetarli darajada tez aniqlashga imkon beradi.

12. Rostlash sifatini baholashning ildizli usullarini afzalligi (qanday imkon beradi)?

A) Xarakteristik tenglamaning chegaralarini aniqlashga va o'tish jarayonining sifati bilan ko'rsatilgan chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga asoslangan.

B) Xarakteristik tenglamaning chegaralarini aniqlashga asoslangan.

C) O'tish jarayonining sifati bilan ko'rsatilgan chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga.

D) Bu usul o'tish jarayonining tebranuvchanligini va rostlash vaqtini yetarli darajada tez aniqlashga imkon beradi.

V BOB. CHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINI SINTEZLASH

Tayanch soʻzlar va iboralar: sintezlash, logarifmik-chastotaviy xarakteristika, zaruriy uzatish koeffitsiyenti, kesishish chastotasi, soʻnish chastotasi, amplituda boʻyicha zaxira, faza boʻyicha zaxira, korreksiya-lovchi qurilma, korreksiyalangan tizim, barqarorlashtiruvchi nomogramma, oʻrta chastotali asimptota.

5.1. Sinteziash masalasining qoʻllanilishi

ABTni sintezlash deganda uning struktura sxemasini va alohida zvenolarning parametrlari qiymatini shunday tanlash tushuniladiki, bunda barqarorlashgan tartibda berilgan aniqlik va oʻtish jarayonlarining maqbul xarakteristikasi taʼminlanadi.

Hozirgi vaqtda sintezlash masalasiga nisbatan ikki xil fikr mavjud. Birinchidan, sintezlash variatsion masala kabi talqin etilib, ABT shunday quriladiki, berilgan ishlash sharoitlarida xatolikning nazariy minimumi taʼminlanadi. Ikkinchidan, sintezlash muhandislik masalasi kabi talqin etilib, ABT shunday quriladiki, unga quyilgan texnik talablar taʼminlanadi. Muhandislik sintezlashda ABT dagi istalgan dinamik sifatlarini taʼminlash maqsadida uning biror oʻzgaraydigan qismiga qoʻshilishi lozim boʻlgan korreksiya-lovchi vositalarning koʻrinishi va parametrlar aniqlanadi [8,14,20].

Avtomatik boshqarish tizimini muhandislik sintezlarida, birinchidan, istalgan aniqlikni va ikkinchidan, oʻtish jarayonlarining maqbul xarakterlarini taʼminlashi lozim.

Birinchi masalaning yechilishi koʻp hollarda tizimning istalgan umumiy kuchaytirish koeffitsiyentini va zarur boʻlganda tizim aniqligini oshiruvchi korreksiya-lovchi vositalar koʻrinishini aniqlashga keltiriladi. Qiymatlarni parametrlarning katta boʻlmagan soniga nisbatan oʻrnatilishi zarurligi natijasida yechim nisbatan sodda boʻladi. Eng oddiy holda tizimning faqat umumiy kuchaytirish koeffitsiyentini topish maqbul.

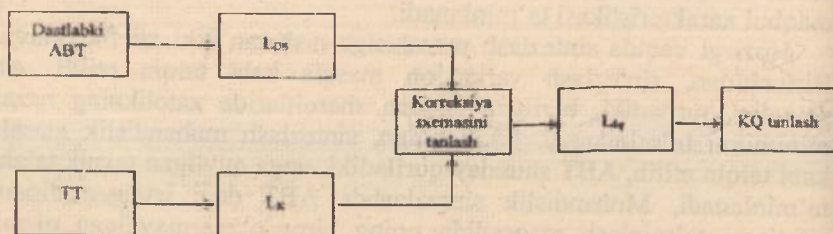
Ikkinchi masalaning yechilishi – oʻtish jarayonlarining maqbul xarakterini taʼminlash – katta sonli parametrlarning variatsiyalanishi va tizimni dempferlash masalasi yechimining koʻp maʼnoligi natijasida deyarli har doim qiyinroq boʻladi. Shuning uchun mavjud muhandislik usullari faqat ikkinchi masalani yechish bilan chegaralanadi.

5.2. Logarifmik chastota xarakteristikalari usuli yordamida sintezlash

ABTni sintezlashda uning asosiy elementlari (boshqarish obyekti, datchiklar, ijro qurilmalari) berilgan deb hisoblanadi va uni shunday korrelyatsiyalash lozimki, tizimning istalgan sifati (berilgan aniqligi, tezkorligi, barqarorligi) ta'minlansin.

Sintezlash masalasining yechimi umuman olganda bir ma'noli, chunki berilgan sifat ko'rsatkichlarini qanoatlantiruvchi bir ma'noli, ammo turli korreksiyaga ega bo'lgan ABT larni yaratish mumkin. ABT ni shunday loyihalash lozimki, korreksiyalovchi qurilmalar (KQ) oddiy bo'lishi, korreksiya esa oddiygina amalga oshirilishi lozim.

Hozirgi vaqtda logarifmik xarakteristikalardan foydalanib korreksiyalash usullari eng ko'p tarqalgan bo'lib, minimal-fazaviy tizimlar uchun faqat LChX ni qo'llash kifoyadir (5.1-rasm).



5.1-rasm. ABTni korreksiyalash.

Texnik topshiriq asosida korreksiyalangan tizim LChX $L_k(\omega)$ quriladi. Shu bilan birga dastlabki tizim ma'lum xarakteristikalar bo'yicha $L_p(\omega)$ quriladi. Ikkala LChX ni taqqoslash asosida hamda keyingi texnik amalga oshirishning soddaligi nuqtayi nazaridan korreksiya sxemasi (ketma-ket, teskari bog'lanishli, kombinatsiyalashgan) tanlanadi. Undan keyin korreksiyalovchi qurilma LChXsi $L_{kq}(\omega)$ topiladi va tanlanadi. Turli korreksiya sxemalari va mos KQ larni ko'rib, ulardan eng yaxshisi tanlanadi.

Texnik topshiriqda tizimga quyidagi shartlar qo'yiladi [8]:

1) *aniqlik sharti*: a) y_{0n} maksimal amplituda va ω_0 chastotali y_0 topshiruvchi garmonik ta'sirning (odatda kuzatuvchi tizimlar uchun) yoki

y_{0r} maksimal tezlik va y_{0sh} tezlanishlarga ega bo'lgan ixtiyoriy ta'sirlarning tizimda ishlanishidagi joiz xatolik,

b) tizimning astatizm tartibi ν yoki statik ba'zan kinetik xatolikka yo'l qo'yilmasligi:

2) *tezkorlik shartlari*: sakrama (pog'onali) ta'sirni ishlanishdagi rostlash vaqti t_n yoki tizimning kesilish chastotasi ω_n ;

3) *barqarorlik ko'lami sharti*: faza bo'yicha $\Delta\varphi$ va modul bo'yicha ΔL ko'lam, yoki pog'onali ta'sirni ishlashdagi joiz ortiqcha rostlash h yoki tebranish koeffitsiyenti M_n (odatda kuzatuvchi tizimlar uchun).

5.3. Texnik topshiriq bo'yicha LChX ni qurish

Amalda barcha sifatli ABT lar chastota xarakteristikalarda namunaviy xususiyatlarga yoki na'munaviy LChX larga ega. Namunaviy LChX lar uchun ularning parametrlari va texnik topshiriqlardagi parametrlar orasida bir ma'noli bog'lanishni barqarorlashtiruvchi nomogrammlar hisoblangan. Korreksiya qilingan LChX qurish past chastotali sohadan boshlanadi [8,23].

1. Past chastotalar sohasida tizimning aniq ishlash shartidan ω_n, L_n koordinatalari nazorat nuqta K ning holati aniqlanadi, bu yerda ω_n - topshiruvchi ta'sirning maksimal chastotasi

$$L_n = L(\omega_n) = 20 \lg |W_r(j\omega_n)| = 20 \lg \frac{y_{0r}}{e_{0n}}, \quad (5.1)$$

bu yerda, L_n - shu chastotadagi kuchaytirish koeffitsiyenti (db).

ABT aniqligini garmonik signalning tiklanishi bo'yicha osongina baholash mumkin. Agar texnik topshiriq bo'yicha tiklash uchun eng qiyin bo'lgan topshiruvchi ta'sir quyidagi ko'rinishga ega bo'lsa:

$$y_0(t) = y_{0n} \cdot \sin \omega_n t,$$

ABT xatoligi amplitudasi quyidagicha aniqlanadi:

$$e_n = y_{0n} \left| \frac{W_n(j\omega_n)}{1 + W_n(j\omega)} \right| = \frac{y_{0n}}{|1 + W_n(j\omega)|} \approx \frac{y_{0n}}{|W_n(j\omega)|}, \quad (5.2)$$

chunki ish chastotasi diapazonida odatda $W_m(f\omega) \geq 1$, $e_{st} \leq e_{kin}$ shartidan (5.1) ni olamiz. Agar texnik topshiriqda topshiruvchi ta'sirning maksimal tezligi \dot{y}_{om} va maksimal tezlanishi \ddot{y}_{om} berilgan bo'lsa, uni quyidagi chastota va amplitudaga ega bo'lgan ekvivalent garmonik ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\omega_m = \ddot{y}_{om} (\dot{y}_{om})^{-1}; y_{om} = \dot{y}_{om}^2 (\ddot{y}_{om})^{-1}.$$

K nuqta orqali $L_s(\omega)$ kirishi mumkin bo'lmagan taqiqlangan zonani aniqlovchi ikkita asimptota o'tkaziladi (5.2-rasm). Birinchi asimptota ($\omega \leq \omega_m$ uchun) $(-v \cdot 20)$ db/dek og'ish bilan o'tkaziladi, bu yerda v – texnik topshiriqda berilgan tizim astatizmi tartibi. Ikkinchi asimptota ($\omega > \omega_m$) uchun og'ish bilan o'tkaziladi. Agar v kattalik berilmagan bo'lsa, ammo texnik topshiriqda statik e_{st} yoki kinetik e_{kin} xatolikning mumkinligi yoki yo'qligi shartlari izohlangan bo'lsa, v kattalik quyidagi sxema bo'yicha tanlanadi:

$$e_{st} \neq 0 \rightarrow v = 0;$$

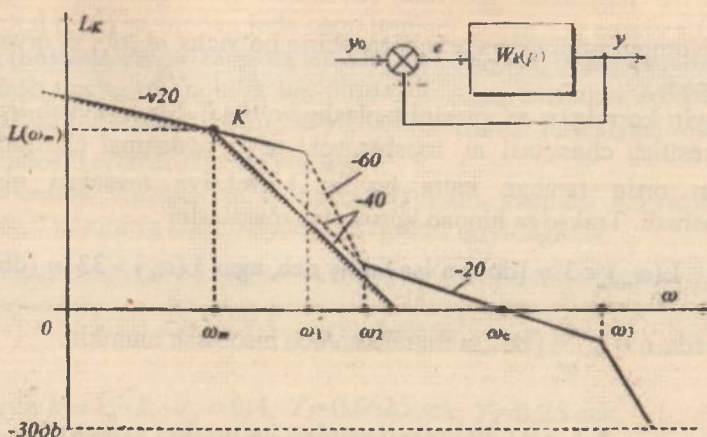
$$e_{st} = 0, e_{kin} \neq 0 \rightarrow v = 1;$$

$$e_{st} = 0, e_{kin} = 0 \rightarrow v \geq 2.$$

Shuni aytish lozimki, ABT narxi va murakkabligi odatda astatizm tartibi oshishi bilan oshadi. Korrektsiyalangan tizim LACHX si $[\omega, \geq \omega_m]$ chastotagacha kuchaytirish kaskadlarining minimal soni bilan kifoyalanish uchun odatda joiz soha chegarasi bo'yicha o'tkaziladi.

2. O'rtacha chastotalar sohasida $[\omega_1, \omega_2]$ istalgan tezkorlikni ta'minlagan holda ω_1 nuqta orqali (-20) db/dek og'ish bilan asimptota o'tkaziladi (5.2-rasm). ω_1 nuqta texnik topshiriqda beriladi yoki berilgan rostdash vaqti kattaligi bo'yicha topiladi:

$$\omega_1 = k_1 \cdot \frac{\pi}{t_1}, k_1 = 2 + 4.$$



5.2-rasm. Korreksiyalangan tizimning logarifmik amplituda chastota xarakteristikalarini qurish.

Minimal fazaviy tizimlar uchun LACHX ning bunday og'ishi $[\omega_2, \omega_k]$, $[\omega_k, \omega_3]$ kesmalar uzunligini tegishli ravishda tanlanganda ABT barqarorligini ta'minlaydi. Bu kesmalar qanchalik uzun bo'lsa, faza bo'yicha xazira shunchalik katta va tebranish shuncha kichik bo'ladi (tizimning kuchliroq dempferlanishi). Odatda, bu chegaralar uzunligini ω_1 dan ikki tomonga qarab (0,2-0,9) dek ga teng qilib olinadi.

Agar tebranish ko'rsatkichi M_t berilgan bo'lsa (odatda kuzatuvchi tizimlar uchun), taqriban quyidagilarni topish mumkin:

$$\omega_2 \leq \omega_k \frac{M_m - 1}{M_m}; \quad \omega_1 \geq \omega_k \frac{M_m + 1}{M_m}. \quad (5.5)$$

$M_m = 1,1-1,3$ kattalik juda yaxshi dempferlangan tizimga mos keladi; ko'pgina kuzatuvchi tizimlar uchun $M_m \leq 1,8$ kattalik joizdir.

3. LACHX ning past chastotali kesmasi bilan o'rtacha chastotali ($[\omega_1, \omega_2]$ diapazondagi) kesmani taqiqlangan zonaga tushmaydigan qilib (-40) db/dek yoki (-60) db/dek og'ish bilan asimptota o'tkaziladi.

4. Yuqori chastotalar sohasida ($\omega > \omega_3$ da) $L_1(\omega)$ iloji boricha $h_1(\omega)$ og'ishi bilan o'tkaziladi. LACHX ning bu qismini odatda $L = -30$ db qiymatgacha quriladi.

5. Nomogrammalar va texnik topshiriq bo'yicha $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ qiymatlari aniqlanadi.

Keyin korreksiya sxemasini tanlashga o'tiladi. Shuni aytish lozimki, agar kesilish chastotasi ω_1 topshiruvchi ta'sir maksimal chastotasidan ikkidan ortiq tartibga katta bo'lsa, korreksiya masalasi nisbatan osonlashadi. Trakselga binoan korreksiya masalasini

$$L(\omega_n) < 33\eta \text{ [db]} \text{ bo'lsa oddiy deb, agar } L(\omega_1) > 33 \cdot n \text{ (db),}$$

(bu yerda $n = \lg \frac{\omega_1}{\omega_n}$) bo'lsa murakkab deb hisoblash mumkin.

5.4. ABT korreksiyasining ketma-ket sxemasi

Ketma-ket korreksiyalash sxemasida (5.3-rasm) KQ tizimda boshqa elementlar bilan injenerlik nuqtayi nazaridan mumkin bo'lgan joyda ketma-ket ulanadi.

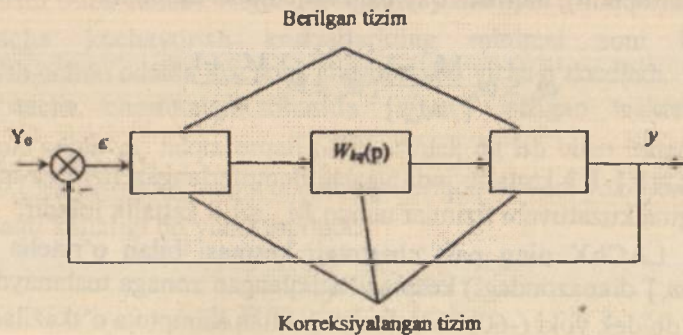
$$W_1(p) = W_s(p) \cdot W_n(p).$$

Shuning uchun

$$L_1(\omega) = L_s(\omega) \cdot L_n(\omega),$$

bundan KQ ning qidirilayotgan LAChX si quyidagicha topiladi:

$$L_n(\omega) = L_1(\omega) - L_s(\omega). \quad (5.6)$$



5.3-rasm. ABTni ketma-ket korreksiyalash.

Agar korreksiyaning ketma-ket sxemasi tanlangan bo'lsa KQ L.AChXsi (5.6) ga binoan juda oson topiladi. Agar KQ passiv KQ – zanjir ko'rinishida elektr zanjirda ishlashi shart bo'lsa, uning parametrlarini hisoblash uncha qiyinchilik tug'dirmaydi. Agar dastlabki ABTda elektr elementlar bo'lmasa $L_{\omega}(\omega)$ bo'yicha KQ uzatish funksiyasi topiladi va KQ munosib elementlardan yig'iladi.

5.1-misol. Kuzatuvchi tizimning struktura sxemasi 5.4-rasmda keltirilgan. Tizimning chastota xarakteristikasi quyidagicha:

$$W_s(j\omega) = \frac{k}{j\omega(1+j\omega T_1)(1+j\omega T_2)},$$

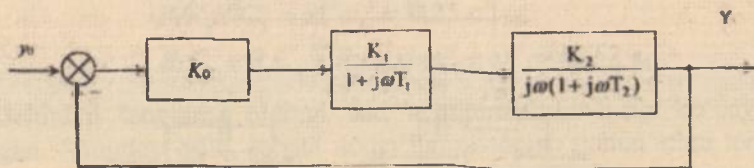
bu yerda $k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 0,4$; $T_1 = 0,0625$ sek; $T_2 = 0,25$ sek.

1. Korreksiya usuliga binoan $L_s(\omega)$, $\varphi_s(\omega)$ ni quramiz (5.5-rasm). $L_s(\omega)$ quyidagi tartibda quriladi:

a) tutash chastotalarni topamiz $T_2^{-1} = 4 \text{ c}^{-1}$, $T_1^{-1} = 16 \text{ c}^{-1}$;

b) ($\omega = 1 \text{ c}^{-1}$, $L_s(1) = 20 \lg k = -8 \text{ db}$) koordinatali nuqtadan T_2^{-1} chastotagacha (-20) db/dek og'ish bilan asimptota o'tkazamiz; keyin (-40) db/dek og'ish bilan T_1^{-1} chastotagacha asimptota o'tkazamiz; keyin (-60) db/dek og'ish bilan quyidagini quramiz.

$$\varphi_s(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \arctg \omega T_1 - \arctg \omega T_2.$$



5.4-rasm. Kuzatuvchi tizimning struktura sxemasi.

2. Texnik topshiriq bo'yicha $L_s(\omega)$ ni quramiz. Texnik topshiriqda quyidagilar ko'rsatilgan:

a) topshiruvchi garmonik ta'sirning maksimal chastotasi

$$\omega_m = 0,05 \text{ sek}^{-1}$$

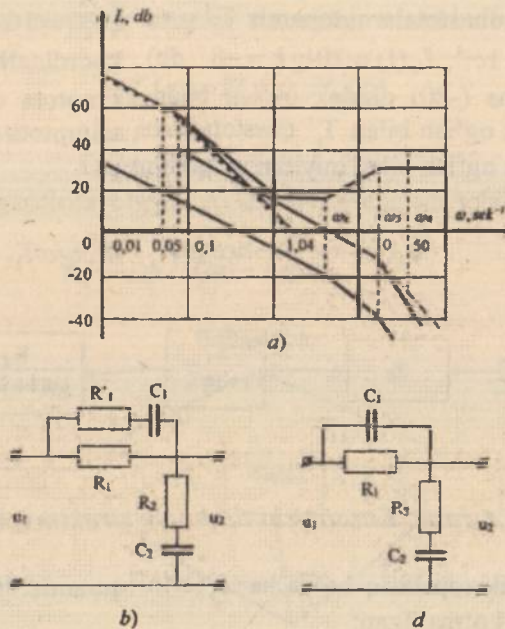
va mumkin bo'lgan nisbiy xatolik $\frac{e_{y_{\text{akt}}}}{y_{\text{on}}} \leq 0,1\%$; tizim astatizmi $\nu = 1$;

b) rostdash vaqti $t_r \leq 3c$.

Texnik topshiriqqa asosan nazorat nuqta koordinatalarini topamiz $\omega_n = 0,05 \text{ sek}^{-1}$, $L_n = 20 \lg 1000 = 60 \text{ db}$.

Taqiqlangan zonani quramiz. Korreksiyalangan tizim kesilish chastotasini topamiz $\omega_k \cong 4 \frac{\pi}{t_r} \cong 4 \text{ c}^{-1}$ va $(-20) \text{ db/dek}$ og'ish bilan asimptota o'tkazamiz. $[\omega_2, \omega_4]$, $[\omega_4, \omega_3] \cong 0,6$ kesmalarni shunday tanlaymizki, bunda $\omega_2 = 16 \text{ c}^{-1}$ va $\omega_3 = 1,0 \text{ c}^{-1}$ bo'lsin.

Past chastotali asimptotani o'rta chastotali asimptota bilan tutashirishni $(-40) \text{ db/dek}$ og'ish bilan amalga oshiramiz (5.5-rasm, a). Yuqori chastotali asimptotani $L_d(\omega)$ dagidek $(-60) \text{ db/dek}$ og'ish bilan o'tkazamiz.



5.5-rasm. Logarifmik chastotaviy xarakteristika (a) va korrektlovchi zanjirlar (b,d).

3. Ketma-ket korreksiyalash sxemasini tanlaymiz. (5.6) dan $L_{\text{in}}(\omega)$ ni topamiz. Bunday KQ ni RC – zanjir ko‘rinishida (5.5-rasm, b) va kuchaytirish koeffitsiyenti 100 ga teng bo‘lgan kuchaytirgichni amalga oshirish yetarlicha oson bo‘lsa-da, KQ ni (5.5-rasm, d) $L_{\text{in}}(\omega)$ bo‘yicha amalga oshirish undan ham osonligini ko‘rish qiyin emas. $L_{\text{in}}(\omega)$ ni olish uchun $L_1(\omega)\omega > \omega$, chastotalarda oldin (-40) db/dek og‘ish bilan, keyin esa (-60) db/dek og‘ish bilan (5.5-rasm, a) dagi shtrix-punktir) chiziq o‘tishi lozim. Shu variantni va unga mos KQ tanlab elektron kuchaytirgich tanlaymiz.

4. KQ parametrlarini hisoblaymiz. $L_{\text{in}}(\omega)$ bo‘yicha quyidagini topamiz:

$$W_{\text{in}}(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{100(1+p\omega_2^{-1})(1+p\omega_1^{-1})}{(1+p\omega_3^{-1})(1+p\omega_4^{-1})}$$

bu yerda $\omega_1 = 0,08 \text{ c}^{-1}$; $\omega_2 = 1 \text{ c}^{-1}$; $\omega_3 = 4 \text{ c}^{-1}$; $\omega_4 = 50,0 \text{ c}^{-1}$.

Korreksiyalovchi qurilmalar jadvalidan kuchaytirgichsiz uzatish funksiyalari uchun nazariy yo‘l bilan aniqlangan (analitik) ifodani topamiz:

$$W_{\text{in}}(p) = \frac{(1+pR_1C_1)(1+pR_2C_2)}{R_1R_2C_1C_2p^2 + [R_1C_1(1+R_2R_1^{-1})R_2C_2]p + 1}$$

Uzatish funksiyalarini solishtirib quyidagini topamiz:

$$R_1C_1 = \omega_2^{-1} = 1 \text{ c}; \quad R_2C_2 = \omega_4^{-1} = 0,25 \text{ c};$$

$$R_1R_2C_1C_2 = \omega_2^{-1}\omega_4^{-1} = 0,25 \text{ c}^2.$$

$$R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1 = \omega_1^{-1} + \omega_3^{-1} = 12,52 \text{ c}.$$

Uchinchi tenglama oldingi ikki tenglamani bir-biriga ko‘paytirib olingan. Shunday qilib, to‘rtta noma’lumni topish uchun uchta tenglamaga egamiz, shuning uchun KQ ning bitta parametrini ixtiyoriy tanlab olish mumkin. Lampaning to‘r qarshiligi kattaligi cheklanganligi sababli ($R_{\text{to‘r}} \leq 0,5 \text{ Mom}$); $R_1 = 0,5 \text{ Mom}$ deb tanlaymiz. Unda $C_1 = R_1^{-1} \cdot \omega_2^{-1} = 2 \text{ mkF}$. Oxirgi tenglamadan $R_2 = 5,63 \text{ Mom}$ ni olamiz. Unda $C_2 = 0,45 \text{ mkF}$.

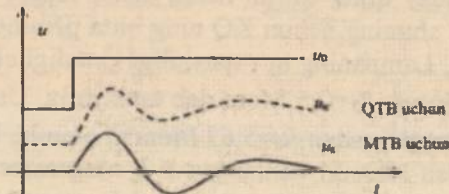
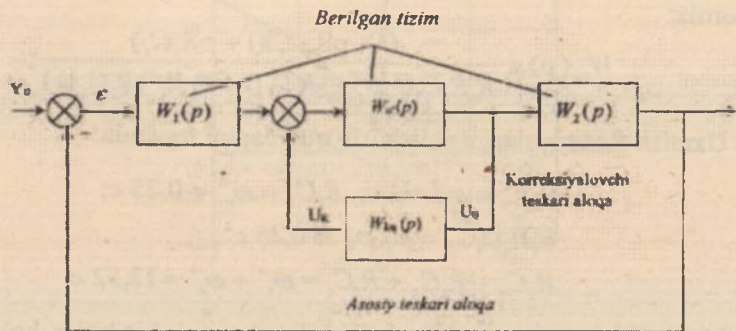
Shuni aytish lozimki, tanlangan KQ o‘zgarmas tok zanjirlari uchun korreksiyalovchi qurilmadir, shuningdek, masalan $L_1(\omega)$ si xuddi shunday o‘zgaruvchan tokli kuzatuvchi tizimni korreksiyalash uchun sxemasi boshqacha bo‘lgan (ko‘priqli RC – zanjir asosida) o‘zgaruvchan tokli KQ talab qilingan bo‘lar edi.

5.5. Teskari bog'lanish yordamida korreksiyalash

Teskari bog'lanishli korreksiyalash sxemasida (5.6-rasm, a) KQ tizimga tizimning $W_{qam}(p)$ uzatish funksiyali qismini qamrab olish bilan kiritiladi. Manfiy korrektirlovchi teskari bog'lanish qamrab olingan qismning tizim xarakteristikasiga ta'sirini kamaytirish sababli, xarakteristikalarning barqarorligi kichik bo'lgan elementlarni (elektron kuchaytirgichlar, kollektorli dvigatellar va sh.o'f.) teskari bog'lanish orqali qamrab olishga intiladi [8,14,23].

Korreksiyalashni qat'iy va moslanuvchan teskari bog'lanish orqali amalga oshirish mumkin. Qat'iy teskari bog'lanish (QTB) o'tish va bir qator tartibda ta'sir qilsa, moslanuvchan teskari bog'lanish (MTB) faqat o'tish tartibida ta'sir etadi (5.6-rasm, b).

Manfiy QTB da tizim qamrab olingan jismning statik ko'chaytirish koeffitsiyenti kamayadi. Natijada korreksiyalangan tizim xatoligi ortadi. Shuning uchun amalda MTB yordamida korreksiyalash keng tarqaldi.



5.6-rasm. Teskari bog'lanishli korreksiyalash sxemasi.

KQ ni topish usulini ko'raylik. Korreksiya sxemasidan (5.6-rasm, a) quyidagini olamiz:

$$W_k(p) = W_1(p) \frac{W_{\text{um}}(p)}{1 + W_{\text{um}}(p)W_{\text{in}}(p)} W_2(p) = \frac{W_2(p)}{1 + W_{\text{um}}(p)W_{\text{in}}(p)}$$

Oxirgi ifoda LACHX dan foydalanishga noqulay. Ammo agar chastotaning biror oralig'ida quyidagini ta'minlash talab etilsa,

$$W_k(j\omega) \cong W_2(j\omega), \quad (5.7)$$

agar quyidagi shart bajarilsa,

$$|W_{\text{um}}(j\omega) \cdot W_{\text{in}}(j\omega)| \ll 1, \text{ yoki } L_{\text{um}}(\omega) + L_{\text{in}}(\omega) < 0. \quad (5.8)$$

Chastota boshqa oralig'ida

$$|W_{\text{um}}(j\omega)W_{\text{in}}(j\omega)| \gg 1, \text{ yoki } L_{\text{um}}(\omega) + L_{\text{in}}(\omega) > 0 \quad (5.9)$$

bo'lsa,

$$W_k(j\omega) \cong \frac{W_2(j\omega)}{W_{\text{um}}(j\omega)W_{\text{in}}(j\omega)} = \frac{W_1(j\omega)W_2(j\omega)}{W_{\text{in}}(j\omega)} \quad (5.10)$$

bo'ladi.

Shunday qilib, haqiqatan ham, yuqoridagi ma'lum shartlarda korreksiyalangan tizim xarakteristikolari tizimning qamrab olingan qismiga bog'liq bo'lmaydi [8,23]. (5.10) dan $L_{\text{in}}(\omega)$ ni topishga harakat qilamiz.

$$L_{\text{um}}(\omega) + L_{\text{in}}(\omega) = 0 \text{ dagi } \omega', \omega''$$

chastotalar, ya'ni (5.8) yoki (5.9) bajariladigan chastotalar oralig'ining chegaralari teskari bog'lanishli korreksiyadagi tutash chastotalar deb ataladi. $L_{\text{in}}(\omega)$ ni quyidagi tartibda qurish qulay [8,20]:

1. Dastlabki tizim (LACHX) $L_1(\omega)$ si quriladi.

2. Texnik topshiriq bo'yicha korreksiyalangan tizim LACHX si quriladi.

3. (5.10) ga mos holda, ya'ni $[\omega', \omega'']$ biror chastota oralig'i uchun (5.9) shartidan jamlangan LACHX topiladi.

$$L_{\Sigma}(\omega) = L_{\text{qam}}(\omega) + L_{L_1}(\omega) - L_1(\omega).$$

4. Texnik imkoniyatlar va xarakteristikalarining beqarorligi asosida tizimdagi qamrab olinuvchi qism belgilanadi.

5. $[\omega', \omega'']$ chastotalar oralig'i uchun

$$L_{L_1}(\omega) = L_{\Sigma}(\omega) - L_{\text{qam}}(\omega)$$

topiladi.

6. $L_{L_1}(\omega)$ bo'yicha KQ tanlanadi. Agar uni amalga oshirish qiyin bo'lsa, tizimda qamrab olinuvchi qismning boshqa varianti tanlanadi.

5.2-misol.

Hisoblash uchun berilgan:

a) strukturaviy sxemasi



5.7- rasm.

b) elementlarning uzatish koeffitsiyentlari:

$$K_2=30; \quad K_3=3,0 \text{ grad/s};$$

d) elementlarning vaqt doimiyligi:

$$T_1=0,05 \text{ s}; \quad T_2=0,35 \text{ s};$$

d) kirish signalining o'zgarish tezligi:

$$v = \frac{dx}{dt} = 30 \text{ grad/s};$$

e) sintez qilinayotgan sistemaga talablar:

– tezlik xatoligi $\varepsilon_r \leq 0,25 \text{ grad/s};$

– o'tarostlash qiymati $\delta \leq 23 \text{ } \%$;

– o'tkinchi jarayon vaqti $t_o \leq 0,6 \text{ s}.$

Berilgan aniqlik asosida sistemaning va oldingi kuchaytirgichning zaruriy uzatish koeffitsiyentlarini aniqlaymiz.

Sistemaning zaruriy uzatish koeffitsiyenti K , berilgan strukturaviy sxema uchun quyidagi formula bo'yicha topiladi [22,27]:

$$K_1 \geq \frac{v}{\varepsilon_1}$$

Statik sistemalar uchun:

$$K_1 \geq \frac{x - \varepsilon_n}{\varepsilon_n} \quad (5.11)$$

bunda, x – kirish ta'sir miqdori, ε_n – statik xatolik qiymati. Berilgan son qiymatlarini qo'yib, $K_1 \geq 120$ s ni topamiz.

Kuchaytirish elementining uzatish koeffitsiyenti quyidagicha topiladi:

$$K_1 = \frac{K_x}{\prod K} = \frac{K_x}{K_2 \cdot K_3} \quad (5.12)$$

Son qiymatlarni qo'yib, $K_1=1,33$ ni topamiz.

Sistemaning uzatish funksiyalarini topish.

Berilgan sistemaning uzatish funksiyalari quyidagi formulalardan topiladi:

$$W_n(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p) = \frac{K_1 K_2 K_3}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (5.13)$$

$$W_s(p) = \frac{W_n(p)}{1 + W_n(p)} = \frac{K}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + K} \quad (5.14)$$

bu yerda $K = K_1 K_2 K_3$.

Berilgan sistemaning logarifmik chastota xarakteristikasini qurish.

Berilgan sistema ketma-ket ulangan tipik dinamik zvenolardan tashkil topgan. Berilgan ochiq sistemaning LACHXsi $L_m(\omega)$ quyidagicha chiziladi: Koordinatalari $\omega=1$ va $20 \lg K = 20 \lg 120 = 41,6$ db nuqtadan -20 db/dek og'malikda $\omega_2 = 1/T_1$ chastotagacha to'g'ri chiziq o'tkazamiz. Keyin ω_2 dan $\omega_1 = 1/T_2$ gacha $L(\omega)$ ning og'maligi -40

db/dek, ω_1 dan boshlab -60 db/dek bo'lad. Sistemaning LFChXsi $\varphi(\omega)$ alohida zvenolarning $\varphi(\omega)$ lari yig'indisiga teng bo'lad:

$$\varphi_m(\omega) = -90^\circ - \arctg \omega T_1 - \arctg \omega T_2. \quad (5.15)$$

Chastota ω ga 0 dan ∞ gacha qiymatlar berib, $\varphi_m(\omega)$ ni hisoblaymiz (5.1-jadval).

5.1-jadval

Chastotani 0 dan ∞ gacha o'zgariganda $\varphi_m(\omega)$ ning qiymatlari

Chastota, ω	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,00	1,58
$\varphi_m(\omega)$, grad	-92,3	-93,6	-95,7	-99,1	-104,3	-112,2	-123,6
Chastota, ω	2,51	3,98	6,31	10,00	15,85	25,12	39,81
$\varphi_m(\omega)$, grad	-138,5	-155,6	-173,2	-190,7	-208,2	-225,1	-239,3
Chastota, ω	63,10	100,00	158,49	251,19	398,11	630,96	1000
$\varphi_m(\omega)$, grad	-249,9	-257,1	-261,9	-264,9	-266,8	-268,0	-268,8

Turg'unlik logarifmik mezoniga binoan sistema noturg'undir, chunki $\omega_{\text{oz}} > \omega_{\text{oz}}$, bu yerda: ω_{oz} , ω_{oz} berilgan sistemaning kesishish va so'nish chastotalari (5.8-rasm).

Zaruriy sistemaning LChX va LFChX sini qurish.

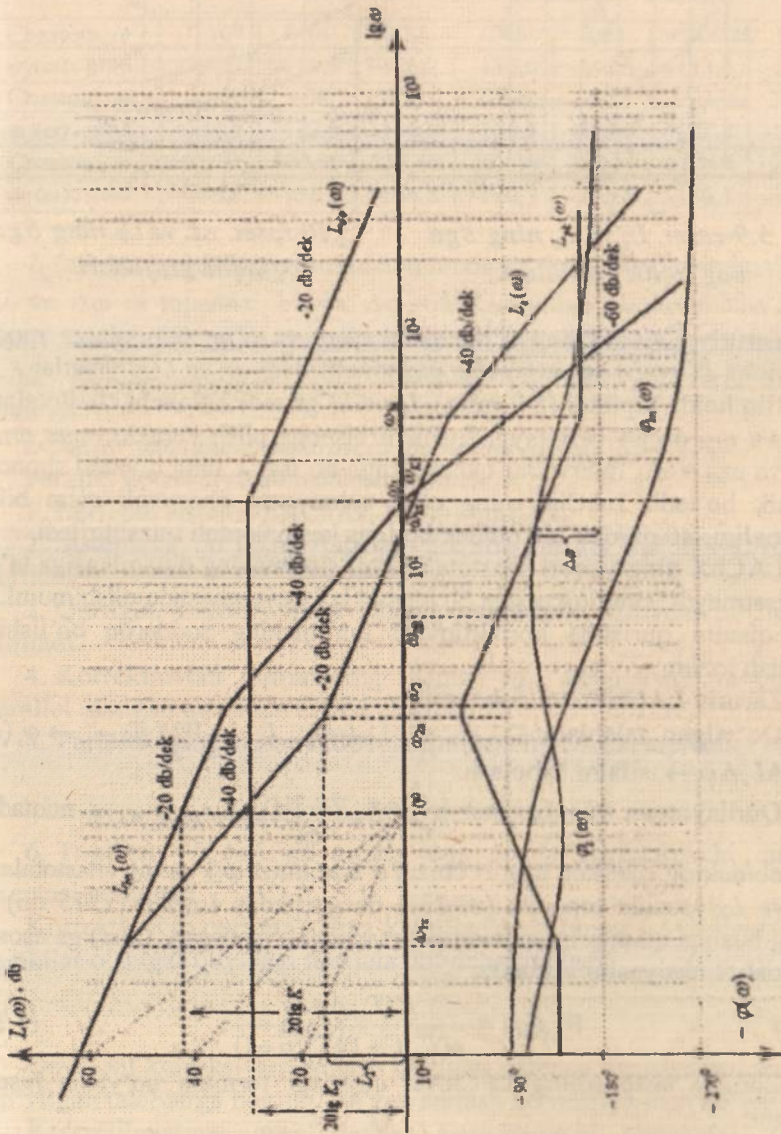
Ochiq sistemaning zaruriy logarifmik xarakteristkalari loyihalashtirilayotgan sistemaga qo'yilgan quyidagi talablar orqali quriladi: kerakli kuchaytirish ko'effitsiyenti, sistemaning astatizmi darajasi, o'tkinchi jarayon vaqti, o'ta rostlash qiymati.

LChX ning past chastotali qismi ochiq sistemaning kuchaytirish ko'effitsiyenti va astatizmi γ darajasi bilan aniqlanadi. Bu qism og'maligi -20γ db/dek ga teng bo'lib, ordinatasi $20/gK$ va absissasi $\omega=1$ nuqtadan o'tadi, bunda: γ -astatizm tartibi, K -sistemaning kerakli kuchaytirish ko'effitsiyenti. Korrektlovchi element sodda bo'lishligi uchun bu qism iloji boricha berilgan sistema LChXsi bilan ustma-ust tushishi kerak [8,23,27].

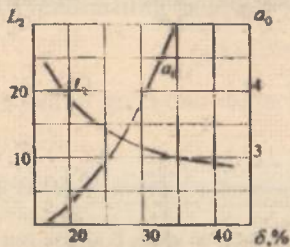
mplitudaviy xarakteristikaning o'rta chastotali qismi eng ahamiyatga ega qismidir, chunki sistemaning o'tkinchi jarayon sifati asosan shu qism xarakteri bilan aniqlanadi. Kesishish chastotasi ω_n da LChXning og'maligi -20 db/dek bo'lishi shart. Kesishish chastotasi

o'tkinchi jarayon vaqti t_0 va o'ta roslash qiymati δ bilan aniqlanadi:

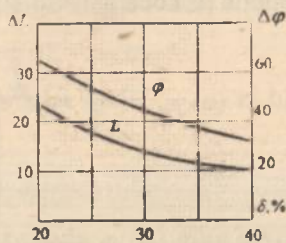
$\omega_{\kappa} \approx \frac{a_0 \pi}{l}$, bunda a_0 koeffitsiyent δ ga asosan tanlanadi (5.9-rasm).



5.8-rasm. Berilgan va zaruri sistemaning logarifmik xarakteristikalari.



5.9-rasm. L_2 va a_0 ning δ ga bog'liqlik grafiklari.



5.10-rasm. ΔL va $\Delta\varphi$ ning δ ga bog'liqlik grafiklari.

Zaruriy LACHXning o'rta qismi chap va o'ng tomonlarga modul bo'yicha L_1 va L_2 ga yetguncha davom ettiriladi. L_1 va L_2 qiymatlar δ ga bog'liq holda topiladi (5.9-rasm). L_1 va L_2 ga mos keluvchi chastotalarni ω_{2z} va ω_{3z} orqali belgilaymiz. Shuni hisobga olish kerakki, agar $\omega_{2z} - \omega_{3z}$ va $\omega_{kz} - \omega_{3z}$ intervallar qancha katta bo'lsa, δ ning qiymati shuncha kichik bo'ladi. LACHX ning o'rta qismi past chastotali qism bilan og'maligi -40 db/dek -60 db/dek bo'lgan kesma orqali tutashtiriladi.

LACHX ning yuqori chastotali qismi sistemaning dinamikasiga ta'sir ko'rsatmaydi, shuning uchun bu qismni ixtiyoriy ravishda olish mumkin. Bu qismni qurishda korrektlovchi qurilmaning soddaroq bo'lishiga intilish lozim.

Zaruriy LACHXni qurish tartibi:

Qo'yilgan talablar (K_z , δ , t_0 , $L_{bn}(\omega)$): $L_z \rightarrow W_z(p) \rightarrow \varphi_z(\omega) \rightarrow \Delta L, \Delta\varphi \rightarrow$ sifatni baholash.

Qurilayotgan misol uchun $\omega_n = \frac{\alpha_n \pi}{t_n} = \frac{28 \cdot 3,14}{0,6} \approx 15 \text{ c}^{-1}$ ($\lg \omega_n = 1,13$) nuqtadan

-20db/dek og'malikda to'g'ri chiziq o'tkazamiz. ω_{2z} va ω_{3z} chastotalarni L_1 va L_2 asosida topamiz ($\delta=23\%$ da grafikdan $L_1=L_2=12+15 \text{ db}$) L_z ning boshqa qismlarini chizish 5.8-rasmda ko'rsatilgan. $L_z(\omega)$ ga asosan uzatish funksiyasini yozamiz:

$$W_z(p) = \frac{K(T_{1z}p+1)}{p(T_{1z}p+1)(T_{2z}p+1)} \quad (5.16)$$

Zaruriy sistemaning LFChXsi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\varphi_z(\omega) = -90^\circ - \arctg T_{1z} \omega + \arctg T_{2z} \omega - \arctg T_{3z} \omega \quad (5.17)$$

Chastota 0 dan ∞ gacha o'zgarganda $\varphi_1(\omega)$ ning qiymatlari

Chastota, ω	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,00	1,58
$\varphi_1(\omega)$, grad	-107,3	-115,9	-126,2	-136,0	-142,3	-143,3	-138,9
Chastota, ω	2,51	3,98	6,31	10,00	15,85	25,12	39,81
$\varphi_1(\omega)$, grad	-130,9	-122,5	-116,5	-114,5	-117,0	-123,8	-134,3
Chastota, ω	63,10	100,00	158,49	251,19	398,11	630,96	1000,00
$\varphi_1(\omega)$, grad	-146,2	-156,8	-164,8	-170,3	-173,8	-176,1	-177,6

$L_1(\omega)$ va $\varphi_1(\omega)$ larga asosan amplituda va faza bo'yicha imkoniyatlar ΔL va $\Delta\varphi$ ni topamiz; $\Delta L = \infty$, $\Delta\varphi = 65^\circ$ Grafikdan aniqlanishicha (5.10-rasm) berilgan $\delta \leq 23\%$ bajarilishi uchun $\Delta L \geq 19\text{db}$, $\Delta\varphi \geq 55^\circ$ bo'lishi kerak. Demak, qurilgan $L_1(\omega)$ sistemaga qo'yilgan talablarni qanoatlantiradi.

LChXlar asosida korrektlovchi qurilmani qurish [8,10,27].

Parallel korreksiyaning hisoblash tartibi:

1. Berilgan sistema LACHXsi $L_{bn}(\omega)$ quriladi.
2. Sistemaga qo'yilgan talablar asosida zaruriy sistema LACHXsi quriladi.
3. Qurilgan LACHX larga binoan ularga mos keluvchi LFChX lar quriladi.
4. Korrektlovchi qurilmaning ulanish joyi belgilanadi va qurilma parallel ulangan qismi LACHXsi chiziladi.
5. Parallel ulangan korrektlovchi qurilma LACHXsi topiladi:

$$L_{\mu}(\omega) = L_{bn}(\omega) - L_1(\omega) - L_{\mu\mu}(\omega). \quad (5.18)$$

6. Topilgan $L_{\mu}(\omega)$ ga asosan eng sodda korrektlovchi qurilma sxemasi tanlanadi.

Korrektlovchi qurilma ketma-ket ulanganda uning LACHXsi (4 va 5 punktlar o'miga) quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$L_1(\omega) = L_{\mu}(\omega) - L_{bn}(\omega). \quad (5.19)$$

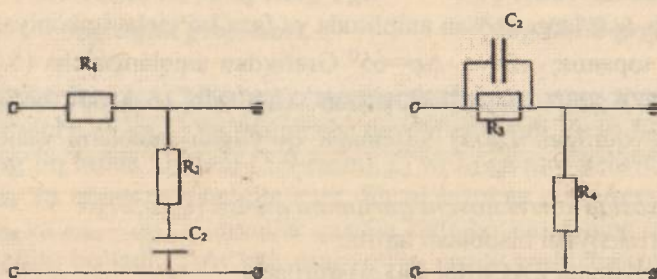
Qaysi xil korreksiyaning tanlash berilgan sistema xususiyatlari va unga qo'yilgan talablarga bog'liq. Ba'zan aralash korreksiya ham qo'llanadi.

Ko'rsatilayotgan misol uchun korrektlovchi elementni uzatish funksiyasi $W_{\mu\mu}(p) = K_2 / (pT_1 + 1)$ bo'lgan zvenoga parallel ulaymiz.

1-6 punktlarni bajarib va o'zgarmas tok korrektlovchi zvenolari jadvallaridan korrektlovchi element LChXsi va sxemasini topamiz.

$$W_{*}(p) = \frac{G_0 (T_{1z} p + 1)(T_{3z} p + 1)}{(T_{2z} p + 1)(T_1 p + 1)} \quad (5.20)$$

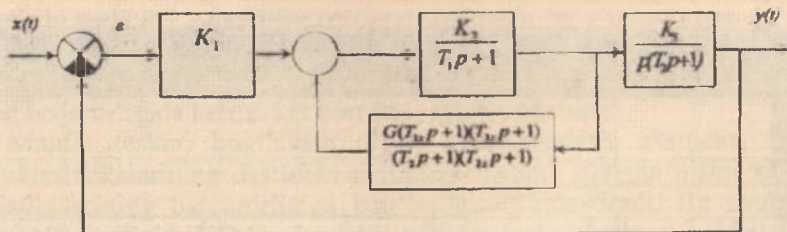
Bu korrektlovchi qurilmani ikkita korrektlovchi tipik zvenolarni, ya'ni differensiallovchi va integrallovchi zvenolarni ketma-ket ulab hosil qilish mumkin (5.11-rasm). Rezistorlar va kondensatorlar qiymati jadvallarda berilgan formulalar va LChXdan topilgan quyidagi kattaliklar orqali topiladi: $T_{1z}=3,5$ s; $T_2=0,35$ s; $T_{3z}=0,022$ s; $T_{2z}=0,41$ s.



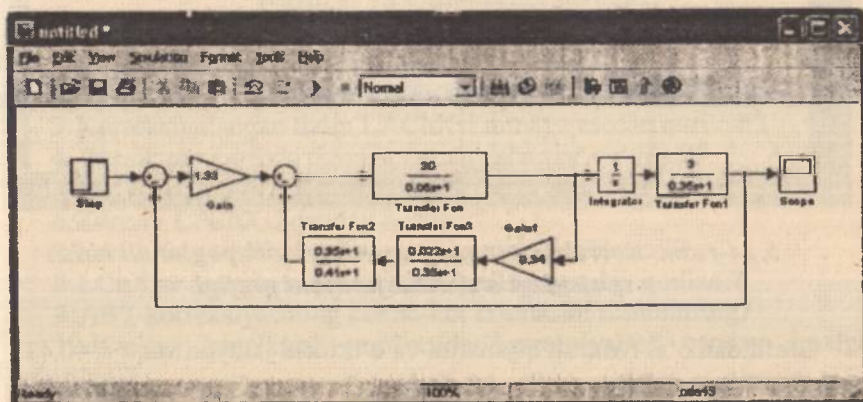
5.11-rasm. Korrektlovchi qurilmaning sxemasi.

Noma'lum tenglamalar soni tenglamalar sonidan ko'p bo'lgan taqdirda ba'zi elementlar (rezistor va kondensatorlar) parametrlari ixtiyoriy berilishi mumkin. Korrektlovchi zvenolar o'zaro ketma-ket ulanganda ularning kirish va chiqish qarshiliklarini moslashtirishga ahamiyat berish zarur. Buning uchun ular oralig'iga moslovchi qurilma qo'yiladi yoki $Z_{1chiq} \ll Z_{2kir}$ (10-50 marta) shart bajarilishiga erishish lozim.

Agar tanlangan korrektlovchi qurilma hisoblanganidan farq qilsa, unda sxemaga ulangan korrektlovchi qurilma hisobga olingan holda korrektlangan sxemani uzatish funksiyasi $W_{*}(p)$ topiladi. Ko'rilayotgan misolda $W_{*}(p) = W_1(p)$, shuning uchun keyingi hisoblarda $W_1(p)$ ni ishlatish mumkin. Korrektlangan sistemaning strukturaviy sxemasi (5.12-rasm) da berilgan.



5.12-rasm. Korrektlangan sistemaning strukturaviy sxemasi.

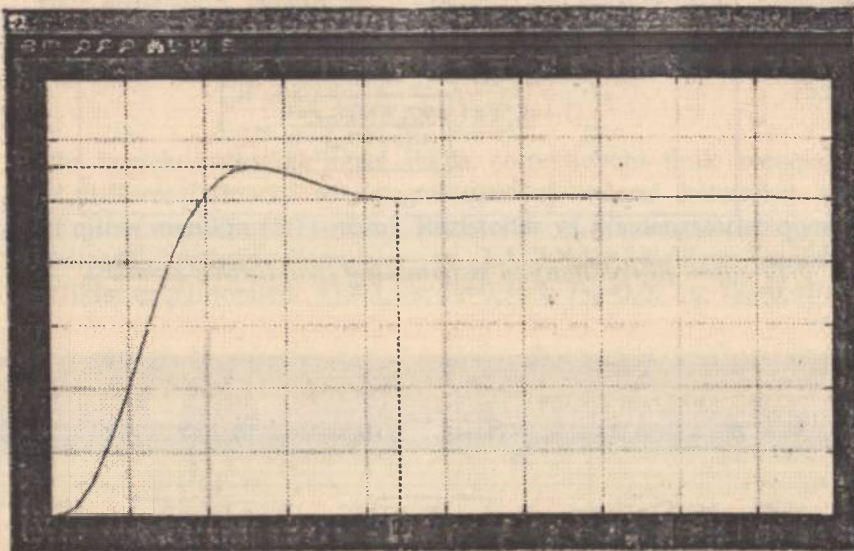


5.13-rasm. MatLAB dasturida korrektlangan sistemaning strukturaviy sxemasi.

O'tkinchi jarayonni EHMda hisoblash.

O'tkinchi jarayonni har xil usullar yordamida hisoblash mumkin. Kurs ishida korrektlangan sistema o'tkinchi jarayonini EHMda hisoblash uchun sistemani MatLAB amaliy dasturi orqali ifodalaymiz [29-33]. Strukturaga qiymatlarni kiritib (5.13-rasm), o'tkinchi jaryon $h(t)$ xarakteristikasini olamiz.

O'tkinchi jarayon grafigi 5.14-rasmda ko'rsatilgan.



5.14-rasm. Korrektlangan sistemaning birlik pog'onali kirish ta'siridagi o'tkinchi jarayoni grafigi.

Grafikdan o'ta rostlash qiymatini va o'tkinchi jarayon vaqti $t_0=0,43$ s ni topamiz.

$$\delta = \frac{h_{max} - h_0}{h_0} \cdot 100\% = \frac{1,1 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 10\%$$

Korrektlangan sistemaning bu qiymatlari loyihalalanayotgan sistemaga qo'yilgan talablarni qanoatlantiradi. Aks holda zaruriy sistema LACHXi qaytadan qurilib, yangi korrektlovchi qurilma topilishi lozim.

5.6. Korreksiyalash usullarini qiyosiy baholash

Ketma-ket korreksiyalashning afzalligi uni amalga oshirishdagi soddaligi va ayniqsa KQ ni RC – zanjiri ko'rinishida bo'lishidir. Ammo bunday korreksiyalashning imkoniyatlari nisbatan katta emas: bu usul odatda dastlabki tizim barqarorlikka yaqin yoki barqaror bo'lganida, ammo o'tish jarayonlarining sifati yomonligida (ortiqcha tebranishli, kichik tezkorli) qo'llaniladi. Bu hollarda faza bo'yicha ilgirilashni

beruvchi turli RC – zanjirlar (differensiallovchi bo'g'inlar) keng qo'llaniladi. Ammo qator hollarda ular yuqori chastotali xalaqitlarning ta'sirini ta'kidlaydi. Undan tashqari, dastlabki tizim xarakteristikalarining beqarorligida ketma-ket korreksiyalash samarasiz.

Manfiy teskari bog'lanish orqali korreksiyalash, aksincha, tizim xarakteristikalarining dastlabki tizimdagi qamrab olingan qismi xarakteristikalarining barqarorligiga bog'liqligini kamaytiradi. Bu usulning kamchiligi sifatida KQ larni amalga oshirishdagi nisbatan murakkablikni ko'rsatish mumkin. Bunday korreksiyaning amalga oshirish uchun katta datchiklar zarur. Bunday datchiklar qo'pol va qimmat bo'ladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. ABTni sintezlash deganda nimani tushunasiz?
2. Sintezlash masalasiga nisbatan qanday fikrlar mavjud?
3. Korreksiyalangan tizim LChXsi nimaga asosan quriladi?
4. Texnik topshiriqda tizimga qanday shartlar qo'yiladi?
5. Texnik topshiriq bo'yicha LChX nechta sohaga ajratiladi?
6. Zaruriy LFChXsi qanday quriladi?
7. LChXda kesishish chastotasi qanday hisoblanadi?
8. LChXlar asosida korrektlovchi qurilma qanday quriladi?
9. ABT korreksiyasining ketma-ket sxemasini tushuntiring?
10. Teskari bog'lanish yordamida korreksiyalash qanday amalga oshiriladi?

Test savollari

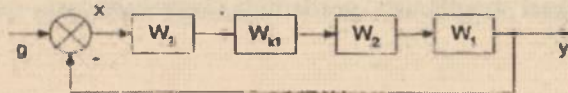
1. Korrektlovchi qurilma avtomatik rostdash tizimiga turli tarzda kiritilishi mumkin. Korrektlovchi qurilmani tizimga ketma-ket ulananganda qanday qurilma deb ataladi?

- A) Ketma-ket korrektlovchi.
- B) Parallel korrektlovchi.
- C) Ketma-ket va parallel korrektlovchi.
- D) Aralash korrektlovchi.

2. Korrektlovchi qurilma avtomatik rostdash tizimiga turli tarzda kiritilishi mumkin. Korrektlovchi qurilmani tizimga parallel ulan-ganda qanday qurilma deb ataladi?

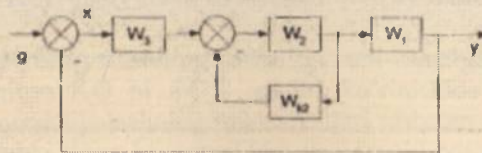
- A) Ketma-ket korrektlovchi.
- B) Parallel korrektlovchi.
- C) Ketma-ket va parallel korrektlovchi.
- D) Aralash korrektlovchi.

3. Quyidagi rasmda korrektlovchi qurilma avtomatik rostdash tizimiga qanday tarzda kiritilgan?



- A) Ketma-ket.
- B) Parallel.
- C) Ketma-ket va parallel.
- D) Aralash.

4. Quyidagi rasmda korrektlovchi qurilma avtomatik rostdash tizimiga qanday tarzda kiritilgan?



- A) Ketma-ket.
- B) Parallel.
- C) Ketma-ket va parallel.
- D) Aralash.

5. Korrektlovchi qurilma avtomatik rostdash tizimiga parallel kiritilganda ushbu qism qanday nomlanadi?

- A) O'rab olingan.
- B) Zaruriy.
- C) Berilgan.
- D) Kesishgan.

6. Chiziqli ARTni sintez qilishda zaruriy LACHXni qurishdan asosiy maqsad nima?

- A) Amplituda va faza bo'yicha zaxiralarni aniqlash.
- B) O'tish jarayoni vaqtini aniqlash.
- C) O'tarostlashni aniqlash.
- D) Xatolik koeffitsiyentini aniqlash.

7. Ochiq tizimning zaruriy logarifmik xarakteristikalari loyihalayotgan tizimga quyilgan qanday talablar orqali quriladi?

- A) Kerakli kuchaytirish koeffitsiyenti, tizimning astatizm darajasi, o'tkinchi jarayon vaqti va o'tarostlash qiymati.
- B) Kerakli kuchaytirish koeffitsiyenti, tizimning astatizm darajasi.
- C) O'tkinchi jarayon vaqti va o'tarostlash qiymati.
- D) Kerakli kuchaytirish koeffitsiyenti va o'tarostlash qiymati.

8. Ochiq tizimning zaruriy logarifmik xarakteristikalari loyihalayotganda LACHXning past chastotali qismi nimalar orqali aniqlanadi?

- A) Ochiq tizimning kuchaytirish koeffitsiyenti va astatizm darajasi.
- B) Ochiq tizimning o'tkinchi jarayon vaqti va o'tarostlash qiymati.
- C) Ochiq tizimning kuchaytirish koeffitsiyenti va o'tarostlash qiymati.
- D) Ochiq tizimning astatizm darajasi va o'tarostlash qiymati.

9. Zaruriy tizimning LACHXsi qurilayotganda kesishish chastotasi qanday aniqlanadi?

- A) O'tkinchi jarayon vaqti va o'tarostlash qiymati.
- B) Kuchaytirish koeffitsiyenti va o'tarostlash qiymati.
- C) Astatizm darajasi va o'tarostlash qiymati.
- D) Kuchaytirish koeffitsiyenti va astatizm darajasi.

10. Zaruriy LAFCHXni qurish tartibi to'g'ri keltirilgan javobni aniqlang.

- A) Qo'yilgan talablar ($K_s, \delta, t_o, L_{bn}(\omega)$): $L_s \rightarrow W, (p) \rightarrow \varphi_s(\omega)$
 $\rightarrow \Delta L, \Delta \varphi \rightarrow$ sifatini baholash.

B) Qo'yilgan talablar ($K, \delta, t_0, L_{bn}(\omega)$): $\rightarrow W, (p) \rightarrow \varphi, (\omega)$
 $\rightarrow \Delta L, \Delta \varphi \rightarrow$ sifatini baholash.

C) Qo'yilgan talablar ($K, \delta, t_0, L_{bn}(\omega)$): $L_i \rightarrow \Delta L, \Delta \varphi \rightarrow$ sifatini baholash.

D) Qo'yilgan talablar ($K, \delta, t_0, L_{bn}(\omega)$): $L_i \rightarrow W, (p) \rightarrow \varphi, (\omega) \rightarrow$ sifatini baholash.

11. Parallel ulangan korrektlovchi qurilma LACHSini topish ifodasi to'g'ri keltirilgan javobni aniqlang.

A) $L_{\mu}(\omega) = L_{\mu}(\omega) - L_i(\omega) - L_{s_0}(\omega).$

B) $L_{\mu}(\omega) = L_{\mu}(\omega) - L_i(\omega) + L_{s_0}(\omega).$

C) $L_{\mu}(\omega) = L_{\mu}(\omega) + L_i(\omega) + L_{s_0}(\omega).$

D) $L_{\mu}(\omega) = L_{\mu}(\omega) + L_i(\omega) - L_{s_0}(\omega).$

VI BOB. NOCHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLAR

Tayanch so'zlar va iboralar: nochiziqli avtomatik tizim, nochiziqli element, avtotebranish, statik xarakteristika, fazaviy fazo usuli, fazoviy trayektoriyalar, fazoviy portret, Lyapunov usuli, mutlaq turg'unlik, garmonik balans usuli, Popov mezon.

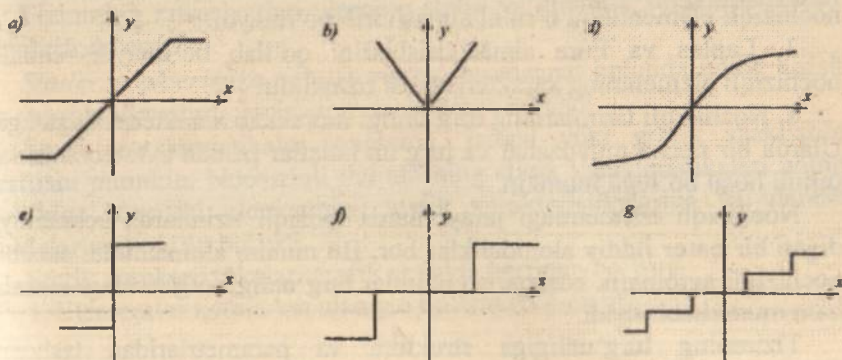
6.1. Nochiziqli tizimlarning xususiyatlari

Real tizimlarning elementlari o'zining konstruksiyasiga nisbatan nochiziqlidir va ularning statik xarakteristikalari kirish signallarining chegaralangan qiymatlaridagina chiziqli xarakterga egadir.

Nochiziqlilikning hosil bo'lish sabablariga quyidagilar kiradi: to'yinish (nasisheniya); quriq sirpanish; qismlar orasidagi bo'shliqlar; sezmaslik zonalarining mavjudligi; turli xil lyuftlar va hokazo.

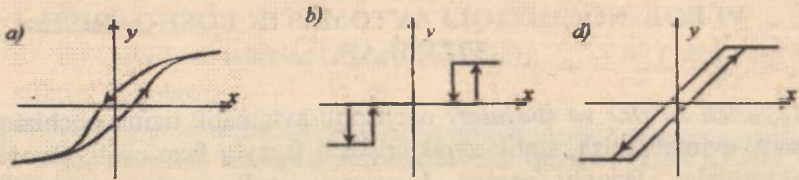
Nochiziqli avtomatik tizimlar deb tarkibida oddiy differensial tenglamalar bilan yoziluvchi zvenolardan tashqari hech bo'lmaganda bitta nochiziqli xarakteristikaga ega bo'lgan zvenoli tizimlarga aytiladi.

Tizimlarda uchraydigan nochiziqlilar chiziqlantirish mumkin bo'lgan va mumkin bo'lmaganlarga bo'linadi. Shunindek, nochiziqlilar tekis xarakteristikali (uzluksiz) (6.1-rasm,d) va uzlukliga (6.1-rasm,e,f,g) ajratish mumkin.



6.1-rasm. Nochiziqli elementlarning xarakteristikalari.

Nochiziqlilar shunindek, bir qiymatli (6.1-rasm) va ko'p qiymat-
lilarga (6.2-rasm) bo'linishi mumkin.



6.2-rasm. Ko'p qiymatli nochiziqli elementlarning
xarakteristikalari.

Nochiziqli tizimlar asosan ikkiga bo'linadi:

- 1) Statik xarakteristikalar ko'rinishidagi nochiziqlilik.
- 2) Differensial tenglamalar orqali ifodalangan nochiziqlilik.

Nochiziqli tizimga tabiatan xos bo'lishi mumkin va ko'p hollarda u tizimning xarakteristikasini yomonlashtiradi. Bunday hollarda nochiziqlikning ta'sirini kamaytiriladi. Shu bilan bir qatorda tizimning tarkibiga unga zaruriy xususiyatlarni berish uchun sun'iy ravishda nochiziqlilar kiritiladi.

Nochiziqli avtomatik tizimlar quyidagi xususiyatlarga ega [6,16,19,26]:

1. Nochiziqli tizimlarda superpozitsiya usulini qo'llash mumkin emas, chunki nochiziqli elementning parametrlari kirish signallarini qiymatiga bog'liqdir.

2. Komutativlik prinsipini qo'llash mumkin emas, ya'ni chiziqli va nochiziqli elementlarni o'rnini almashtirib bo'lmaydi.

3. Laplas va Fure almashtirishlarini qo'llab bo'lmaydi, chunki nochiziqli elementning xarakteristikasi uzluqlikdir.

4. Nochiziqli tizimlarning turg'unligi murakkab xarakteristikaga ega. Ularda bir necha muvozanat va turg'un holatlar hamda avtotebranishlar rejimi hosil bo'lishi mumkin.

Nochiziqli tizimlardagi jarayonlarda chiziqli tizimlarda uchramaydigan bir qator jiddiy alohidaliklar bor. Bu muhim alohidaliklar sababli nochiziqli avtomatik boshqarish tizimlar turg'unligi to'g'risidagi masala ham murakkablashadi.

Tizimning turg'unligiga struktura va parametrlaridan tashqari boshlang'ich shartlar ham katta ta'sir ko'rsatadi. Barqaror jarayonlar-

ning yangi ko'rinishi – avtotebranishlar bo'lishi mumkin. Avtotebranish bu so'nmas tebranish. Tebranma tizimga tashqi qarshilik kuchi ta'sir etsa, tebranish so'nadi, ya'ni uning tebranish amplitudasi (energiyasi) vaqt o'tishi bilan kamayadi. Tebranishni so'ndirmaslik uchun tebranma tizimni energiya bilan ta'minlab turiladi. Bunday tizim *avtotebranma* tizim deyiladi. Avtotebranish nazariyasi A.A.Andropov va boshqa olimlar tomonidan ishlab chiqilgan. Avtotebranishga quyidagilar misol bo'la oladi: mayatnikning o'zgarmas tebranishi, spiral prujina energiyasi hisobiga yoki ko'tarilgan yuk energiyasi hisobiga ishlaydigan soatlar, akkumulator batareyasining energiyasi hisobiga ishlaydigan radiouzatgich, elektr qo'ng'iroq, pnevmatik bolg'a, generator lampadagi elektr tebranishlar va boshqalar.

Umumiy holda nochiziqli tizimlarda chiziqli tizimlardagidek turg'unlik sohasi yoki noturg'unlik sohasi ikki xil ko'rinishda emas, balki nisbatan ko'proq:

1) Kichik qiymatlardagi turg'unlik. Bunda kirish signali juda kichik o'zgarganda tizim turg'un qoladi.

2) Katta qiymatlardagi turg'unlik. Bunda kirish signali katta, lekin chegaralangan qiymatlaridagi turg'unligiga aytiladi.

3) To'la turg'unlik. Bunda kirish signalining qiymati cheksiz katta bo'lishi mumkin.

Nochiziqli tizimlarning turg'unligi uning strukturasi, parametrlariga, o'zgaruvchilarining boshlang'ich holatining qiymatiga va kirish signaliga bog'liq bo'ladi.

6.2. Nochiziqli tizimlarning statik xarakteristikalarini

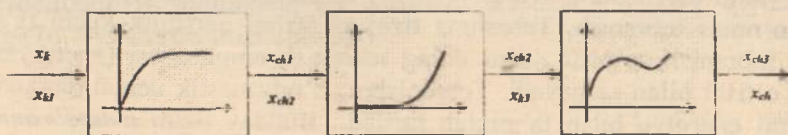
Tizimning xususiyatlari ularning statik va dinamik xarakteristikalarini orqali ifodalanadi.

Statik xarakteristika deb tizimning muvozanat holatida uning kirish va chiqish signallari orasidagi munosabatga aytiladi.

Statik xarakteristikalar tenglama, jadval yoki grafik shakllarda berilishi mumkin. Nochiziqli tizimlarning statik xarakteristikalarini uning tarkibiga kiruvchi elementning statik xarakteristikalariga va ulanish qoidalariga bog'liq bo'ladi.

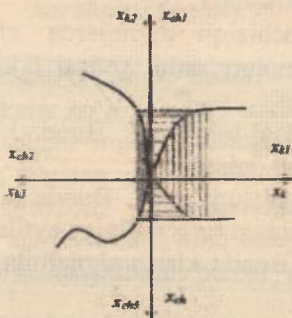
Statik xarakteristikalarini grafik shaklda berilgan bo'lsin.

1. Elementlar ketma-ket ulangan bo'lsin (6.3-rasm).



6.3-rasm. Elementlarning statik xarakteristikalarini ketma-ket ulanishi.

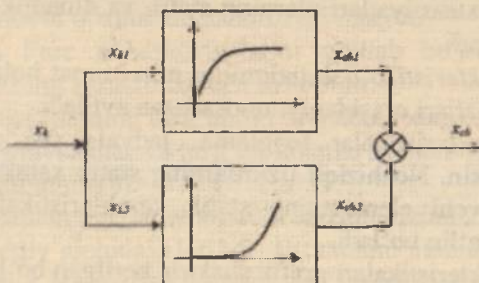
Tizimning statik xarakteristikasini topish uchun to'g'ri chiziqli koordinatalar tizimidan foydalanamiz (6.4-rasm):



6.4-rasm. Statik xarakteristika.

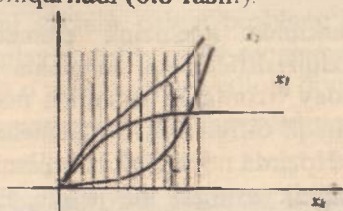
Agar 2 ta statik xarakteristika ketma-ket berilgan bo'lsa, $K=1$ ya'ni uchinchi chorakdan 45° li burchak ostida o'tkazib yuboriladi.

2. Tizimning elementlari parallel ulangan bo'lsin (6.5-rasm).



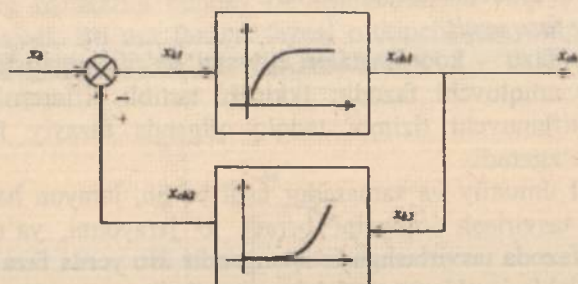
6.5-rasm. Elementlarning statik xarakteristikalarini parallel ulanishi.

Tizimning statik xarakteristikasini topish uchun grafikni qo'shish orqali umumiy grafik chiqariladi (6.6-rasm).



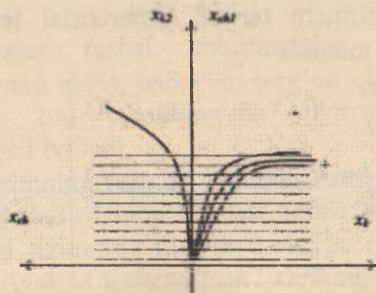
6.6-rasm. Statik xarakteristika.

3. Tizimning elementlari teskari aloqa orqali ulangan bo'lsa



6.7-rasm. Elementlarning statik xarakteristikalarini teskari aloqa orqali ulanishi.

Tizimning statik xarakteristikasini topish uchun grafikni qo'shish orqali umumiy grafik chiqariladi (6.8-rasm).



6.8-rasm. Statik xarakteristika.

6.3. Fazaviy fazo usuli

Tizimlarning tarkibida nochiziqli elementning bo'lishi uning dinamikasini nochiziqli differensial tenglama orqali yozilishiga olib keladi. Bu esa bunday tizimlarni tekshirish masalasini murakkablashtiradi. Chunki nochiziqli differensial tenglamalarni yechishning yagona usuli mavjud emas. Hozirda nochiziqli tizimlarni tekshirishning turli xil analitik va grafoanalitik usullari mavjuddir. Eng ko'p qo'llanilayotganlari quyidagilar [11,23]:

- fazaviy fazo usuli;
- garmonik chiziqantirish usuli;
- chastotaviy usullar;
- raqamli modellashtirish usullari.

Fazaviy fazo usuli.

Fazaviy fazo – koordinatalari qiymati ko'rilayotgan tizim holatini to'la-to'kis aniqlovchi fazodir. Ikkinchi tartibli differensial tenglama orqali tavsiflanuvchi tizimni tadqiq qilganda fazaviy fazo fazaviy tekislikka o'zgaradi.

Bu usul umumiy va samarador usul bo'lib, jarayon haqida yaqqol geometrik tasvirlash imkonini beradi. U jarayonni, ya'ni tizimning harakatini fazoda tasvirlashga asoslangandir. Bu yerda faza jarayonning ayrim bosqichlari yoki qismlari deb tushuniladi.

Umumiy holda nochiziqli tizimning dinamikasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n; \frac{dx_1}{dt}, \frac{d^2x_1}{dt^2}, \dots, \frac{d^n x_n}{dt^n}; g, f) = 0. \quad (6.1)$$

(6.1) tenglamani birinchi tartibli differensial tenglamalar tizimi shaklida tasvirlab olish mumkin

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \Phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n, g, f) \\ \frac{dx_2}{dt} &= \Phi_2(x_1, x_2, \dots, x_n, g, f) \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dx_n}{dt} &= \Phi_n(x_1, x_2, \dots, x_n, g, f) \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

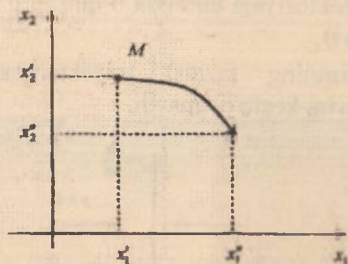
bu yerda x_1, x_2, \dots, x_n – vaqt bo'yicha o'zgaruvchi, ya'ni izlanayotgan vaqt funksiyalaridir (x_1 rostlanuvchi kattalik deyishimiz mumkin va x_2 ,

..., x_n yordamchi o'zgaruvchilar), g va f – boshqariluvchi (topshiriq beruvchi) va tashqi ta'sir (qo'zg'atuvchi) ta'sirlar.

Tenglamalar tizimini yechish uchun boshlang'ich shartlar ma'lum bo'lishi kerak. Faraz qilaylik differensial tenglamaning tartibi $n=2$ ga teng bo'lsin. $t=t_0$ vaqtda o'zgaruvchilar ma'lum qiymatlarga ega bo'lsin: $x_1 = x'_1$, $x_2 = x'_2$. Bu qiymatlarni to'g'ri burchakli koordinatalar tizimida belgilab olishimiz mumkin (6.9-rasm). $t=t_1$ vaqtda o'zgaruvchilar ma'lum qiymatga ega bo'ladi. Bu yerda M nuqta *tasvirlovchi nuqta* deyiladi.

Tasvirlovchi nuqta vaqt davomida harakatda bo'ladi. Qaralayotgan to'g'ri burchakli koordinatalar tizimi *fazalar fazosi* deyiladi. Tasvirlovchi nuqta qoldirgan iz esa *fazalar trayektoriyasi* deyiladi.

Tizimning harakatini bunday tasvirlaganimizda vaqt o'zgaruvchisi ishtirok etmaydi. Bu esa fazalar fazosi o'tkinchi jarayonini miqdorini emas, balki sifatinigina aniqlash imkonini beradi.



6.9-rasm. M tasvirlovchi nuqtani faza tekisligidagi trayektoriyasi.

Odatda fazalar fazosi koordinatalar o'qlariga rostlanuvchi kattalikning qiymati emas, balki uni turg'un qiymatdan farqi qo'yiladi. Shuning uchun turli boshlang'ich qiymatlarda turlicha fazalar trayektoriyasi hosil bo'ladi.

Ma'lumki tizimning turg'un holatida rostlanuvchi kattalik berilgan qiymatga teng bo'ladi. Uning hosilasi ham «0»ga teng bo'ladi. Bu esa koordinata boshi tizimning turg'un holatiga mos kelishini ko'rsatadi. Fazalar trayektoriyasini qurish uchun tizimning dinamikasini ifodalovchi tenglamadan o'zgaruvchi vaqt olib tashlanadi, ya'ni

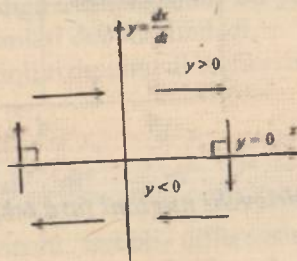
$$\begin{cases} \frac{dy}{dt} = x, \\ \frac{dx}{dt} = \Phi(x, y). \end{cases} \quad (6.3)$$

(6.3) tenglamadan quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\Phi(x, y)}{x} \quad (6.4)$$

(6.4) tenglama fazalar trayektoriyasining tenglamasi deyiladi. Fazalar trayektoriyasini qurish vaqtida quyidagi qoidalarga amal qilish kerak:

1. Yuqori yarim tekislikda fazalar trayektoriyasi chapdan o'ngga yo'naltirilgan bo'ladi.
2. Pastki yarim tekislikda o'ngdan chapga yo'nalgan bo'ladi. Chunki $y < 0$.
3. Fazalar trayektoriyasi absissa o'qini to'g'ri burchak ostida kesib o'tadi, chunki $y = 0$.
4. Bitta tizimning fazalar trayektoriyasi turli boshlang'ich qiyinatlarda bir-birini kesib o'tmaydi.



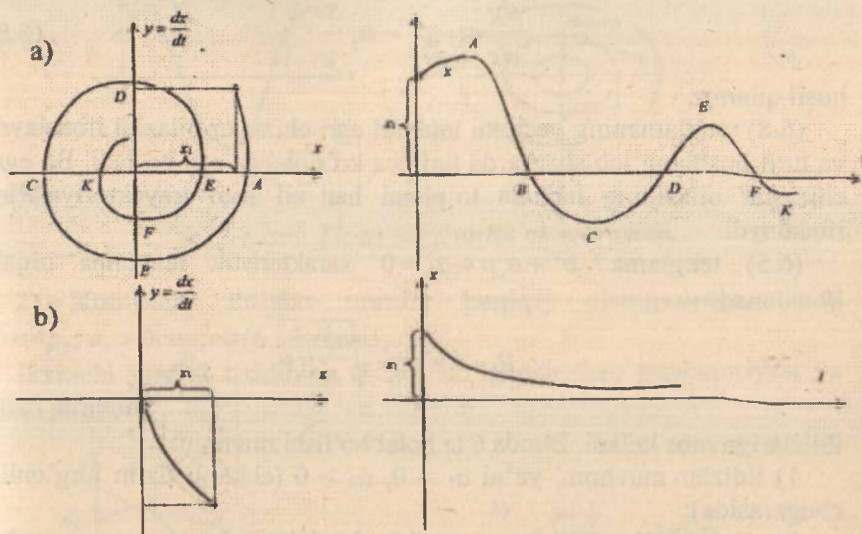
6.10-rasm. Faza tekisligi.

Fazaviy portret hamda vaqt funksiyasida koordinatalar o'zgarishini aks ettiruvchi nuqталarга misollar 6.11-rasmда keltirilgan.

Ushbu usulning *avzalligi* turli boshlang'ich shartlardagi o'tkinchi jarayonning shaklini yagona fazalar portretida ifodalash mumkin. *Kamchiligi* esa 3 va undan ortiq tartibli tizimni tadqiq qilish murakkabdir.

Bu usul yordamida quyidagi masalalarni yechish mumkin:

1. Tizimning mumkin bo'lgan ishlash rejimlarini aniqlash;
2. Tizimning turg'unligi haqida va uning chegaraviy qiymatlari to'g'risida xulosa chiqarish;
3. Avtotebranish va uning parametrlarini aniqlash;
4. Boshlang'ich shartlar sohalarini aniqlash;
5. Tizimning sifat ko'rsatkichlarini aniqlash, ya'ni tebranishlar soni, maksimal og'ish va h.k.



6.11-rasm. Faza tekisligi.

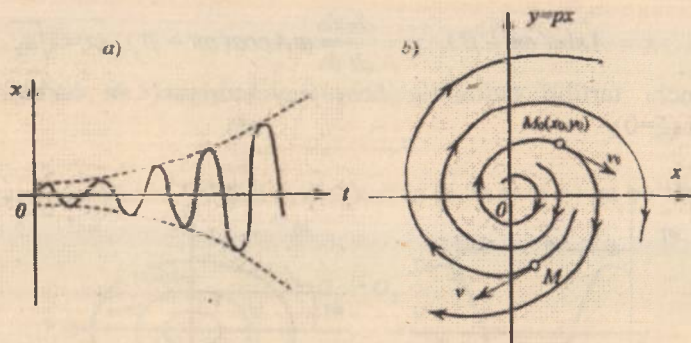
Shunday qilib, fazaviy fazo dinamik jarayonlarning geometrik shaklini tasvirlaydi. Bu geometrik tasvirlashda faqat koordinatalar qatnashadi, vaqt esa qatnashmaydi.

6.4. Oddiy chiziqli tizim uchun fazoviy trayektoriyalar

Ba'zi bir tizimning o'tish jarayoni ikkinchi tartibli tenglama bilan ifodalansin [11,23]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_2 x = 0. \quad (6.5)$$

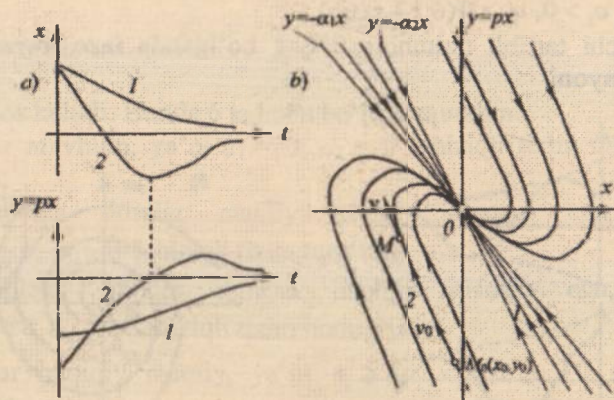
Bu tenglamani birinchi tartibli differensial tenglamalar orqali ifodalash mumkin



6.14-rasm. Tizim noturg'un.

4) Ildizlar haqiqiy manfiy, ya'ni $a_1^2 > 4a_2$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$ (chiziqli tizim turg'un) (6.15-rasm).

Ikkinchi tartibli tizimning $\xi > 0$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni



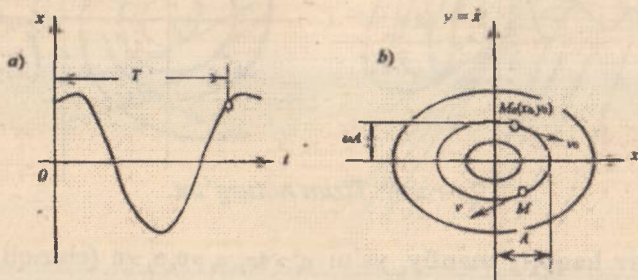
6.15-rasm. Tizim turg'un.

5) Ildizlar haqiqiy musbat, ya'ni $a_1^2 > 4a_2$, $a_1 < 0$, $a_2 > 0$ (chiziqli tizim noturg'un) (6.16-rasm).

Ikkinchi tartibli tizimning $\xi < -1$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni

$$x = A \sin(\omega t + \beta), \quad y = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos(\omega t + \beta), \quad \omega = \sqrt{a_2}$$

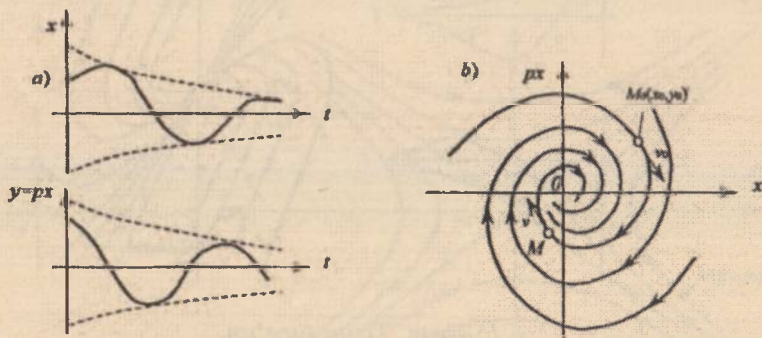
Ikkinchi tartibli tizimning fazo trayektoriyasi va undagi o'tish jarayoni ($\xi=0$).



6.12-rasm. Tizim turg'unlik chegarasida.

2) Kompleks ildizlar manfiy haqiqiy qismga ega, ya'ni $a_1^2 < 4a_2$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$ (6.13-rasm).

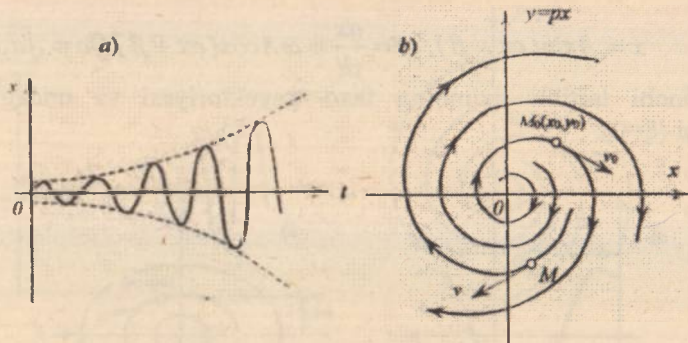
Ikkinchi tartibli tizimning $0 < \xi < 1$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni



6.13-rasm. Tizim turg'un.

3) Kompleks ildizlar musbat haqiqiy qismga ega, ya'ni $a_1^2 < 4a_2$, $a_1 < 0$, $a_2 > 0$ (tizim noturg'un) (6.14-rasm).

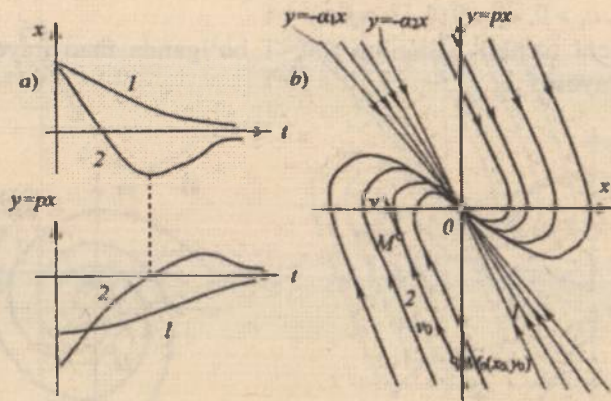
Ikkinchi tartibli tizimning $-1 < \xi < 0$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni



6.14-rasm. Tizim noturg'un.

4) Ildizlar haqiqiy manfiy, ya'ni $a_1^2 > 4a_2$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$ (chiziqli tizim turg'un) (6.15-rasm).

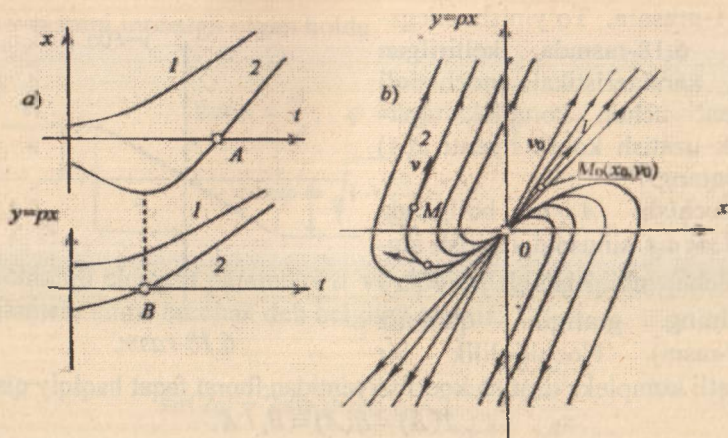
Ikkinchi tartibli tizimning $\xi > 0$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni



6.15-rasm. Tizim turg'un.

5) Ildizlar haqiqiy musbat, ya'ni $a_1^2 > 4a_2$, $a_1 < 0$, $a_2 > 0$ (chiziqli tizim noturg'un) (6.16-rasm).

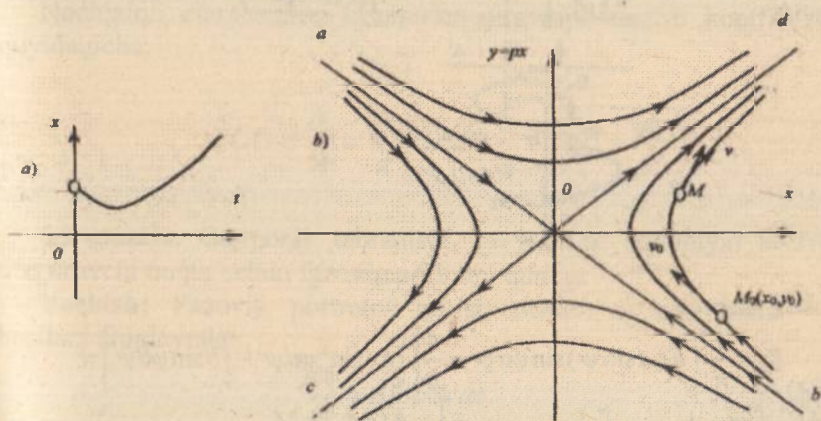
Ikkinchi tartibli tizimning $\xi < -1$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni



6.16-rasm. Tizim noturg'un.

6) Ildizlar haqiqiy va $a_2 < 0$ da har xil ishoraga ega (chiziqli tizim noturg'un).

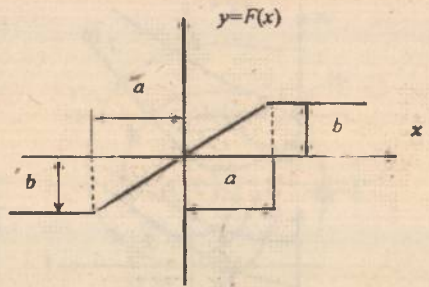
Ikkinchi tartibli tizimning $\xi > 1$ bo'lganda fazo trayektoriyasi va o'tish jarayoni



6.17-rasm. Tizim noturg'un.

6.1-masala. To'yinish chegaralari 6.18-rasmda keltirilgan statik xarakteristikali nochiziqli element uchun kompleks garmonik uzatish koeffitsiyenti $J(A)$ ni aniqlang.

Yechish: $A > a$, bo'lganda $x = A \sin \omega_1 t$ sinusoidal kirish signali uchun chiqishdagi $y = F(x)$ signalning grafisini quramiz (6.19-rasm). Nochiliqlilik bir

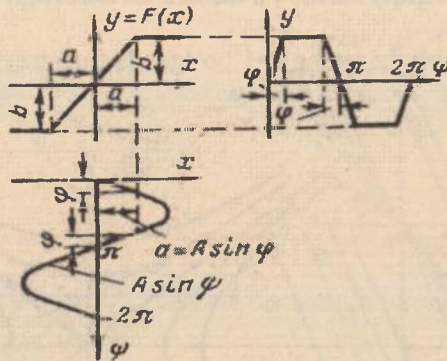


6.18-rasm.

qiymatli kompleks uzatish koeffitsiyentidan iborat faqat haqiqiy qism

$$J(A) = q(A) = B_1 / A.$$

Fure qatori va 6.19-rasmdagi tavsifdan koeffitsiyent uchun formulalardan foydalanib, nochiziqli element chiqishidagi birinchi garmonika sinus tashkil etuvchisidan B_1 amplitudani aniqlaymiz



6.19-rasm.

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi) \sin \psi d\psi = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} k A \sin^2 \psi d\psi + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} b \sin \psi d\psi \right] =$$

$$= \frac{4}{\pi} \left[k A \left(\frac{\psi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\psi \right) - b \cos \psi \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} = \frac{4}{\pi} \left(\frac{kA}{2} \varphi - \frac{kA}{4} \sin 2\varphi + b \cos \varphi \right), \quad (6.9)$$

bu yerda

$$k = \frac{b}{a}; \quad \psi = \omega_1 t. \quad (6.10)$$

6.19-rasmni inobatga olgan holda

$$\begin{aligned}\sin \varphi &= \frac{a}{A}; \quad \varphi = \arcsin \left(\frac{a}{A} \right); \\ \cos \varphi &= \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}}.\end{aligned}\quad (6.11)$$

Nochiziqli element parametri a va chiqishdagi signal amplitudasi A ni ikkilamchi sinus burchak deb belgilab olamiz:

$$\sin 2\varphi = 2 \sin \varphi \cos \varphi = 2 \frac{a}{A} \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}}.\quad (6.12)$$

(6.10)-(6.12) ifodalardan foydalanib, (6.9) tenglikni quyidagicha yozish mumkin:

$$B_1 = \frac{4}{\pi} \left(\frac{kA}{2} \arcsin \frac{a}{A} - \frac{ka}{2} \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}} + ka \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}} \right) = \frac{2k}{\pi} \left(A \arcsin \frac{a}{A} + a \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}} \right).$$

Nochiziqli elementning kompleks garmonik uzatish koeffitsiyenti quyidagicha:

$$J(A) = \frac{B_1}{A} = \frac{2k}{\pi} \left(\arcsin \frac{a}{A} + \frac{a}{A} \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}} \right).$$

6.2-masala. Garmonik tebranishi $x = A \sin \omega t$ qonuniyat bo'yicha o'zgaruvchi nuqta uchun fazoviy portretni quring.

Yechish: Fazoviy portretni qurish uchun x koordinatalaridan hosilani aniqlaymiz

$$\frac{dx}{dt} = A \omega \cos \omega t.\quad (6.13)$$

Fazoviy trayektoriya tenglamasini olish uchun x va $\frac{dx}{dt}$ tenglamadan

t vaqtini olib tashlaymiz. $\frac{dx}{dt}$ ni y bilan belgilab, (6.13) tenglamani kvadratga oshiramiz

$$y^2 = A^2 \omega^2 \cos^2 \omega t. \quad (6.14)$$

Xuddi shunaqa x tenglamani kvadratga oshirib, ω^2 ga ko'paytiramiz

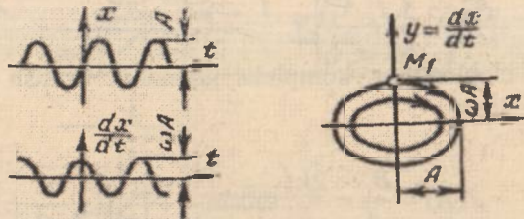
$$\omega^2 x^2 = A^2 \omega^2 \sin^2 \omega t. \quad (6.15)$$

(6.14) va (6.15) tenglamaning o'ng va chap tomonlarini qo'shib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$y^2 + \omega^2 x^2 = A^2 \omega^2 \text{ yoki } \frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{A^2 \omega^2} = 1. \quad (6.16)$$

(6.16) tenglama fazoviy trayektoriyani aks ettiruvchi tenglama hisoblanadi. 6.20-rasmda vaqt funksiyasida x koordinatalar o'zgarishini aks ettiruvchi nuqtalar va $y = \frac{dx}{dt}$ tezlik hamda fazoviy portret keltirilgan.

Fazoviy portret o'zida ellipislar oilasini aks ettiradi.



6.20-rasm.

6.5. Lyapunov usuli asosida nochiziqli tizimlarning turg'unligi tablili

Faraz qilamiz, nochiziqli tizimning hamma o'zgaruvchilari uchun o'tish jarayoni chetlanishlari ularning barqaror jarayonlarining qiymatlariga nisbatan differensial tenglamalari berilgan. U holda n - tartibli chiziqli tizim uchun quyidagi tenglamalar tizimini yozishimiz mumkin [4,10,11]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= X_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \frac{dx_2}{dt} &= X_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dx_n}{dt} &= X_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \right\} \quad (6.17)$$

X_1, X_2, \dots, X_n – nochiziqning har qanday ko‘rinishini o‘zida mujassamlashtirgan va har doim quyidagi

$$X_1, X_2, \dots, X_n = 0$$

shartlarni qanoatlantiradigan ixtiyoriy funksiyalar.

Tahlil qilish uchun quyidagi tushunchani kiritamiz, bu yerda va keyinchalik ko‘p o‘zgaruvchili funksiya sifatida n o‘lchovli Evklid fazosini ko‘rib chiqamiz

$$V = V(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n).$$

Evklid fazosi deb xossasi absolyut geometriya aksiomalarini va Evklidning parallel to‘g‘ri chiziqlar haqidagi (postulati) aksiomasi bilan ta’rif qilinadigan fazoga aytiladi.

Ta’rif: V – funksiya ba’zi bir sohada, agar u shu sohaning har bir nuqtalarida boshlang‘ich koordinata atrofida bir xil ishorali bo‘lib qolsa va faqat koordinata boshidan boshqa yerda nolga aylansa, uning ishorasi aniqlangan deyiladi.

Agar V – funksiya bir xil ishorani saqlab qolsa va faqat koordinata boshidagina emas, balki shu sohaning boshqa nuqtalarida ham nolga aylanishi mumkin bo‘lsa, uni doimiy ishorali deyiladi.

Agar V – funksiya berilgan sohada boshlang‘ich koordinata atrofida har xil ishoraga ega bo‘lsa, u o‘zgaruvchi ishorali deyiladi.

$n=2$ va $V = x_1^2 + x_2^2$ bo‘lsin. $x_1 = x_2 = 0$ bo‘lganda $V=0$ va har qanday x_1, x_2 - larda $V > 0$ bo‘ladi, ya’ni V ishorasi aniqlangan musbat funksiya bo‘ladi.

Shunga o‘xshab, har qanday n uchun funksiya $V = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2$ ishorasi aniqlangan musbat funksiya bo‘ladi.

$V = -(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)$ ko'rinishdagi funksiya, ishorasi aniqlangan manfiy funksiya bo'ladi.

Endi $n=3$ bo'lgan holda quyidagi funktsiyani ko'rib chiqamiz:

$$V = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2$$

Bu funksiya endi ishorasi aniqlangan emas, balki doimiy ishorali bo'ladi. Chunki u x_1, x_2, x_3 - larning har qanday qiymatlarida musbat bo'lib qoladi, lekin nafaqat $x_1, x_2, x_3 = 0$ bo'lganda 0 ga aylanib qolmay, balki $x_1, x_2 = 0$ bo'lgan holda x_3 ning har qanday qiymatlarida ham doimiy ishorali musbat bo'ladi.

$V=x+x$ ko'rinishdagi funktsiyani ko'rib chiqamiz. Bu funktsiyaning ishorasi o'zgaruvchidir, chunki $x=-x$ to'g'ri chiziqning o'ng tekisligida hamma nuqtalar uchun u musbat va shu to'g'ri chiziqning chap tekisligidagi hamma nuqtalar uchun manfiydir.

Lyapunov funktsiyasi va uning vaqt bo'yicha hosilasi tushunchasini kiritamiz [11].

Har qanday funksiya

$$V = V(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$ bo'lganda aynan nolga aylanadigan bo'lsa va unda x_1, x_2, \dots, x_n kattaliklari tizimning o'tish o'zgaruvchilarga nisbatan olingan bo'lsa va (6.17) - tenglama bu tizim uchun quyidagicha yozilishi mumkin bo'lsa:

$X_1=x_1(t), X_2=x_2(t), \dots, X_n=x_n(t)$ uni Lyapunov funktsiyasi deyiladi.

Lyapunov funktsiyasidan vaqt bo'yicha hosila quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dt} + \dots + \frac{\partial V}{\partial x_n} \frac{dx_n}{dt}$$

bu tenglama (6.17) - tenglamadan $\frac{dx_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \dots, \frac{dx_n}{dt}$ larni qiymatini qo'yamiz:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x_1} X_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2} X_2 + \dots + \frac{\partial V}{\partial x_n} X_n$$

X_1, X_2, \dots, X_n – lardan (6.17) – tizimning o'ng qismlari bo'lib, berilgan funksiyasidan x_1, x_2, \dots, x_n – lardan chetlanishlarini ko'rsatadi.

Shunday qilib, Lyapunov funksiyasining vaqt bo'yicha hosilasi ham V – funksiyasiga o'xshab, ba'zi bir chetlanishlarning funksiyasi bo'ladi:

$$\frac{dV}{dt} = W(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Lyapunov funksiyasining hosilasiga yuqorida ko'rsatib o'tilgan ishorasi aniqlangan, doimiy ishorali va o'zgaruvchan ishorali tushunchalarni qo'llash mumkin.

Nochiziqli tizimlarning turg'unligi to'g'risidagi Lyapunov teoremasini isbotsiz keltiramiz.

Teorema: Agar (6.17) – tenglama shaklida berilgan n – chi tartibli tizimlarda shunday ishorasi aniqlangan $V(x_1, x_2, \dots, x_n)$ Lyapunov funksiyasini tanlab olish mumkin bo'lsa, uning vaqt bo'yicha hosilasi $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ham ishorasi aniqlangan bo'ladi, lekin $V(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – da ishorasi teskari ishorali bo'lsa, u holda bunday tizim turg'un bo'ladi.

W – funksiyaning ishorasi aniq bo'lganda tizim asimtotik turg'un bo'ladi.

Yuqoridagi teorema turg'unlikning faqat yetarli shartini berishi va nochiziqli tizim turg'unlik sohasidan tashqari bir qator alohida sohalarga ega bo'lishi mumkinligidan, nochiziqli tizimlarning nochiziqligini aniqlashda alohida zarurat kelib chiqadi.

Nochiziqli tizimlarning noturg'unligini aniqlashda Lyapunovning quyidagi teoremasidan foydalaniladi.

Agar (6.17) tenglama shaklida berilgan n -chi tartibli tenglamalar tizimining $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ hosilasi Lyapunovning biror $V(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funksiyasida ishorasi aniqlangan bo'lib, V – funksiyaning o'zi birorta soha koordinata boshiga kelib qo'shilsa, uning ishorasi hosila W ishorasi bilan bir xil bo'lib, tizim noturg'un bo'ladi.

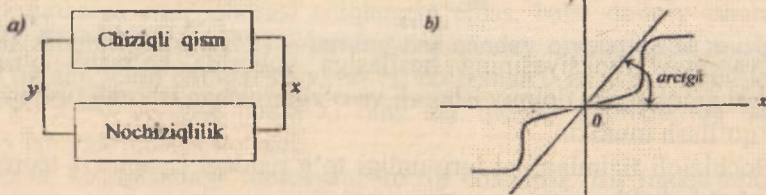
6.6. V.M.Popovning mutlaq turg'unlik mezon

Bir ma'noli nochiziqliklarni o'z ichiga olgan nochiziqli tizimlarning turg'unligini o'rganishda ko'pincha rumin olimi V.M.Popov tomonidan tadqiq qilingan turg'unlikning chastota mezonidan foydalaniladi. Birorta noziqli tizim o'zida bir ma'noli nochiziqlikka ega bo'lsin

$$y = F(x), \quad (6.18)$$

tizimning chiziqli qismi ham quyidagi tenglama bilan ifodalansin,

$$Q(p) = -R(p)y, \quad (6.19)$$



6.21-rasm.

Bu yerda $Q(p)$ va $R(p)$ quyidagi ko'phadlarga teng [11,23]:

$$Q(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n,$$

$$R(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m,$$

bu yerda $m < n$.

$y = F(x)$ nochiziqlilik ixtiyoriy ko'rinishda bo'lib, berilgan *arctg k* burchak chegarasidan chiqmasin.

Shunday qilib, nochiziqlilik quyidagi shartni qanoatlantiradi:

$$0 < F(x) < kx.$$

$Q(p) = 0$ ning hamma ildizlari manfiy haqiqiy qismli yoki ulardan tashqari ikkitadan ortiq bo'lmagan nol ildizlariga ega. Boshqacha qilib aytganda $a_n = 0$ yoki $a_n = a_{n-1} = 0$.

V.M. Popov turg'unlik mezonining ta'rifini isbotsiz keltiramiz.

Nochiziqli tizimning turg'unligini aniqlash uchun shunday chekli haqiqiy son h – ni tanlab olish kerakki, unda hamma $\omega > 0$ bo'lganda quyidagi tengsizlik bajarilsin:

$$\operatorname{Re}(1 + j\omega h)W(j\omega) + \frac{1}{k} > 0, \quad (6.20)$$

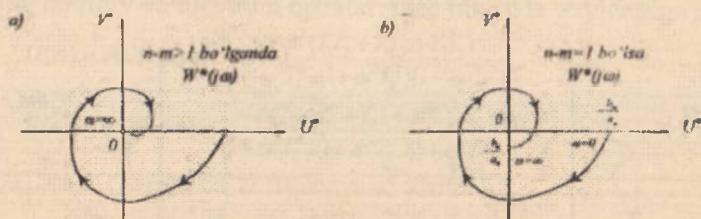
bu yerda, $W(j\omega)$ – chiziqli tizimning AFX si.

Teoremaning boshqacha ta'rifidan qulay geometrik izohlanadigan chastota xarakteristikasining ko'rinishini o'zgartirish bilan bog'liq.

O'zgaruvchan ko'rinishli chastotaviy xarakteristika $W^*(j\omega)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} U^*(\omega) &= \operatorname{Re} W^*(j\omega) = \operatorname{Re} W(j\omega), \\ V^*(\omega) &= \operatorname{Im} W^*(j\omega) = \omega T_0 \operatorname{Im} W(j\omega), \end{aligned} \right\} \quad (6.21)$$

$T_0 = 1$ sek normallovchi ko'paytiruvchi.



6.22-rasm.

Analogik $W(j\omega)$ qachonki $Q(p)$ va $R(p)$ tenglamalarda darajalar farqi $n-m > 1$ bo'lganda $W^*(j\omega)$ grafiqi 6.22,a-rasm ko'rinishga ega bo'ladi. Agarda darajalar farqi $n-m = 1$ bo'lsa, u holda $W^*(j\omega)$ grafik oxiri mavhum o'qning koordinata boshidan pastda bo'ladi (6.22,b-rasm).

(6.20) tengsizlikning chap qismini quyidagicha o'zgartiramiz:

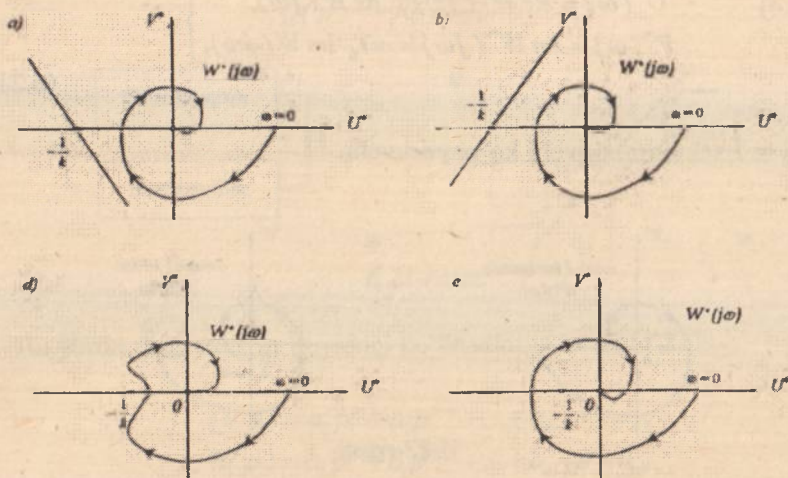
$$\operatorname{Re}(1 + j\omega h) W(j\omega) + \frac{1}{k} = \operatorname{Re} W(j\omega) - \omega h \operatorname{Im} W(j\omega) + \frac{1}{k} > 0. \quad (6.22)$$

Unda, $W^*(j\omega) = U^*(\omega) + jV^*(\omega)$ va (6.21) chi munosabatlardan foydalanib, (6.22) tengsizikni barcha $\omega \geq 0$ da o'zgartiramiz:

$$U^*(\omega) - \frac{1}{T_0} V^*(\omega) + \frac{1}{k} = U^*(\omega) - h_0 V^*(\omega) + \frac{1}{k} > 0. \quad (6.23)$$

$U^*(\omega) - h_0 V^*(\omega) + \frac{1}{k} > 0$ bo'lganda $W^*(j\omega)$ tekisligida to'g'ri chiziqni ifodalaydi. Bundan V.M.Popov teoremasining geometrik izohi kelib chiqadi: *nochizliqli tizimning turg'unligini aniqlash uchun $W^*(j\omega)$*

tekisligida shunday to'g'ri chiziqni tanlab olish kerakki, u $(-\frac{1}{k}, j0)$ nuqtasidan o'tganda $W'(j\omega)$ egri chizig'i bu chiziqning o'ng tomonida yotsin.



6.23-rasm. a va b hollarda tizim mutlaq turg'un; d va e hollarda tizim noturg'un.

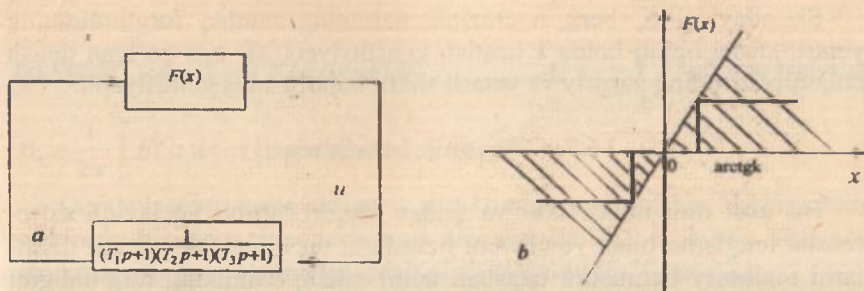
Tizimning chiziqli qismini va nochiziqli zvenoning uzatish koeffitsiyenti $k = k_{ch}k_n$ shartli ravishda nochiziqli zvenoga kiritilgan. Agar nochiziqli zveno xarakteristikasi $(0, k)$ sektorda joylashgan bo'lsa, k -ning qanday qiymatlarida tizim mutlaq turg'un bo'lishini aniqlang.

Boshlang'ich ma'lumotlar: tizim chiziqli qismining doimiy vaqtlari $T_1=0,5$ sek, $T_2=0,2$ sek $T_3=0,1$ sek.

6.3-masala. Nochiziqli avtomatik tizimning struktura sxemasi 6.25,a-rasmda keltirilgan.

Yechish: Tizim chiziqli qismining chastotali uzatish funksiyasini quyidagi ko'rinishga ega:

$$W(j\omega) = \frac{1}{(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2)(1 + j\omega T_3)} \quad (6.24)$$



6.24-rasm.

Uning haqiqiy va mavhum qismlari mos ravishda quyidagiga teng

$$U(\omega) = \operatorname{Re}W(j\omega) = \frac{1 - \omega^2(T_1T_2 + T_1T_3 + T_2T_3)}{(1 + \omega^2T_1^2)(1 + \omega^2T_2^2)(1 + \omega^2T_3^2)}, \quad (6.25)$$

$$V(\omega) = \operatorname{Im}W(j\omega) = \frac{-\omega(T_1 + T_2 + T_3) + \omega^3T_1T_2T_3}{(1 + \omega^2T_1^2)(1 + \omega^2T_2^2)(1 + \omega^2T_3^2)}. \quad (6.26)$$

$U^*(j\omega)$ va $V^*(j\omega)$ ga ba'zi funksiyalar kiritamiz:

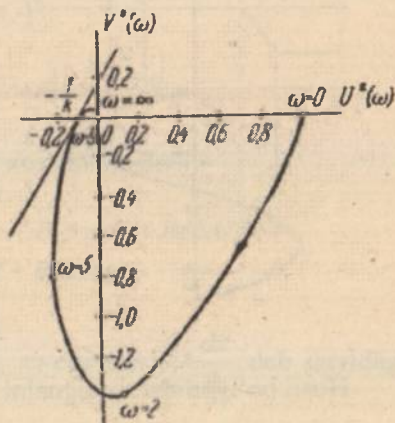
$$U^*(\omega) = \operatorname{Re}W^*(j\omega) = \frac{1 - \omega^2(T_1T_2 + T_1T_3 + T_2T_3)}{(1 + \omega^2T_1^2)(1 + \omega^2T_2^2)(1 + \omega^2T_3^2)}, \quad (6.27)$$

$$V^*(\omega) = \omega \operatorname{Im}W(j\omega) = \frac{-\omega^3(T_1 + T_2 + T_3) + (\omega^4T_1T_2T_3)}{(1 + \omega^2T_1^2)(1 + \omega^2T_2^2)(1 + \omega^2T_3^2)}. \quad (6.28)$$

(6.27) va (6.28) tengliklar bo'yicha $V^*(\omega) = f[U^*(\omega)]$ xarakteristikani quramiz (6.25-rasm)

va $\left(-\frac{1}{k}, j0\right)$ bo'yicha Popov to'g'ri chizig'ini shunday o'tkazamizki, bunda qurilgan xarakteristika bu chiziqdan o'ng tomonda yotsin. 6.25-

rasmga binoan $\frac{1}{k} \approx 0,08$. Shuning uchun tizim $0 < k < 12,5$ sektorda yotuvchi hamma nochiziqli xarakteristikalar uchun mutlaq turg'undur, shu jumladan 6.25-rasmida ko'rsatilgan rele tipli xarakteristika ham turg'un.

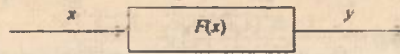


6.25-rasm..

Shunday qilib, berk nohiziqli tizimning mutlaq turg'unligining yetarli sharti ochiq holda k uzatish koeffitsiyentiga ega bo'lgan tutash chiziqli tizimning zaruriy va yetarli sharti bajarilishiga keltirilyapti.

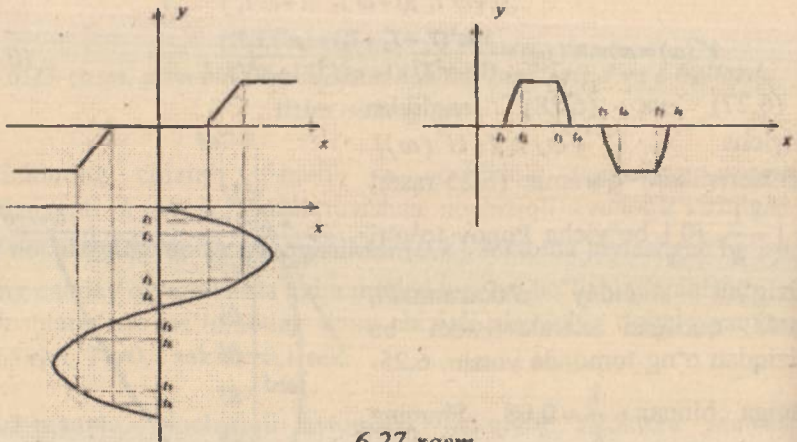
6.7. Garmonik balans usuli

Bu usul dinamikasi ikki va undan yuqori tartibli nohiziqli differensial tenglama bilan yoziluvchi tizimlarni tekshirish, nohiziqli tizimlarni majburiy harakatini taqriban tahlil qilish, tizimning turg'unligini mavjud bo'ladigan avtotebranihlarni parametrlarini aniqlash imkonini beradi [4,11,23]. Tizim tarkibida nohiziqli element bo'lsin.



6.26-rasm.

Bu elementning kirishiga sinusoidal signal berilsa, uning chiqishida davriy signal hosil bo'ladi (6.27-rasm).



6.27-rasm.

Hosil bo'lgan davriy signalni Fure qatoriga yoyamiz

$$y = F(a \sin \omega t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \sin n\omega t + B_n \cos n\omega t),$$

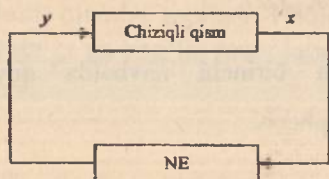
bu yerda $A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a \sin \omega t) dt;$

$$A_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a \sin \omega t) \sin \omega t dt;$$

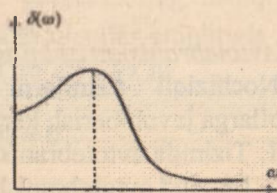
$$B_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a \sin \omega t) \cos \omega t dt.$$

Qaralayotgan tizim ixtiyoriy strukturaga ega bo'lsin. Lekin uning tarkibida bir donagina nochiziqli element bo'lsin. U holda sistemani strukturasi quydagicha tasvirlab olish mumkin (6.28-rasm).

Agarda chiziqli qismning uzatish funksiyasi maxrajining darajasi suratining darajasiga nisbatan katta bo'lsa, chiziqli qism yuqori chastotali signallarni so'ndiradi (6.29-rasm).



6.28-rasm.



6.29-rasm.

$$W(p) = \frac{(A(p))^m}{(B(p))^n}, \quad n \gg m$$

$$|W(j\omega)| \gg |W(jn\omega)|, \quad n = 2, 3, \dots$$

Chiziqli qismning bu xossasi filtrli xossasi deyiladi.

$$y = A_1 \sin \omega t + A_2 \sin \omega t + \dots + B_1 \cos \omega t + B_2 \cos \omega t + \dots$$

$$y = A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t,$$

bu yerda $\sin \omega t = \frac{x}{a}$, $\omega \cos \omega t = \frac{1}{a} \frac{dx}{dt} \Rightarrow \cos \omega t = \frac{1}{a\omega} \frac{dx}{dt}$ deb quyidagi tenglamani hosil qilamiz

$$y = \frac{A_1}{a} x + \frac{B_1}{a\omega} \frac{dx}{dt}.$$

Bu tenglama nochiziqli elementning differensial tenglamasi deyiladi.

Quyidagi belgilashni kiritib $q(a) = \frac{A}{a}$, $q'(a) = \frac{B_1}{a} px$, $p \rightarrow j\omega$

$$y = q(a)x + jq'(a)x, \quad K_N(a) = \bar{q}(a) + jq'(a).$$

Nochiziqli elementning uzatish funksiyasi deb chiqish signalining birinchi garmonikasi amplitudasini kirish signalining amplitudasi nisbatiga aytiladi. Agarda nochiziqli element bir qiymatli bo'lsa $q'(a) = 0$ bo'ladi.

Nochiziqli elementning AFXsini qurish uchun quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$Z_N(a) = \frac{1}{K_N(a)}.$$

Avtotebranishni aniqlash usullari.

Nochiziqli tizimlarni tekshirishda birinchi navbatda quyidagi savollarga javob berish kerak [8,11]:

1. Tizimda avtotebranish mavjudmi?
2. Mavjud avtotebranish turg'unmi?
3. Avtotebranishning parametrlari qanday?

Bu savollarga javob berish uchun avtotebranishni aniqlash zarur bo'ladi. Aniqlashning 2 usuli mavjud:

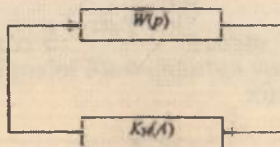
1. Analitik usul.
2. Chastotaviy usul (Goldfarb usuli).

1. Analitik usul. Ushbu usuldan foydalanishda tizimning strukturasi quyidagi ko'rinishga keltirib olinadi (6.30-rasm).

Bunda chiziqli qismning ko'rinishi quyidagiga ega

$$W(p) = \frac{A(p)}{B(p)}.$$

Berk tizimning uzatish funksiyasi topiladi



6.30-rasm.

$$W_n(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot K_N(A)}$$

Berk tizimning xarakteristik tenglamasini nolga tenglaymiz

$$1 + W(p) \cdot K_N(A) = 0,$$

$$1 + \frac{A(p)}{B(p)} [q(A) + \int q'(A)] = 0,$$

$$B(p) + A(p) [q(A) + \int q'(A)] = 0.$$

$p \rightarrow j\omega$ bilan almashtirib xarakteristik tenglamaning haqiqiy va mavhum qismlar topiladi. Haqiqiy va mavhum qismlar amplituda A va chastota ω ga bog'liq munosabat ko'rinishda bo'ladi, ya'ni

$$X(A, \omega) + jY(A, \omega) = 0.$$

Ularni nolga tenglab, tenglamalar tizimini hosil qilamiz:

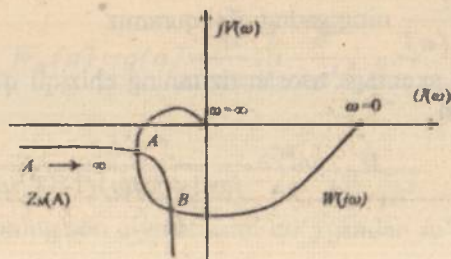
$$\begin{cases} X(A, \omega) = 0, \\ Y(A, \omega) = 0. \end{cases}$$

Agarda tenglamalar tizimini yechimi haqiqiy va musbat qiymatga ega bo'lsa, tizimda avtotebranish mavjud bo'ladi.

2. Goldfrarb usuli. Bu usul uncha murakkab bo'lmagan tizimlar uchun qo'llanilib chiziqli qism filtrlil xususiyatiga ega bo'lishi kerak. Bunda tizim ikki qismga ajratib olinadi: chiziqli va nochiziqli.

Avtotebranishni topish algoritmi quyidagidan iborat:

1. Chiziqli qismning AFXsi quriladi.
2. Nochiziqli elementning teskari uzatish funksiyasi topiladi



6.31-rasm.

$$Z_N(A) = -\frac{1}{K_N(A)} = -\frac{1}{q(A) + jq'(A)}$$

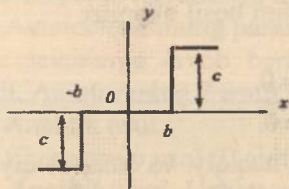
3. Amplitudani 0 dan ∞ gacha o'zgartirib nohiziqli elementning teskari AFXsi quriladi.

Popov mezon: Agarda ikkala AFX o'zaro kesishsa tizimda o'zaro avtotebranish mavjuddir.

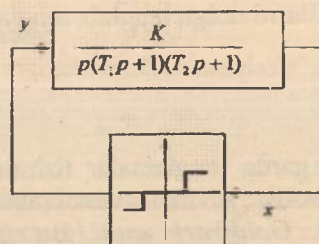
Avtotebranishni turg'un yoki noturg'unligini aniqlash uchun quyidagidan foydalaniladi:

Agarda amplituda 0 dan ∞ ga o'zgarganda nohiziqli elementning AFXsi chiziqli qismning AFXsining konturiga kirsam shu nuqtada noturg'un avtotebranish mavjud. Konturdan chiqadigan nutada turg'un avtotebranish mavjud.

6.4-masala. Agar chiziqli qism parametrlari $k=0,82 \text{ sek}^{-1}$, $T_1=T_2=0,05 \text{ sek}$ va nohiziqli zveno ($b=0,25$, $c=110$) statistik xarakteristikasi 6.32-rasmdagi kabi bo'lsa, 6.33-rasmda keltirilgan struktur sxemali nohiziqli tizimning turg'unligini tadqiq qiling.



6:32-rasm. Statik xarakteristika.



6.33-rasm. Strukturali sxema.

Yechish: Tizimning chiziqli qism $W_{ch}(j\omega)$ amplituda-faza chastotaviy xarakteristikasi va garmonik chiziqlantirilgan nohiziqli zveno

$$-Z(a) = -\frac{1}{W_N(a)}$$

ning gadografni quramiz.

Strukturali sxemaga asosan tizimning chiziqli qism chastotaviy uzatish funksiyasi

$$W_{ch}(j\omega) = \frac{k}{j\omega(1+T_1j\omega)(1+T_2j\omega)}$$

uning moduli

$$|W_{ch}(j\omega)| = \frac{k}{\omega \sqrt{(1+T_1^2\omega^2)(1+T_2^2\omega^2)}}$$

va fazasi

$$\phi(\omega) = -90^\circ - \arctg\omega T_1 - \arctg\omega T_2$$

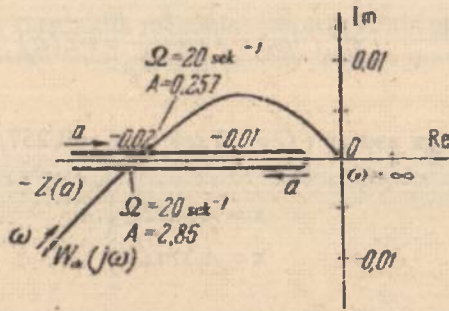
ni yozishimiz mumkin.

Son qiymatlarini quyib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$|W_{ch}(j\omega)| = \frac{0,82}{\omega \sqrt{(1+0,00025\omega^2)}}, \quad (6.29)$$

$$\phi(\omega) = -90^\circ - 2\arctg 0,05\omega. \quad (6.30)$$

$0 \leq \omega \leq \infty$ o'zgartirib, tizimning chiziqli qism AFXsi $W_{ch}(j\omega)$ quramiz (6.34-rasm).



6.34-rasm. Chiziqli qism va nochiziqli zvenoning chastotaviy xarakteristikasi.

Nochiziqli zvenoning garmonik chiziqlantirilgan uzatish funksiyasi quyidagicha:

$$W_N(a) = q(a) = \frac{4c}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \quad a \geq b.$$

Bundan

$$-Z(a) = -\frac{1}{W_N(a)} = -\frac{\pi a^2}{4c} \frac{1}{\sqrt{a^2 - b^2}}.$$

Nochiziqli zvenoning son qiymatlarini qo'ygandan so'ng quyidagiga ega bo'lmiz:

$$-Z(a) = \frac{\pi a^2}{440 \sqrt{a^2 - 0,0625}} \quad (6.31)$$

a ning qiymatini $a = b = 0,25$ dan ∞ gacha o'zgartirib, nochiziqli zveno $-Z(a)$ ning gadografini quramiz (6.34-rasm). Ushbu holda bu gadograf musbat haqiqiy yarim o'q bilan ustma-ust tushadi va ikki o'ramli bo'ladi. $-Z(a)$ funksiya modulining minimal qiymati $a = b\sqrt{2} \approx 0,352$ ga teng bo'lganda

$$|Z(a)|_{\min} = \frac{\pi b}{2c} = \frac{\pi \cdot 0,25}{2 \cdot 110} \approx 0,0036$$

ga erishadi.

$W_{ch}(j\omega)$ va $-Z(a)$ larning gadograflari ikki nuqtada kesishadi. Bu

$$W_{ch}(j\omega) = -\frac{1}{W_N(a)} = -Z(a)$$

tenglama 3-rasmga asosan ($\Omega = 20 \text{ sek}^{-1}$, $A_1 = 0,257$, $A_2 = 2,86$) ikkita davriy yechim

$$\left. \begin{aligned} x &= A_1 \sin \Omega t \\ x &= A_2 \sin \Omega t \end{aligned} \right\} \quad (6.35)$$

ga ega bo'ladi.

Davriy yechim turg'un bo'lishi uchun tizimning chiziqli qism $W_{ch}(j\omega)$ AFX si kichik amplitudaga mos keluvchi $-Z(a)$ gadograf qismini o'rab oldi. Shuning uchun, (6.35) tenglamaning birinchi yechimi noturg'un hisoblanadi, ikkinchi yechimi esa turg'undur. Shunday qilib, tizimda amplitudasi $A = 2,86$ va chastotasi $\Omega = 20 \text{ sek}^{-1}$, $x = 2,86 \sin 20t$ bo'lgan avtotebranish hosil bo'ldi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Nochiziqli tizim deb nimaga aytiladi?
2. Nochiziqlikning hosil bo'lish sabablariga nimalar kiradi?
3. Nochiziqli tizimlarning sinflanishi.
4. Nochiziqli avtomatik tizimlar qanday xususiyatlarga ega?
5. Qanday tizimlar avtotebranma tizim deyiladi?

6. Statik xarakteristika deb nimaga aytiladi?

7. Elementlarining statik xarakteristikalari grafik shaklda berilgan tizimning umumiy statik xarakteristikasini topish qanday amalga oshiriladi?

8. Nochiziqli tizimlarni turg'unligini tekshirishning qanday usullari mavjud?

9. Fazalar trayektoriyasini qurish vaqtida qanday qoidalarga amal qilinadi?

10. Fazaviy fazo usulining avzallik va kamchiliklarini tushuntirib bering.

11. Oddiy chiziqli tizim uchun fazoviy trayektoriyalar qanday quriladi?

12. Nochiziqli tizimlarning turg'unligi to'g'risida Lyapunov teoremasini tushuntirib bering.

13. V.M.Popov mezoni nima uchun mutlaq turg'unlik mezoni deb yuritiladi?

14. V.M.Popov turg'unlik mezonini isbotsiz keltiring.

15. Avtotebranishni aniqlashning qanday usullari mavjud?

Test savollari

1. Garmonik chiziqdashirish usuli orqali o'rganilayotgan nochiqli sistemalar tartibi chegaralanadimi?

- A) Yo'q.
- B) Ha.
- C) Ma'lumotlar yetarli emas.
- D) Kanal xatoligi bo'yicha uzatish koeffitsiyenti kattaligi.

2. Qanday avtokorrelatsion funksiya tasodifiy jarayonlarda oq shovqin tipida bo'ladi?

- A) Pog'onasimon funksiya ko'rinishida.
- B) Trapetsiyasimon funksiya ko'rinishida.
- C) Delta-funksiya ko'rinishida.
- D) Qo'ng'iroqsimon funksiya ko'rinishida.

3. Turg'un tizimda:

- A) Vaqtning cheksiz oshishi natijasida erkin kuzatuvchi tashkil etuvchi majburiy harakatga mos keladi.
- B) Vaqtning cheksiz oshishi natijasida majburiy tashkil etuvchi nolga intiladi.
- C) Istalgan kiruvchi ta'sir natijasida majburiy tashkil etuvchi cheklangan bo'ladi.
- D) Vaqtning cheksiz oshishi natijasida erkin tashkil etuvchi nolga intiladi.

4. Qanday nochizikli dinamik tizim mutlaq turg'un deb nomlanadi?

- A) Nochiziqlikning muayyan sinfi ichidagi istalgan xarakterdagi nochiziqlik "butun holatda" turg'undir.
- B) "Kichik holatda" turg'undir.
- C) "Katta holatda" turg'undir.
- D) "Butun holatda" turg'undir.

5. Dinamik tizim harakati ko'rinishining qanday xususiyati Lyapunov bo'yicha turg'unlik hisoblanadi?

- A) Garmonik tashqi ta'sirlar orqali majburiy.
- B) Pog'onali tashqi ta'sirlar orqali majburiy.
- C) Boshlang'ich og'ish nol bo'lishi orqali erkin.
- D) Impulsi tashqi ta'sirlar orqali majburiy.

6. Faqat koordinata boshida nolga aylanadigan, qolgan koordinatalarda bitta belgini saqlaydigan va dinamik tizim fazo holatining qaralayotgan barcha sohalarida uzluksiz funksiya qanday nomlanadi?

- A) Doimiy belgili.
- B) Aniqlangan belgili.
- C) O'zgaruvchan belgili.
- D) Aniqlanmagan belgili.

7. Qanday dinamik tizim "butun holatda" turg'un deyiladi?

- A) "Kichik" boshlang'ich og'ishlarda turg'un.
- B) "Kichik" boshlang'ich og'ishlarda asimptotik turg'un.
- C) Istalgan boshlang'ich og'ishlarda turg'un.
- D) "Katta" boshlang'ich og'ishlarda turg'un.

8. Faqat koordinata boshida nolga aylanadigan, qolgan koordinatalarda bitta belgini saqlaydigan va dinamik tizim fazo holatining qaralayotgan barcha sohalarida uzluksiz funksiya qanday nomlanadi?

- A) Doimiy belgili.
- B) Aniqlangan belgili.
- C) O'zgaruvchan belgili.
- D) Aniqlanmagan belgili.

9. Qaralayotgan sohada bitta belgini saqlamaydigan uzluksiz funksiyalar qanday nomlanadi?

- A) Doimiy belgili.
- B) Aniqlangan belgili.
- C) O'zgaruvchan belgili.
- D) Aniqlanmagan belgili.

10. Lyapunov funksiyasi va uning vaqt bo'yicha hosilasiga qanday cheklanishlar quyilganda turg'unlik to'g'risida Lyapunov mezonini bilan mos keladi?

A) Lyapunov funksiyasi va uning vaqt bo'yicha hosilasi aniqlangan belgili, belgisi bo'yicha qarama-qarshi bo'lishi kerak.

B) Lyapunov funksiyasi - aniqlangan belgili; uning vaqt bo'yicha hosilasi - doimiy belgili, qarama-qarshi belgili.

C) Lyapunov funksiyasidan vaqt bo'yicha hosilasi – aniqlangan belgili; Lyapunov funksiyasining belgisi Lyapunov funksiyasining vaqt bo'yicha hosilasi belgisi bilan mos tushadi.

D) Lyapunov funksiyasi va uning vaqt bo'yicha hosilasi doimiy belgili, belgisi bo'yicha qarama-qarshi bo'lishi kerak.

11. Geometrik nuqtayi nazardan tuzilgan dinamik tizimlar harakat tenglamasining kuchida Lyapunov funksiyasining vaqt bo'yicha hosilasi o'zida nimani aks ettiradi?

A) Fazoviy vektor tezligini.

B) Lyapunov funksiyasi gradiyentini.

C) Fazoviy vektor tezligida Lyapunov funksiyasi gradiyentining skalyar hosilasini.

D) Fazoviy vektor tezligida Lyapunov funksiyasi gradiyentining vektor hosilasini.

12. Nochiziqli ABTning turg'unlik shartida nochiziqlikning o'zini parametrlari chiqmagan holat nimani anglatadi?

A) Ushbu shart butun turg'unlik sharti hisoblanadi.

B) Ushbu shart asimptotik turg'unlik sharti hisoblanadi.

C) Ushbu shart mutlaq turg'unlik sharti hisoblanadi.

D) Ushbu shart asimptotik bo'lmagan turg'unlik sharti hisoblanadi.

13. Dinamik tizimlarning qanday fazasi fazoviy faza deyiladi?

A) Holat o'zgaruvchilari fazasi.

B) Tashqi ta'sirlar fazasi.

C) Parametrlar fazasi.

D) Rostlash o'zgaruvchilari fazasi.

14. Fazoviy fazada nochiziqli dinamik tizimlarning muvozanat holati koordinatalari qanday aniqlanadi?

A) Muvozanat holati doimo bitta va koordinata boshida joylashadi.

B) Tizim harakati differensial tenglamasi o'ng qismi funksiyasini nolga tenglashtirib.

C) Differensial tenglamaning umumiy yechimi asosida olib.

D) Turli boshlang'ich shartlar orqali differensial tenglamani sonli integrirlash asosida olib.

GLOSSARIY

- **Avtomatik boshqarish nazariyasi** – bu avtomatik boshqarish tizimi (ABT)da kechuvchi axborot jarayonlari predmetini o'rganuvchi ilmiy fandır.

Kibernetika – murakkab tizimlar (texnik obyektlar, texnologik jarayonlar, jonli organizmlar, jamoalar, tashkilotlar va h.k.) ni optimal boshqarish to'g'risidagi fan.

Avtomatik boshqarish tizimi – bu shunday tizimki, unda boshqarilish vazifasi avtomatik bajariladi, ya'ni inson ishtirokisiz. Boshqariluvchi obyekt va avtomatik boshqarish qurilmasi (rostlagich) birgalikda hamda ularni o'zaro ta'siri – *avtomatik boshqarish tizimi* deyiladi.

Avtomatik boshqarish qurilmasi – boshqarish algoritmi bilan muvofiq kelishda ta'sirlarni amalga oshiruvchi qurilma.

Avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi – bu tizimda boshqarish vazifasini bir qismi avtomatik boshqarish qurilmasida bajariladi, bir qismi (ayniqsa muhim va murakkab qismi)ni esa inson bajaradi.

Boshqarish obyekti – texnik jarayonni amalga oshiruvchi va ishlash algoritmini amalga oshirish uchun maxsus tashkil etilgan tashqi ta'sirga muhtoj qurilma (qurilmalar majmui), moslama yoki jarayon.

Boshqarish algoritmi – bu ishlash algoritmlarini amalga oshirish maqsadida obyektidagi tashqi ta'sirlar tavsifini aniqlovchi buyruqlar majmui.

Funksional sxema – bu sxema tizimning qanday elementdan tashkil topganini bildiradi. Unda har bir elementga mos ravishda shu elementning nomi yoki u bajaradigan funksiyasining nomi keltiriladi.

Strukturaviy sxema (model) – bu sxema tizimning matematik modelini bildiradi. Bunda har bir elementga mos ravishda algebraik, differensial, integral tenglamasi yoki qandaydir uzatish funksiyasi keltiriladi.

Prinsipial sxema – bu sxema funksional sxemani kengaytirilgan ko'rinishi bo'lib, bunda har bir elementni kengaytirib ko'rsatiladi.

Axborot – birlamchi manbasi tajribaga asoslangan holda tekshirilayotgan obyekt to'g'risidagi har qanday ma'lumotlar majmuasi.

Chiziqli tizim – ustlash (superpozitsiya) usulini qo'llash mumkin bo'lgan tizimlar.

Nochiziqli tizim – tarkibida hech bo'lmaganda bitta nochiziqli element yoki nochiziqli tenglamasi bo'lgan tizim.

Statsionar tizim – elementlarining parametrlari vaqt mobaynida o'zgarmaydigan tizimlar.

Nostatsionar tizim – parametrlari vaqtga bog'liq bo'lmagan tizimlar.

Uzluksiz tizim – ABTlarining barcha zvenolari vaqt bo'yicha uzluksiz kirish signaliga mos ravishda chiqish signallari ham uzluksiz bo'lgan tizim.

Uzluqli yoki diskret tizimlar deb – tarkibida hech bo'lmaganda bitta zveno diskret (yoki impulsli) chiqish signaliga ega bo'lgan ABTlarga aytiladi.

Taqsimlangan parametrlil tizimlar – elementlarining xossalari boshqarish obyektining fazoviy koordinatalariga bog'liq holda o'zgargan tizimlar.

To'plangan parametrlil tizimlar – elementlarining xossalari boshqarish obyektining fazoviy koordinatalarga bog'liq bo'lmagan tizimlar.

Bir konturli tizimlar – tarkibida faqat bitta asosiy teskari bog'lanishi mavjud bo'lgan ABTlar.

Ko'p konturli tizimlar deb – tarkibida faqat bitta asosiy teskari bog'lanishdan tashqari mahalliy teskari bog'lanishlari ham mavjud bo'lgan ABTlarga aytiladi.

Bir o'lchamli tizimlar – tarkibida bitta boshqaruvchi va bitta boshqariluvchi kattalikka ega bo'lgan ABTlar yoki boshqacha qilib aytganda, bitta kirish va bitta chiqish parametriga ega bo'lgan ABTlar.

Chiziqlantirish – nochiziqli differensial tenglamani chiziqli differensial tenglama bilan almashtirish.

O'tkinchi xarakteristika – tizimga yoki zvenoning pog'onali signaldan olingan reaksiyasi.

Impulsi o'tkinchi xarakteristika (vazn funksiyasi) – tizim yoki zvenoning birlik impulslı funksiyadan olingan reyaksiyasi.

Chastotaviy xarakteristika – tizim yoki zvenoning garmonik signaldan olingan reaksiyasi.

Laplas almashtirishi – haqiqiy o'zgaruvchili funksiyani (shu jumladan vaqt funksiyasi) kompleks o'zgaruvchili funksiyaga o'zgartirish.

Uzatish funksiyasi – boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganida chiqish signalining Laplas tasvirini kirish signalining Laplas tasviri signali nisbatiga aytiladi.

Tipik dinamik zveno – tartibi ikkidan yuqori bo'lmagan differensial tenglama bilan ifodalanadigan zvenolar.

TEST SAVOLLARI JAVOBI

1-bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	B	A	A	A	A	C	A	A	C	C	A	C

2-bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	B	C	D	A	C	A	C	B	A	C	A	B	A	A
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	A	D	D	A	A	C	A	D	A	A	A	B	C	C
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
B	A	D	A	A	A	A	D	D	D	D	D	B	B	B
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
C	C	C	C	A	A	B	B	A	A	A	D	A	A	A
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
B	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A
76	77	78	79	80	81	82	83							
A	A	A	A	A	A	A	B							

3-bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C	A	A	B	C	B	A	A	C	A	A	C	A	D	A
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
D	C	A	A	A	A	A	D	A	A	A	A	A	A	A
31	32	33	34											
A	A	A	A											

4-bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B	A	B	D	D	B	A	B	A	A	A	D

5-bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	B	A	B	A	A	A	A	A	A	A

6-bob

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	C	D	A	D	B	B	B	C	A	C	C	A	A	A

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Norman S. Nise. Control Systems Engineering. New York, John Wiley, 7 edition, 2015. – 944 p.
2. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.E., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlari. – Toshkent, «O'qituvchi»: 1997, 704 b.
3. Unbehauen, H. Control Engineering. 3 Vols. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft. German. 2001. - 1273 p.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Изд-во МЭИ, 2004, 400 с.
5. Benjamin C. Kuo , Farid Golnaraghi. Automatic Control Systems. New York, John Wiley; 8 edition. 2002. - 624 p.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления / Под ред. К.А.Пупкова. ТОМ 1-4. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004.
7. Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering. Pearson Higher Ed USA. 5 edition. 2009. -912 p.
8. Miraxmedov D.A. Avtomatik boshqarish nazariyasi [Oliy o'quv yurtlari uchun darslik]. –Т.: O'zbekiston, 1993. -287 b.
9. Richard C. Dorf, Robert H. Bisho. Modern Control Systems. Pearson Higher Ed USA; 12 edition, 2010. -1104 p.
10. Automation Control - Theory and Practice. Edited by A.D.Rodić, Tech, 2009. - 360 p.
11. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. –СПб.: Профессия, 2004. -752 с.

12. Потапенко Е.М., Казурова А.Е., Основы теории автоматического управления. – Запорожье: ЭНТУ, 2007.

13. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish vositalari: O'quv qo'llanma. 1,2-qism. Yusupbekov N.R, Igamberdiyev I.Z, Malikov A.V. – Toshkent: ToshDTU, 2007.

14. Андрищенко В.А. Теория систем автоматического управления: Учеб. пособие. – Л.: СЗПИ, 1990. -252 с.

15. Бурьян Ю.А. и др. Теория автоматического управления: линейные системы. Учебное пособие. –Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. -76 с.

16. Власов К.П. Теория автоматического управления (особые, дискретные и нелинейные системы) / К.П.Власов, М.К.Аникин. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 2006. -99 с.

17. Власов К.П. Теория автоматического управления. Учебное пособие. – Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. -26 с.

18. К.Ю.Поляков. Теория автоматического управления. Част I. – СПб., 2008. -80с.

19. К.Ю.Поляков. Теория автоматического управления. Част II. – СПб., 2009. -59 с.

20. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линеинные системы. – СПб: Питер, 2005. -333 с.

21. Клавдиев А.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Ч.1. Учеб. пособие. –СПб.: СЗТУ, 2005. -74 с.

22. Клавдиев А.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Ч.2: Моделирование линейных непрерывных систем автоматизики. Учебное пособие. –СПб: СЗТУ, 2005.-81 с.

23. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Учеб. пособие для студентов вузов. –М.: Физматлит, 2003. -287 с.

24. Туманов М.П. Теория управления. Теория линейных систем автоматического управления. Учеб. пособие. – М.: МГИЭМ, 2005. - 82 с.

25. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Линейные системы автоматического регулирования. Учебное пособие. –Томбов: Изд-во ТГТУ, 2001. -264 с.

26. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Основы теории автоматического управления. Учебное пособие. –Томбов: Изд-во ТГТУ, 2004. -352 с.

27. Сборник задач по теории автоматического управления. Учебно-методическое пособие для студентов технических специальностей / Сост. В.А. Бороденко. – Павлодар : Кереку, 2009. -112 с.

28. Леонов А.С. Решение некорректно поставленных обратных задач: очерк теории, практические алгоритмы и демонстрации в МАТЛАБ. 2010. -336с.

29. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB. Second Edition. New York e.a.: Wiley, 2001. - 401 pp.

30. Бозиев С.Н. MATLAB 2006a в примерах. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. -150 с.

31. Дьяконов В.П. MATLAB 6. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. -592 с.

32. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. -480 с.

MUNDARIJA

Kirish	3
--------------	---

I BOB. AVTOMATIK BOSHQARISH NAZARIYASINING UMUMIY XUSUSIYATLARI VA TUSHUNCHALARI

1.1. Avtomatik boshqarish nazariyasining asosiy tushuncha va ta'riflari	5
1.1.1. Boshqa texnikaviy fanlar bilan o'zaro aloqasi	5
1.1.2. Tarixiy ma'lumotlar	6
1.1.3. Asosiy tushuncha va ta'riflar	8
1.2. Avtomatik boshqarish tizimlarning sxemalari	10
1.3. Boshqarishning fundamental prinsiplari	16
1.4. Avtomatik boshqarish tizimlarining sinflanishi	20
Nazorat va muhokama savollari	24
Test savollari	25

II BOB. AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING MATEMATIK IFODASI

2.1. Statik va dinamik modellar	28
2.2. Chiziqlantirish	30
2.3. Avtomatik boshqarish tizimlarining asosiy (tipik) kirish signallari	32
2.4. Laplas almashtirishi va uning xossalari	35
2.5. Uzatish funksiyasi	37
2.6. Avtomatik boshqarish tizimlarning vaqt xarakteristikalari	42
2.7. Avtomatik boshqarish tizimlarining chastotaviy xarakteristikalari	44
2.8. Logarifmik chastota xarakteristikalar	46
2.9. Elementar zvenolar va ularning xarakteristikalari	48
2.10. Statsionar chizikli tizimlarning strukturali sxemalari	66

2.11. Ochiq tizinning chastotaviy xarakteristikalari	74
2.12. Ko'p o'lchamli elementlarni vektor-matritsali shaklda ifodalash	77
2.13. Avtomatik boshqarish tizimini "kinish-chiqish" usulida ifodalash	77
2.14. Avtomatik boshqarish tizimini fazo holatida ifodalash	79
2.15. Holat o'zgaruvchilari sxemalari	82
2.16. «Kirish-chiqish» va fazo holati usuli ifodalarning o'zaro aloqasi	87
2.17. O'tish matritsasi. O'tish matritsasini olishning analitik uslubi	88
2.18. Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha o'tish matritsalarini tasvirini olish	90
Nazorat va muhokama savollari	92
Test savollari	94

III BOB. CHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING TURG'UNLIGI

3.1. Turg'unlik to'g'risida tushuncha	108
3.2. Chiziqli avtomatik boshqarish tizimining turg'unlik sharoitlari. A.M.Lyapunov teoremasi	109
3.3. Turg'unlikning algebraik mezonlari. Raus turg'unlik mezoni	112
3.4. Gurvis turg'unlik mezoni	115
3.5. Lenar-Shipar turg'unlik mezoni	118
3.6. Turg'unlikning chastotaviy mezonlari. Argumentlar prinsipi	119
3.7. Turg'unlikning Mixaylov mezoni	122
3.8. Naykvist turg'unlik mezoni	126
3.9. Logarifmik chastotaviy xarakteristika bo'yicha turg'unlikning tahlili (Turg'unlikning logarifmik mezoni)	132
3.10. Tizim parametrlari tekisligida turg'unlik doirasini qurish. D- bo'linish usuli	135
3.11. Kechikishli va irratsional zvenoli tizimlarning turg'unligi.....	136
Nazorat va muhokama savollari	140
Test savollari	142

**IV BOB. CHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH
TIZIMLARINING SIFAT KO'RSATKICHLARINI
TADQIQ QILISH**

4.1. Umumiy tushunchalar	149
4.2. Barqaror rejimda rostlash sifatini baholash	151
4.3. Pog'anali signal ta'siri orqali o'tish jarayonning sifat ko'rsatkichlari... ..	153
4.4. Rostlash sifatini baholashning ildiz usullari	155
4.5. O'tish jarayoni sifatining integral baholari	157
4.6. Rostlash sifatini baholashning chastota usullari	158
Nazorat va muhokama savollari	164
Test savollari	165

**V BOB. CHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH
TIZIMLARINI SINTEZLASH**

5.1. Sintezlash masalasining qo'llanilishi	168
5.2. Logarifmik chastota xarakteristikalari usuli yordamida sintezlash	169
5.3. Texnik topshiriq bo'yicha LACHX ni qurish	170
5.4. ABT korreksiyasining ketma-ket sxemasi	173
5.5. Teskari bog'lanish yordamida korreksiyalash	177
5.6. Korreksiyalash usullarini qiyosiy baholash	187
Nazorat va muhokama savollari	188
Test savollari	189

**VI BOB. NOCHIZIQLI AVTOMATIK
BOSHQARISH TIZIMLAR**

6.1. Nochizliqli tizimlarning xususiyatlari	192
6.2. Nochizliqli tizimlarning statik xarakteristikalari	194
6.3. Fazoviy fazo usuli	197
6.4. Oddiy chizliqli tizim uchun fazoviy trayektoriyalar	200
6.5. Lyapunov usuli asosida nochizliqli tizimlarning turg'unligi tahlili	207

6.6. V.M.Popovning mutlaq turg'unlik mezonl 210	210
6.7. Garmonik balans usuli 215	215
Nazorat va muhokama savollari 221	221
Test savollari 223	223
Glossariy 226	226
Test savollari javobi 229	229
Foydalanilgan adabiyotlar 230	230

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
---------------	---

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВОЙСТВА И ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Основные понятия и определения теории автоматического управления	5
1.1.1. Взаимосвязь с другими техническими науками	5
1.1.2. Историческая справка	6
1.1.3. Основные понятия и определения	8
1.2. Схемы систем автоматического управления	10
1.3. Фундаментальные принципы управления	16
1.4. Классификация систем автоматического управления	20
Контрольные вопросы	24
Тестовые вопросы	25

ГЛАВА II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Динамические и статические модели	28
2.2. Линеаризация	30
2.3. Типовые входные сигналы систем автоматического управления	32
2.4. Преобразование Лапласа и его свойства	35
2.5. Передаточные функции	37
2.6. Временные характеристики систем автоматического управления	42
2.7. Частотные характеристики систем автоматического управления	44
2.8. Логарифмические частотные характеристики	46
2.9. Элементарные звенья и их характеристики	48

2.10.	Структурные схемы стационарных линейных систем	66
2.11.	Частотные характеристики разомкнутых систем	74
2.12.	Векторно-матричная форма описания многомерных элементов систем автоматического управления	77
2.13.	Описание системы автоматического управления в виде «вход-выход»	77
2.14.	Описание системы автоматического управления методом пространства состояния	79
2.15.	Схемы переменных состояний	82
2.16.	Связь между описанием «вход-выход» и методом пространства состояния	87
2.17.	Матрица перехода. Аналитический способ получения матрицы перехода	88
2.18.	Получение изображения матрицы перехода по схеме переменных состояния	90
	Контрольные вопросы	92
	Тестовые вопросы	94

ГЛАВА III. УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1.	Понятие устойчивости	108
3.2.	Условия устойчивости линейных систем автоматического управления. Теорема А.М.Ляпунова	109
3.3.	Алгебраические критерии устойчивости. Критерий устойчивости Рауса	112
3.4.	Критерий устойчивости Гурвица	115
3.5.	Критерий устойчивости Льенара-Шипара	118
3.6.	Частотные критерии устойчивости. Принцип аргумента	119
3.7.	Критерий устойчивости Михайлова	122
3.8.	Критерий устойчивости Найквиста	126
3.9.	Анализ устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам	132

3.10.	Построение областей устойчивости в плоскости параметров системы. Понятие о D – разбиснии	135
3.11.	Устойчивость систем с запаздыванием и систем с иррациональными звеньями	136
	Контрольные вопросы	140
	Тестовые вопросы	142

ГЛАВА IV. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

4.1.	Общие положения	149
4.2.	Оценка качества регулирования в установившемся режиме	151
4.3.	Оценка качества переходного процесса при воздействии ступенчатой функции	153
4.4.	Корневые методы оценки качества регулирования	155
4.5.	Интегральные оценки качества переходных процессов	157
4.6.	Частотные методы оценки качества регулирования	158
	Контрольные вопросы	164
	Тестовые вопросы	165

ГЛАВА V. СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

5.1.	Общие положения	168
5.2.	Синтез систем автоматического управления с помощью логарифмических частотных характеристик	169
5.3.	Построение логарифмических частотных характеристик по техническим заданиям	170
5.4.	Последовательные схемы коррекции систем автоматического управления	173
5.5.	Коррекция систем автоматического управления с обратной связью	177
5.6.	Сравнительные оценки методы коррекции	187
	Контрольные вопросы	188

Тестовые вопросы	189
------------------------	-----

ГЛАВА VI. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

6.1. Особенности нелинейных систем	192
6.2. Статические характеристики нелинейных систем	194
6.3. Метод фазового пространства	197
6.4. Фазовые траектории для обыкновенных линейных систем	200
6.5. Анализ устойчивости нелинейных систем на основе метода Ляпунова	207
6.6. Критерий абсолютной устойчивости В.М.Попова	210
6.7. Метод гармонического баланса	215
Контрольные вопросы	221
Тестовые вопросы	223
Глоссарий	226
Ответы на тестовые вопросы	229
Литература	230

TABLE OF CONTENTS

Introduction.....	3
-------------------	---

Chapter I. GENERAL FEATURES AND CONCEPTS OF AUTOMATIC CONTROL THEORY

1.1. Basic concepts and definitions of automatic control theory	5
1.1.1. The relationship with other technical sciences	5
1.1.2. Historical reference	6
1.1.3. Basic concepts and definitions	8
1.2. Schemes of automatic control systems	10
1.3. Fundamental principles of control	16
1.4. Classification of automatic control systems	20
Control questions	24
Test questions	25

CHAPTER II. MATHEMATICAL DESCRIPTION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

2.1. Dynamic and static models	28
2.2. linearization	30
2.3. Typical input signals of automatic control systems	32
2.4. Laplace transform and its properties	35
2.5. Transfer functions	37
2.6. Temporal characteristics of automatic control systems	42
2.7. The frequency characteristics of automatic control systems	44
2.8. The logarithmic frequency characteristics of automatic control systems	46

2.9. Elementary units and their characteristics	48
2.10. Block diagrams of stationary linear systems	66
2.11. The frequency characteristics of open systems	74
2.12. Vector-matrix form describing multidimensional elements of automatic control systems	77
2.13. Description of the automatic control system in the form of "input-output"	77
2.14. Description of the automatic control system by the state space	79
2.15. Schemes of variable states	82
2.16. Connectivity between the description of "input-output" and the method of state space	87
2.17. The transition matrix. Analytical method for producing the transition matrix	88
2.18. Imaging transition matrix scheme of state variables	90
Control questions	92
Test questions	94

CHAPTER III. STABILITY OF LINEAR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

3.1. The concept of sustainability	108
3.2. Terms stability of linear automatic control systems. Theorem Lyapunov	109
3.3. Algebraic stability criteria. Routh stability criterion	112
3.4. Hurwitz stability criterion	115
3.5. Stability criterion of Lienard-Shepherd	118
3.6. Frequency stability criteria. The principle argument	119
3.7. Mikhailov stability criterion	122
3.8. Nyquist stability criterion	126
3.9. Stability analysis of logarithmic frequency characteristics	132
3.10. Building stability regions in the plane of the system parameters. The concept of the D - partition	135
3.11. Stability delay systems and systems with irrational links	136
Control questions	140

Test questions 142

CHAPTER IV. METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY CONTROL OF LINEAR SYSTEMS

4.1. General 149
4.2. Evaluation of the quality of regulation in the steady state 151
4.3. Evaluation of the quality of the transition process under the influence of a step function 153
4.4. Root methods for evaluating the quality of regulation 155
4.5. Integral evaluation of the quality of transients 157
4.6. Frequency methods for evaluating the quality of regulation 158
Control questions 164
Test questions 165

CHAPTER V. SYNTHESIS OF LINEAR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

5.1. General 168
5.2. Synthesis of automatic control systems using a logarithmic frequency characteristics 169
5.3. Construction of logarithmic frequency characteristics on the performance specifications 170
5.4. Successive correction circuit of automatic control systems 173
5.5. Correction of automatic control systems with feedback 177
5.6. Comparative evaluation of methods of correction 187
Control questions 188
Test questions 189

CHAPTER VI. NONLINEAR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

6.1. Features of non-linear systems 192
6.2. The static characteristics of non-linear systems 194
6.3. The method of phase space 197

6.4.	The phase trajectories for ordinary linear systems	200
6.5.	Stability analysis of nonlinear systems based on Lyapunov method ..	207
6.6.	Popov's criterion for absolute stability	210
6.7.	Harmonic Balance Method.	215
	Control questions	221
	Test questions	223
	Glossary	226
	Answers to questions test	229
	The literature	230