

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI
NAVOIY DAVLAT KONCHILIK INSTITUTI
“AVTOMATLASHTIRISH VA BOSHQARUV” KAFEDRASI**



AVTOMATIK BOSHQARISH NAZARIYASI
(1 - qism)

fanidan o‘quv uslubiy majmua

Bilim sohasi: 300 000 – *Ishlab chiqarish va texnik soha*
Ta’lim sohasi: 310 000 – *Muhandislik ishi*
Ta’lim yo‘nalishi: 5311000 *Texnologik jaryonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqaruv (tarmoqlar bo‘yicha)*

NAVOIY - 2021y

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI
NAVOIY DAVLAT KONCHILIK INSTITUTI
ENERGO – MEXANIKA FAKULTETI
“AVTOMATLASHTIRISH VA BOSHQARISH” KAFEDRASI

«TASDIQLAYMAN»
O‘quv ishlari bo‘yicha prorektor
_____ **N.A. Abduazizov**
“ _____ ” _____ **2020 y.**

AVTOMATIK BOSHQARISH NAZARIYASI
fanidan

O'QUV USLUBIY MAJMUA

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2020 yil 25 avgustdagi 744 – sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan “Boshqarish nazariyasi” fani dasturi asosida ishlab chiqilgan.

Tuzuvchilar:

Botirov Tulkin Vafokulovich – “Avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrasida dotsenti.

Boybutaev Sanjar Baxritdinovich – “Avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrasida katta o'qituvchisi.

Taqrizchilar:

O'rinov SHerali Raufovich–texnika fanlari nomzodi, dotsent, NDKI.

Xudayarov Uktam Norpulatovich – Ishlab chiqarishni avtomatlashtirish bo'limi boshlig'i o'rinbosari NKMK.

O'quv-uslubiy majmua “Avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrasining yig'ilishida muxokama qilingan va tasdiqlangan (№ 1 Bayonnoma, “___” avgust 2020 y.).

Kafedra mudiri: _____ **J.O. Jumaev**

O'quv-uslubiy majmua NDKI Energo – mexanika fakultetining yig'ilishida muxokama qilingan va tasdiqlangan (№ 1 Bayonnoma, “___” avgust 2020 y.).

Energo-mexanika fakulteti dekani: _____ **S.J. Bozorova**

O'quv-uslubiy majmua NDKI o'quv-uslubiy kengashida muxokama qilingan va tasdiqlangan (№ 1 Bayonnoma, “___” avgust 2020 y.)

O'quv-uslubiy kengash kotibasi: _____ **M.J. Normatova**

O'quv-uslubiy bo'lim boshlig'i: _____ **I.A. Karimov**

Mundarija

O‘QUV MATERIALLARI	
Ma’ruzalar matni (1-qism)	
1-mavzu. Boshqarish to‘g‘risida tushuncha. Boshqarish sistemalarini qurish prinsiplari. Avtomatik boshqarish sistemalariga misollar.	
2-mavzu. Boshqarishning fundamendal prinsiplari. Avtomatik boshqarish sistemalarining sinflanishi. Ochiq boshqarish prinsipi. G‘alayonni kompensatsiyalash prinsipi. Og‘ish bo‘yicha rostdash. Kombinatsiyalashgan sistemalar.	
3-mavzu. Avtomatik boshqarishning asosiy ko‘rinishlari. Stabillash. Programmali boshqarish. Kuzatuvchi sistemalar. Optimal boshqarish. Adaptiv sistemalar. Rostlashning asosiy qonunlari.	
4-mavzu. Dinamika va statika tenglamalari. Chiziqlantirish.	
5-mavzu. Laplas almashtirishi va uning xossalari.	
6-mavzu. Tipik kirish signallari.	
7-mavzu. Uzatish funksiyalari. Uzatish funksiyalariga misollar.	
8-mavzu. Chastotaviy xarakteristikalar. Vaqt xarakteristikalari.	
9-mavzu. Elementar zvenolar va ularning xarakteristikalari: proporsional, integrallovchi, differensiallovchi zvenolar.	
10-mavzu. Elementar zvenolar va ularning xarakteristikalari: aperiodik, tebranuvchi, konservativ zvenolar.	
11-mavzu. Statsionar chiziqli sistemalarning strukturali sxemalari. Struktur o‘zgartirish qoidalari.	
12-mavzu. Ochiq sistemaning uzatish funksiyasi bo‘yicha logarifmik amplituda chastotaviy va logarifmik faza chastotaviy xarakteristikalarni qurish.	
13-mavzu. Turg‘unlik tushunchasi. Turg‘unlik masalasining umumiy qo‘yilishi. A.M.Lyapunov teoremasi. CHiziqli avtomatik boshqarish sistemasining turg‘unlik sharoitlari.	
14-mavzu. Turg‘unlikning algebraik mezonlari. Raus turg‘unlik mezoni. Gurvits turg‘unlik mezoni. Lenar-SHipar turg‘unlik mezoni	
15-mavzu. Turg‘unlikning chastotaviy mezonlari. Argumentlar prinsipi.	
16-mavzu. Mixaylov turg‘unlik mezoni.	
17-mavzu. Naykvist turg‘unlik mezoni.	
18-mavzu. Logarifmik chastotaviy xarakteristika bo‘yicha turg‘unlikning tahlili.	
19-mavzu. Barqaror rejimlarda rostdash sifatini baholash.	
20-mavzu. Xatolik koeffitsientlari usuli.	
21-mavzu. Pog‘onali signallar ta’siri orqali o‘tish jarayoni sifatini baholash.	
22-mavzu. Garmonik ta’sirlar orqali rostdash sifatini baholash.	
23-mavzu. Rostlash sifatini baholashning ildizli usullari.	
Ma’ruzalar matni (2-qism)	
1-mavzu. Umumiy hollar. Korrektlovchi qurilma. O‘zgartiruvchi elementlar.	
2-mavzu. Barqaror rejimlarda aniqlikni oshirish.	

3-mavzu. Turg'unlikni ta'minlash va turg'unlik zahirasi oshirish. Ildiz godografi bo'yicha parametrlarni tanlash va korrektlovchi qurilmalarni sintez qilish.	
4-mavzu. Logarifmik amplituda-chastotaviy xarakteristika bo'yicha korrektlovchi qurilmalarni sintez qilish.	
5-mavzu. Asosiy tushuncha va ta'riflar. Nochiziqli sistemalarni xususiyatlari. Nochiziqli sistemalarning statik xarakteristikalar. Nochiziqli sistemalarda mavjud bo'ladigan muvozanat holatlari.	
6-mavzu. Fazoviy fazo usuli.	
7-mavzu. Oddiy chiziqli sistema uchun fazoviy traektoriyalar	
8-mavzu. Lyapunov usuli asosida nochiziqli sistemalarni turg'unligining taxlili.	
9-mavzu. V.M.Popovning mutloq turg'unlik mezon.	
10-mavzu. Garmonik balans usuli.	
11-mavzu. mavzu. Asosiy tushuncha va tariflar. Diskret sistemalarning sinflanishi.	
12-mavzu. Diskret sistemalarni tadqiq qilishning matematik apparati. Kvantlash va modulyasiyalash. Panjarali funksiya va Ayirmali (funksiyalar) tenglamalar.	
13-mavzu. Z алмаштириш (Laplasning diskret o'zgartiruvchisi va uning xossalari) va унинг хossalari. Идеал импульсли элемент.	
14-mavzu. Diskret uzatish funksiyasi. Z almashtirishining algebrasi.	
15-mavzu. Impulsi sistemalarning chastota xususiyatlari.	
16-mavzu. Impulsi sistemalarning turg'unligi. Turg'unlik mezonlari. Gurvits mezonini diskret sistemalarga tadbiqu.	
17-mavzu. Mixaylov va Naykvist mezonlarining diskret sistemalarga tadbiqu.	
18-mavzu. Tasodifiy jarayonlar va ularni asosiy statistik xarakteristikalar.	
19-mavzu. Tasodifiy jarayonlarning korrelyasion funksiyalari.	
20-mavzu. Tasodifiy jarayonlarning spektral zichligi.	
21-mavzu. CHiziqli sistemalarning kirish va chiqishida tasodifiy jarayonlarning korrelyasion funksiyalari va spektral zichliklari orasidagi aloqa.	
22-mavzu. Tasodifiy ta'sirlarda bo'lgan chiziqli sistemalarni hisoblash. Minimal o'rtacha kvadratik xatoli chiziqli sistemalarning sintezi.	
Amaliy mashg'ulotlar uchun metodik ko'rsatma	
Tajriba mashg'ulotlari uchun metodik ko'rsatma	
MUSTAQIL TA'LIM MASHG'ULOTLARI	
Ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar uchun mustasil ish mavzulari va topshiriqlari	
Kurs ishlari mavzular	
Masalalar va mashqlar to'plami	
GLOSSARIY	
ILOVALAR	
Namunaviy dastur	
Ishchi o'quv dasturi	
Baholash mezonlari	
Kalendar rejas	
Ta'lim texnologiyalari va texnologik xaritasi	

Testlar	
Nazorat uchun savollar (JN, ON, YAN)	
Tarqatma materiallar	
Adabiyotlar ro'yxati	
Xorijiy adabiyotlar	
Foydali maslahatlar	
Annotatsiya	
Mualliflar haqida ma'lumotlar	

AVTOMATIK BOSHQARISH TO'G'RISIDA TUSHUNCHA.

Reja:

1. *Kirish.* Asosiy tushuncha va ta'riflar
2. Avtomatik boshqarish tizimlarining sxemalari
3. Avtomatik boshqarish sistemalariga misollar

Kirish

Avtomatika fan va texnikaning avtomatik boshqarish nazariyasi va amaliyoti, avtomatik tizimlarni qurish prinsiplari va texnik jihatlarini o'z ichiga oladi. Avtomatlashtirish – bu texnik jihozlarning qo'llanilishi, matematik usullar va boshqarish tizimlarida, buning natijasida inson qisman yoki butunlay informatsiya olishda o'zgartirish, uzatish va energiyani ishlatishdan ozod bo'ladi.

Avtomatlashtirishning maqsadi – mehnat unumdorligi va ishlab chiqarishning sifatini oshirish rejalarini avtomatlashtirish, optimallashtirish va boshqarish, insonni zararli sharoitlarda ishlashdan ozod qilishdir. U fan va texnikani umumiy rivojlantirish natijasidir. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning rivojlanishi asosan 50-60 - yillarda boshlangan. Texnika siyosatini maqsad sari yo'naltirilganligi hisobiga kimyoviy ishlab chiqarishning turli sohalarida avtomatlashtirishning darajasi oshdi. Texnologik jihozlanishning yaxlitligi va undagi o'zlashtirilgan texnologik jarayonlarni boshqarishni texnologik jarayonda amalga oshirilishi, texnologik ob'ektni boshqarishni tashkil qiladi. Axborotlarni avtomatlashtirilgan holda yig'ish va qayta ishlashni ta'minlovchi hamda inson faoliyatining turli sohalaridagi optimal boshqarish uchun zarur bo'lgan inson-mashina tizimiga – avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi (ABT) deyiladi.

1. Asosiy tushuncha va ta'riflar

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

ABN turli fizik tabiatli boshqarish tizimining o'ziga xos umumiy qonuniyatini va bu qonuniyat asosida yuqori sifatli boshqarish tizimlarini qurish prinsiplarini ishlab chiqadi.

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 modellashdir hisoblanadi. Undan tashqari ABNning uslubiyot asoslarini quyidagilar tashkil etadi: odatdagi differensial tenglamalar nazariyasi; operatsion hisoblash; garmonik tahlil; vektor-matritsali algebra.

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 *BN* fanlariga bo'linadi.

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.

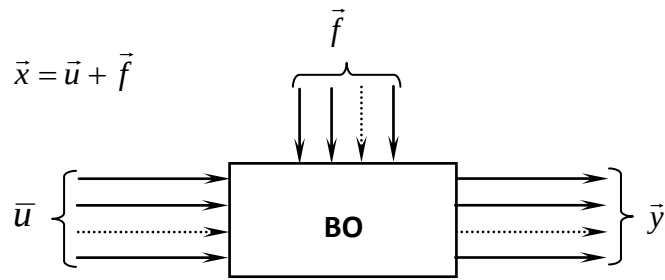
Boshqariluvchi obyekt va avtomatik boshqarish qurilmasi (rostlagich) birgalikda hamda ularni o'zaro ta'siri – *avtomatik boshqarish tizimi* deyiladi.

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

Avtomatlashtirilgan 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 (1.1-rasm).



1.1-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 (1.1-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* $\bar{f}$ – boshqarish tizimiga bog‘liq bo‘lmagan obyektga ta’sir. *G‘alayon yuklamaga* – bu tizimning ishlashiga bog‘liq bo‘lgan tashqi ta’sir va *xalaqitga* – obyektida 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 (1.1-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.

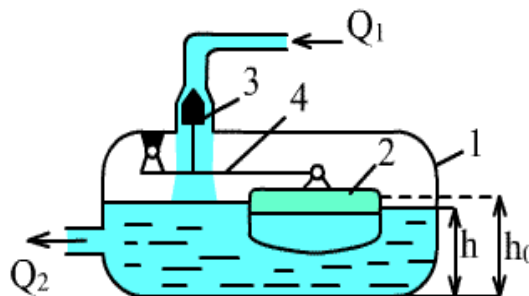
ABTda jarayonlarni o'rganishda muhim jihatlardan biri bu axborotdir. Bu jarayonlar signal o'zgartirgichlar hisoblanadi.

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.

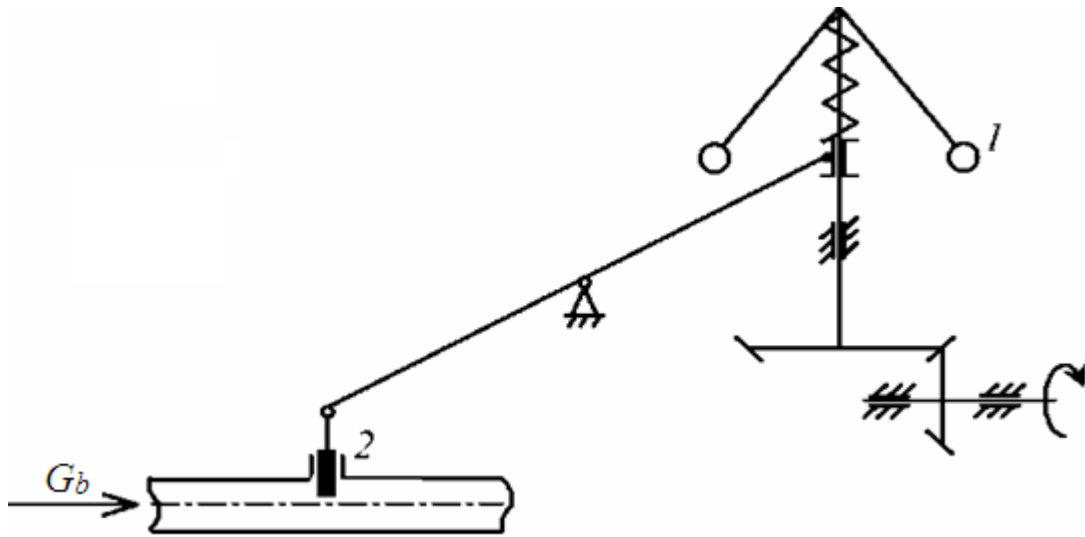
Sanoatda qo'llanilishi mumkin bo'lgan eng birinchi avtomatik rostlagich rus mexanigi I.I.Polzunov tomonidan (1765 y.) yaratilgan. Bu qurilma bug' mashinasi qozonidagi suv sathi balandligini inson ishtirokisiz bir me'yorda ushlab turishga mo'ljallangan qurilma edi (1.2-rasm). Ma'lumki, qozondagi suv miqdori 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



1.2-rasm. *Polzunov rostlagichi.*

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. 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 valining aylanish tezligini rostlay oladigan avtomatik qurilma – rostlagichni yaratdi (1.3-rasm). 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.



1.3-rasm. Uatt rostlagichi.

Bu ikki texnik qurilma yordamida o'sha vaqtdagi texnologik mashinalarning ishonchli va o'zgarmas tezlikda ishlashi birmuncha ta'minlangan. Polzunov va Uatlarning 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.

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. 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 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 rostlash tizimlarini kundalik loyihalash imkonini yaratdi.

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 «Avtomatlashtirilgan boshqarishning optimallik prinsiplari» ni yaratganlar. Ushbu fanning rivojiga o'zbekistonlik olimlardan N.R.Yusupbekov, M.M.Komilov, T.F.Bekmuratov, X.Z.Igamberdiyevlar o'zlarining ilmiy natijalari bilan hissalarini qo'shganlar.

2. Avtomatik boshqarish tizimlarining 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.

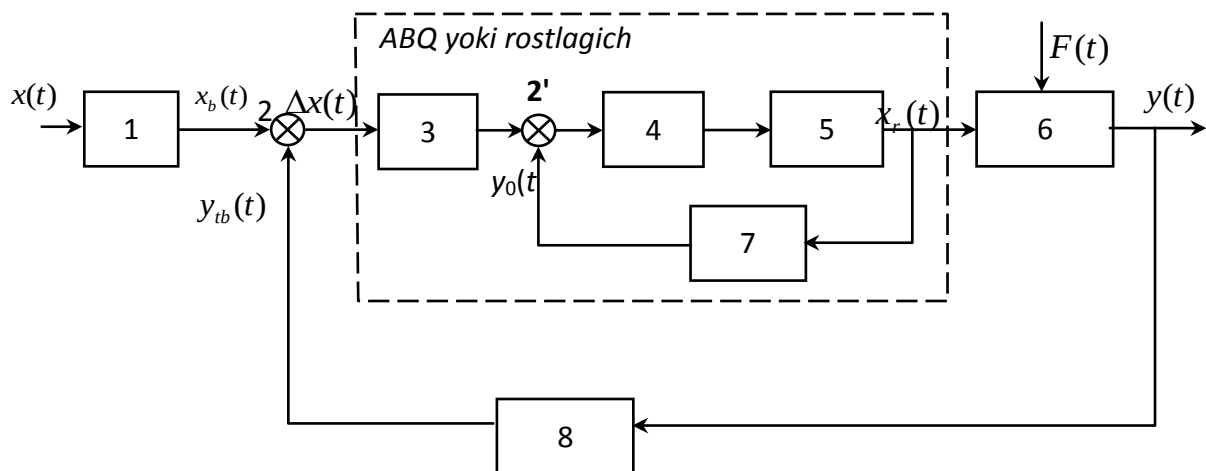
Oddiy avtomatik boshqarish tizimlarining funksional sxemasiga misol qilib, kirish va chiqish kattaligi bitta bo'lgan bir o'lchamli tizimni keltiramiz (1.4-rasm).

Bu yerda $x(t)$ – kirish signali; $y(t)$ – chiqish (rostlanuvchi yoki boshqariluvchi) kattalik; $x_b(t)$ – boshqariluvchi kattalikning berilgan qiymati; $\Delta x(t) = x_b(t) - y_{tb}(t)$ – boshqariluvchi kattalikning berilgan qiymatdan chetlashishi yoki og'ishi; $F(t)$ – qo'zg'atuvchi signal yoki ta'sir; $y_{tb}(t)$ – asosiy teskari bog'lanish signali; $y_0(t)$ – mahalliy teskari bog'lanish signali; $x_r(t)$ – boshqaruvchi, rostlovchi kattalik yoki signal.

1 – 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.



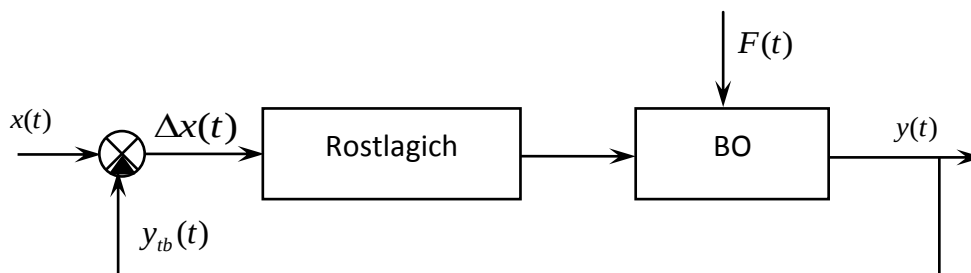
1.4-rasm. *Bir o'lchamli oddiy ABT funksional sxemasi.*

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

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

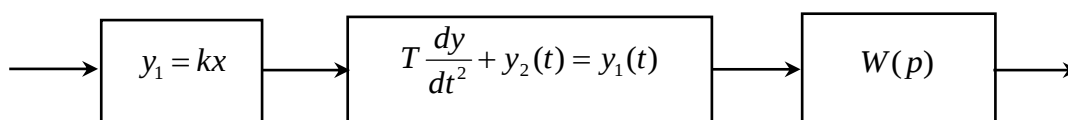
7 – mahalliy teskari bog‘langan element yoki korrektlovchi qurilma. Bu tizimning dinamik xususiyatini yaxshilash uchun ishlatiladi.

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 (1.5-rasm).



1.5-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 (1.6-rasm).

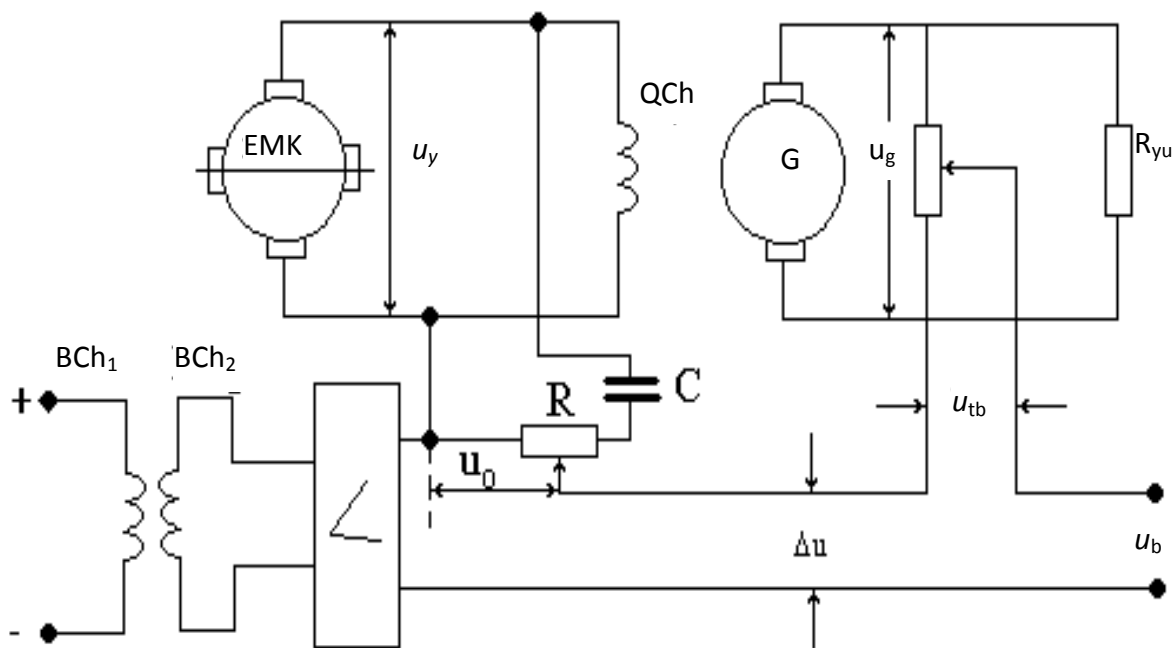


1.6-rasm. *Strukturaviy sxema.*

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

3. Avtomatik boshqarish sistemalariga misollar

1.1-misol. O‘zgarmas tok generatorining kuchlanishini avtomatik boshqarish tizimining prinsipial sxemasi 1.7-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.



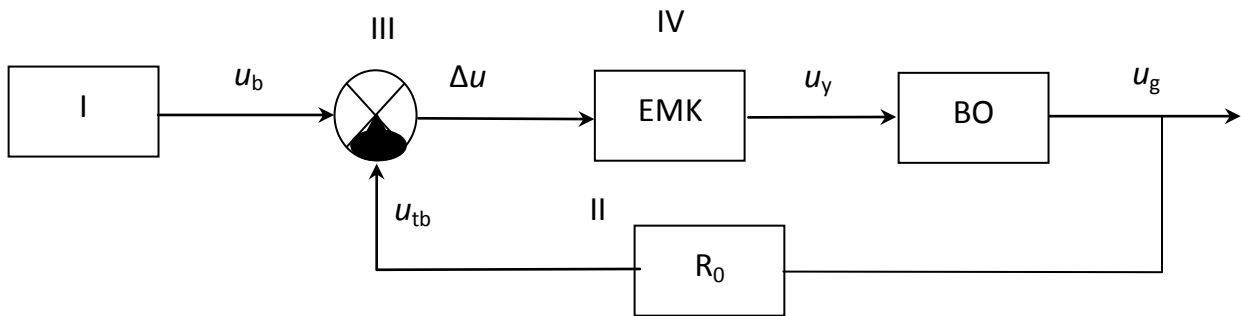
1.7-rasm. O'zgarmas tok generatorining kuchlanishini avtomatik boshqarish tizimining prinsipial sxemasi.

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 $\Delta u = u_b - u_{tb} = > 0$ bo'lishi kerak. Yuklama R_{yu} o'zgarishi bilan generator kuchlanishi u_g ham o'zgaradi, buning natijasida teskari bog'lanish kuchlanishi u_{tb} ham o'zgarib $\Delta u = u_b - u_{tb}$ kuchlanish hosil bo'ladi. Agar $\Delta u = u_b - u_{tb}$ 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 $\Delta u = u_b - u_{tb}$ 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.

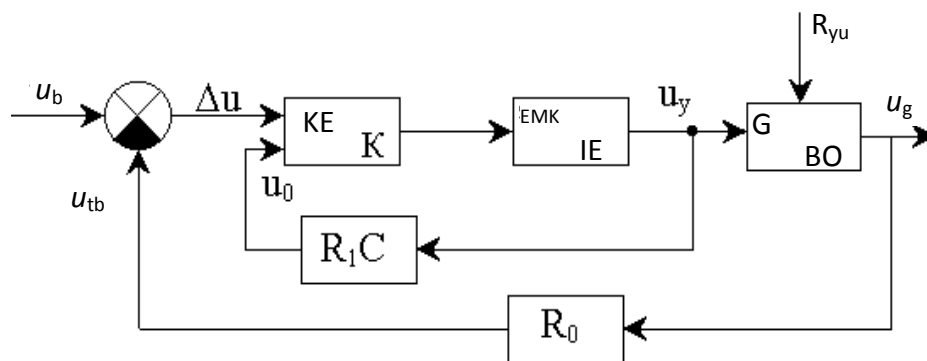
Endi bu tizim boshqarish tizimi ekanligini isbotlaymiz. Buning uchun boshqarishga muvofiq keluvchi 4 bosqichlarni aniqlaymiz (1.8-rasm): I – topshiriq $u_g = \text{const}$ bo'lishi kerak; II – boshqarish tug'risida axborot u_{tb} nung o'zgarishi; III –

taqqoslash, solishtirish, qaror qabul qilish ya'ni $\Delta u = u_b - u_{tb}$; IV – qabul qilingan qarorni ijro etish ya'ni kuchaytirgich va EMK yordamida amalga oshirish.



1.8-rasm.

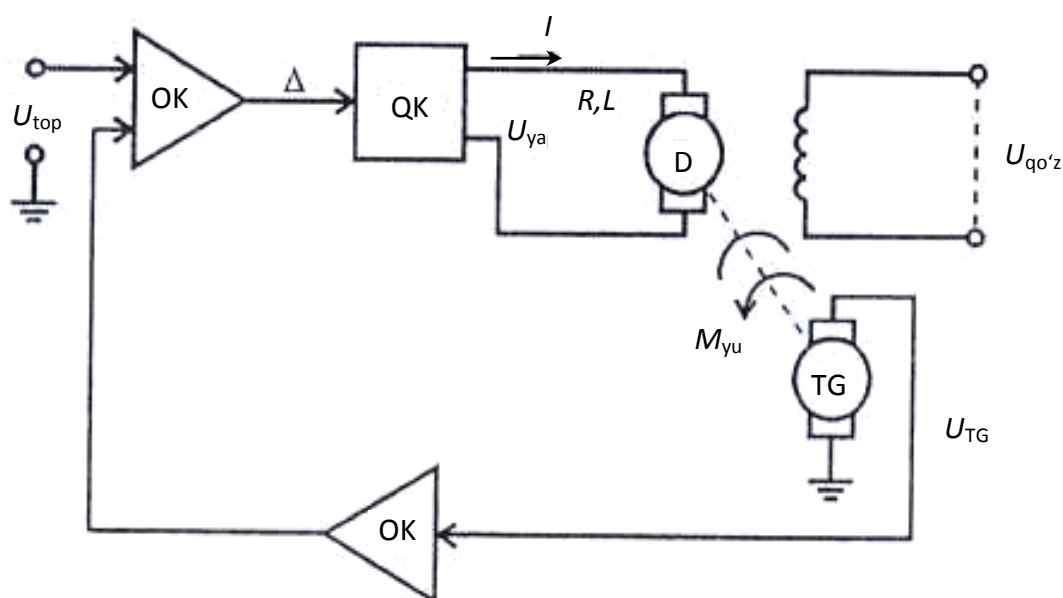
Ko'rilayotgan tizimning ishlash prinsipiga ko'ra, uning funksional sxemasini tuzamiz (1.9-rasm).



1.9-rasm. **Funksional 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 stabillash tizimidir*. 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. 1.10-rasmda bunday tizimlarni amalga oshirishning soddalashgan sxemasi keltirilgan.



1.10-rasm.

Bu yerda quyidagi belgilashlar kiritilgan: U_{top} – tizimga berilgan ta'sirning 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.

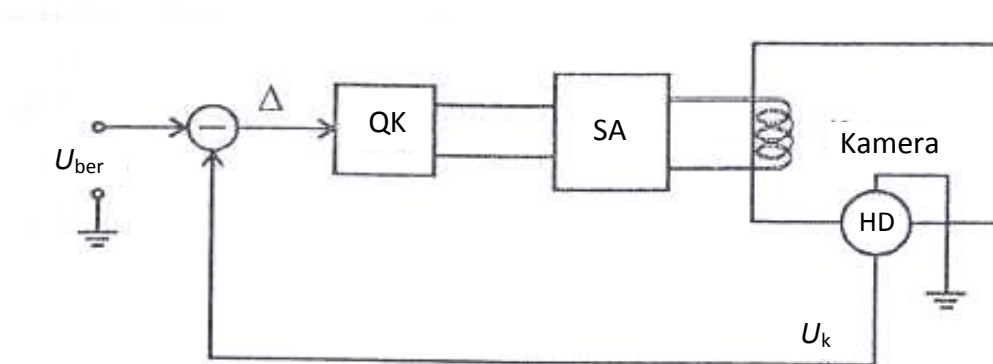
Ushbu tizimda manfiy teskari bog'lanish tashkil qilingan va u quyidagicha:

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

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'zgarganda yoki eshik ochilganda haroratni stabillashdan iborat maqsadni amalga oshiruvchi sodda avtomatik rostlash tizimi qo'llaniladi. 1.11-rasmda sovutgich haroratni rostlash tizimining soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan.



1.11-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, kameraqa 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 sovutish 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» sovutishga ishlaydi. Ushbu jarayonni quyidagi kattaliklar tavsiflaydi: kirish – U_{ber} , chiqish – harorat datchigidan chiquvchi kuchlanish; holat – kamera ichidagi harorat, xalaqit – qo'yilgan mahsulotdagi issiqlik miqdori.

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?

BOSHQARISHNING FUNDAMENDAL PRINSIPLARI.

Reja:

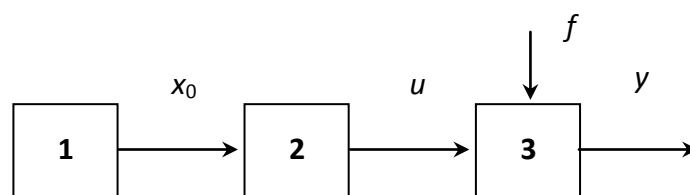
1. Ochiq boshqarish prinsipi.
2. G'alayonni kompensatsiyalash prinsipi.
3. Og'ish bo'yicha rostdash.
4. Kombinatsiyalashgan sistemalar.
5. Avtomatik boshqarish sistemalarining sinflanishi.

1. Ochiq boshqarish prinsipi.

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.

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 2.1-rasmda keltirilgan.



2.1-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 loyihalanayotgan 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 strelkalar 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.

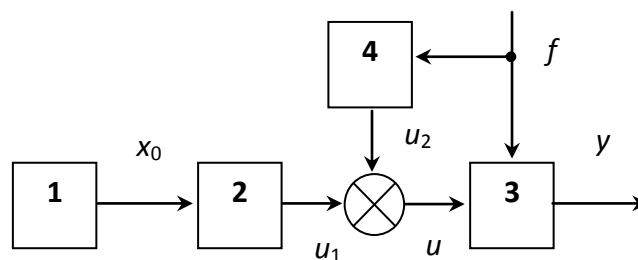
Bu elementlarning boshqa turi sifatida dasturiy elementni ishga tushiruvchi qurilmalar va dasturiy elementlarning o'zidan tashkil topgan dastur datchiklari qaralishi mumkin.

Elementlarning keyingi turi chiziqli o'zgartirgichlar hisoblanadi. Bunday o'zgartirgichlarning biri fizik kattalikni boshqa foydalanishga qulay bo'lgan kattalikka almashtirishni amalga oshiradi. Boshqa bir turi kuchaytirgichlarning kirish va chiqishida son qiymati har xil bo'lgan bir xil fizik kattaliklarga ega. Shuningdek, nochiziqli funksional o'zgartirgichlardan ham foydalaniladi.

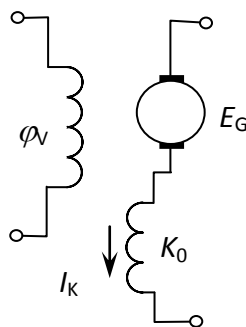
2. G'alayonni kompensatsiyalash prinsipi.

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 $y = F_1(u_1, f)$, boshqarishni $y = F_2(f)$ shunday tanlash mumkinki, o'rnatilgan tartibda chetlanish bo'lmasin, ya'ni $\Delta y = x_0 - F_1(u_1, f) = 0$. Bu prinsipning funksional sxemasi 2.2-rasmda ko'rsatilgan. Harorat o'zgarganda mayatnik uzunligini bir xilda ushlab turishni ta'minlab beruvchi xronometr mayatnigidagi turli issiqlik kengayish koeffitsiyentiga ega bimetallik sterjenlar tizimi bilan tushuntirish mumkin (2.3-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.



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

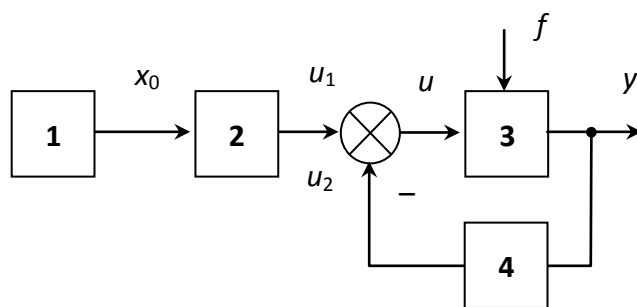


2.3-rasm. **Bimetallik sterjenlar tizimi.**

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 qanoatlantiruvchi matematik shartlarni oldi, lekin bu shartlarni fizikaviy jihatdan amalga oshirishda qiyinchiliklarga uchradi.

3. Og'ish bo'yicha rostdash.

Teskari aloqa yoki og'ish prinsipi. Tizimni shunday qurish ham mumkinki, ishlash ketma-ketligining aniqligi g'alayonlarni o'lchamasdan ham ta'minlansin. 2.4-rasmda korrektlovchi qurilmalar boshqarish ketma-ketligiga 2.1-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 *teskari aloqa* zanjiri deb ataladi, bunga asos bo'lib esa ta'sirlarni qo'shimcha aloqa orqali qarama-qarshi boshqarish obyektiga uzatilishi sanaladi.

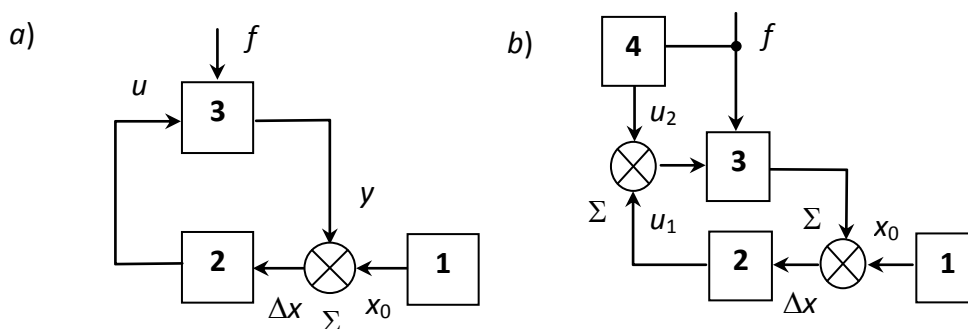


2.4-rasm. *Teskari aloqa yoki og'ish prinsipi.*

2.4-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 korreksiya bevosita y kattalik qiymatlariga binoan amalga oshiriladi, ularning qiymatlaridan chetlanishi bo'yicha esa, ishlash ketma-ketligi x_0 aniqlanadi, ya'ni $\Delta u = u_1 - u_2$.

4. Kombinatsiyalashgan sistemalar.

Teskari aloqa bilan turli ko'rinishli boshqarishni amalga oshiruvchi sxema 2.5,a - rasmda keltirilgan: $\mp$ element boshqarish ketma-ketligini topshiradi, solishtirish elementi – $\sum$ summator esa y ni x_0 dan keltirib chiqaradi, ya'ni chetlanish yoki xatolik deb ataluvchi Δx kattalikni ishlab chiqadi.



2.5-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:

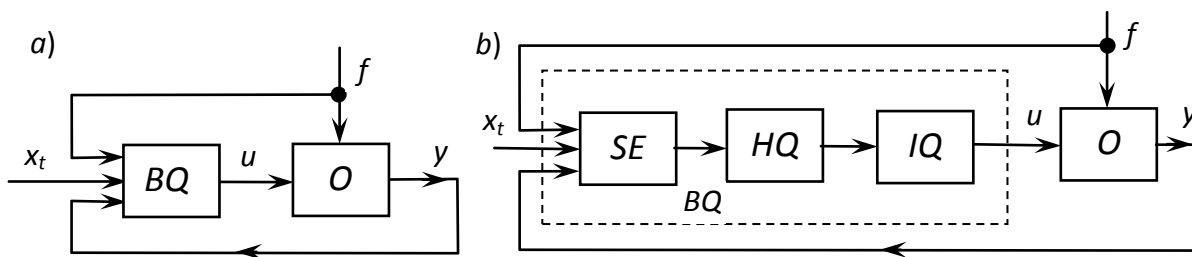
$$u = F(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \int_0^t \Delta x dt \dots), \quad \Delta x = x_0 - x \quad (1.1)$$

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 (2.5,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.

5. Avtomatik boshqarish sistemalarining sinflanishi.

Avtomatik boshqarish tizimlari (ABT) ning asosiy turlari va ularga tegishli tushunchalar bilan tanishish uchun avtomatik boshqarish nazariyasi nuqtai nazaridan jiddiy belgilari bo‘yicha tasnifini ko‘rib chiqamiz.



2.6-rasm. *Avtomatik boshqarish tizimining blok-sxemasi (a) va funksional sxemasi (b).*

Ochiq, berk va kombinirlashgan tizimlar. 2.6-rasmda tasvirlangan ABT sxemasida boshqaruvchi qurilmaga uch xil axborot kelib tushadi: ob’ektning holatini bildiruvchi kattalik y haqida, boshqarish maqsadini aks ettiruvchi kattalik x_t haqida va ob’ektning ish rejimini buzadigan g’alayon kattaligi f haqida.

Bu axborotlardan ba’zilarigina ishtirok etadigan ABTlar ham bo’ladi. Boshqaruvchi qurilma tomonidan foydalaniladigan axborot turiga qarab, ABTlar ikki turga ajratiladi: ochiq tizimlar va berk tizimlar.

Ochiq ABT da ob’ektdan chiqish kattaligi y o’lchanmaydi, ya’ni ob’ektning holati nazorat qilinmaydi. Ob’ektning chiqishi bilan boshqaruvchi qurilmaning kirishi teskari aloqa bilan bog’lanmagan ABTlar ochiq deyiladi, bog’langan bo’lsa – berk yoki berk konturli deyiladi.

Ba’zi ABT larda boshqaruvchi qurilma faqat bitta topshiriq beruvchi ta’sir - x_t ni, bitta qo’zg’atuvchi f ni o’lchaydi, ikkalasi bir vaqtning o’zida bajarilishi mumkin.

Ochiq ABT larning birinchi variantida berilgan topshiriq bo’yicha amalga oshiriladi: tashqaridan kelayotgan buyruq – x_t larni ob’ektning “chiqish” kattaligi – y ning tegishli o’zgarishiga keltiriladi (boshqaruvchi ta’sir – u ni o’zgartirish yo’li bilan). Bunda y va x_t kattaliklar o’rtasidagi moslikning aniqligi tizim va qo’zg’alish parametrlarining doimiyliigi bilan butkul aniqlanadai va nazorat qilinmaydi. Shuning uchun, bunday tizimlar amalda tizimning yuqorida aytilgan ish sharoitlari yuqori darajada stabil bo’lganda va aniqlik talabi pastroq bo’lganda yaroqli.

Ochiq ABT larning ikkinchi varianti - qo’zg’alaishlar bo’yicha avtomatik boshqarish tizimi yoki avtomatik kompensatsiyalash tizimi deyiladi. Bunday tizimlar, boshqarish masalalari ob’ektning “chiqish” kattaligini o’zgarmas holda ushlab turishdan iborat bo’lgandagina qo’llanadi.

Topshiriq beruvchi va qo’zg’atuvchi ta’sirlar bo’yicha boshqarish sisitemasi ochiq ABT larning eng to’liq ko’rinishi hisoblanadi. Bu holda ob’ektni ikkita kattalik

x_t va y ning funksiyasi sifatida ko‘riladi, ya’ni ochiq tizimlarning oldingi ikki varianti qo‘shiladi.

Qo‘zg‘ovchini kompensatsiyalash prinsipi ochiq ABT larda boshqarish aniqligini sezilarli ko‘taradi. Biroq, bu aniqlik juda ham baland bo‘lmaydi. Buning sabablari: kompensatsiyalash bilan tizimga ta’sir etuvchi qo‘zg‘ovchilarning hammasini (shu jumladan, boshqaruvchi qurilmaga ta’sir etayotgan) qamrab olib bo‘lmaydi; 2) vaqt o‘tishi bilan ob’ekt va boshqaruvchi qurilmaning parametrlari o‘zgarib turadi. Bu kompensatsiyalash parametrlariga ham tegishli. Kompensatsiyalash zanjirining noaniqligi va o‘zgarib turishi ham ob’ektning “chiqish” kattaligini o‘zgartirib yuboradi. Aytilgan sabablarga ko‘ra, ochiq ABT lar boshqarish aniqligi bo‘lgan talablar baland bo‘lmagan hollardagina qo‘llanadi.

Berk ABT larda boshqaruvchi qurilmaning “kirish”iga topshiriq ta’siri x_t va “chiqish”iga y kattaligi beriladi. Boshqaruvchi qurilma x_t kattaligidan kelib chiqib, y ning talab etilgan qiymatini aniqlaydi va uning joriy qiymatini bilgan holda, ob’ektga ta’sir o‘tkazib, y va x_t larni bir-biriga muvofiqlashtirib turadi.

Bunday ABT da boshqaruvchi qurilma y ning, x_t talab etgan qiymatidan har qanday og‘ishini yo‘qotishga intiladi. Og‘ishni keltirib chiqargan sabalar, shuningdek, har qanday qo‘zg‘ovchilar, tashqi va ichki holatlar, tizim parametrlarining o‘zgarishlariga qarab o‘tirmaydi.

2.6,b-rasmdan ko‘rinadiki, bunday ABT ob’ekt va boshqaruvchi qurilmadan tashkil topgan berk konturdan iborat. Unda boshqaruvchi qurilma ob’ektning “chiqish” va “kirish” ini bog‘lab, teskari aloqa hosil qiladi.

Berk ABT lar yana “teskari aloqali tizim” yoki “og‘ishlar bo‘yicha boshqarish tizimsi” deb ham ataladi.

Bu tizimlar boshqarishning cheksiz aniqligini ta’minlay oladi va shuning uchun ABT larning asosiy turi deb hisoblanadi.

Qurama ABT lar og‘ishlar bo‘yicha berk boshqaruv tizimsi va tashqi ta’sirlar bo‘yicha ochiq boshqaruv tizimsini bitta tizimga birlashtiradi (2.6-rasm) va ob’ektning “chiqish” kattaligiga qandaydir qo‘zg‘ovchining ta’sirini kompensatsiyalaydi, berk tizimning vazifasini osonlashtiradi va shu bilan, uni soddalashtiradi va boshqarish aniqligini oshiradi.

Qurama tizimlarda ob’ekt va tashqi vaziyat haqidagi axborotlardan to‘liq foydalanilgani uchun ham boshqarish sifati ortadi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Ta'sir, g'alayon, signal, obyekt, qurilma kabi iboralarni tushuntiring.
2. Avtomatik boshqarish tizimlarida qanday sxemalardan foydalaniladi va ularni tushuntiring?
3. Boshqarishning qanday fundamental prinsiplarini bilasiz?
4. Kompensatsiyalash (g'alayon bo'yicha boshqarish) prinsipi bilan teskari aloqa (og'ish) prinsiplari orasida qanday farq bor?
5. Avtomatik boshqarish tizimlar asosiy sinfiy belgilariga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?
6. Ochiq, berk va kombinirlashgan tizimlarning bir-biridan asosiy farqini tushuntiring.

AVTOMATIK BOSHQARISHNING ASOSIY KO'RINISHLARI.

Reja:

1. Stabillovchi boshqarish sistemalari.
2. Programmali(dasturli) boshqarish sistemalari.
3. Kuzatuvchi sistemalar.
4. Optimal va adaptiv boshqarish sistemalari.
5. Rostlashning asosiy qonunlari.

1. Stabillovchi boshqarish sistemalari.

Avtomatik boshqaruv tizimlarining xususiy lekin, keng tarqalgan bu turi “Avtomatik rostlash tizimi” (ART) deyiladi. Uning vazifasi (masalasi) ob’ektning “chiqish” kattaligini berilgan daraja - x_t da saqlab turishdan, ya’ni $y = x_t$ ni ta’minlashdan iborat.

ART lar, ko’rsatadigan ta’siriga qarab uch turga bo’linadi: stabillovchi tizimlar, dasturiy boshqarish tizimlar va qo’zg’atuvchi tizimlar. Birinchisida topshiriq o’zgarmaydi, ikkinchisida-avvaldan berilgan qonun bo’yicha o’zgaradi, uchinchisida ham o’zgaradi, lekin o’zgarish qonuni oldindan ma’lum bo’lmaydi.

Uchinchisida topshiriq (ta’siri) tizimga tashqaridan keladi va tizimning vazifasi – ob’ektning “chiqish” kattaligini shunday kuzatishdan iborat-ki, natijada $y = x_t$ tenglab ushlab turilsin.

ART dagi boshqaruvchi qurilma “rostlagich” deb, “chiqish” kattaligi esa “rostlanuvchi kattalik ” deb ataladi.

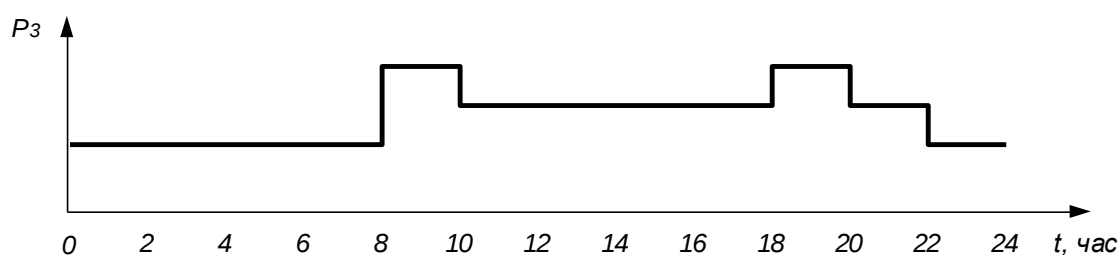
Stabillash. Boshqarish kattaligining doimiyligini ushlab turuvchi tizimlar barqarorlashgan tizimlar deb ataladi. Ularning kerakli qonuni quyidagicha bo’ladi: $X_0(t)=const$.

Statik regulyator rostlanuvchi kattalikning xatoligini o’zgarmas qiymatda ushlab turadi. Statizm-salt yurishdan to belgilangan yurishgacha bo’lgan kuchlanishdagi xatoliklarning o’zgarish kattaligidir. Ayrim tizimlarda statik xatolik qatnashmaydi. Tizimning struktura kuchi nolga teng bo’lgan hollarda va astatik rostlashda u rostlashga o’tadi.

Astatik rostlashga ega bo’lish uchun regulyatorda rostlanuvchi organning joylashishi va rostlanuvchi qiymatning kattaligi orasida rostlanuvchi kattalikning qiymati xoxlagan kuchlanishni ko’tarishi maqsadida mustahkam tobelikdan chetda bo’lishi kerak. Buning uchun rostlash zanjiriga astatik zveno kiritish kerak.

2. Programmali(dasturli) boshqarish sistemalari.

Programmali boshqarish. Dasturiy boshqarishda funksiyalashtirish algoritmi berilgan va dasturlarni qayta ishlovchi $X_0(t)$ maxsus qurilma qurish mumkin. SHunday qilib, 3.1.-rasmda ko'rsatilgan barcha sxemalarda $X_0(t)$ funksiya berilgan, zveno 1 esa bu funksiyani bajaruvchi dasturiy boshqarish sinfiga kiruvchi dastur datchigini o'zida aks ettiradi. Dasturiy boshqarish istalgan boshlang'ich prinsip yoki ularning kombinatsiyasi yordamida amalga oshirilishi mumkin.



3.1. rasm

3. Kuzatuvchi sistemalar.

Kuzatuvchi sistemalar. Kuzatuvchi tizimlarda funksiyalashtirish algoritmi oldindan aniq bo'lmaydi. Odatda bunday tizimlarda rostdlash kattaligi kuzatilayotgan ayrim tashqi faktorlarda o'zgarishni qayta tiklashi kerak. Avtomatik boshqariluvchi zenit asboblari kuzatuv maqsadlariga qarata tez aylantirilishi kerak. Kuzatiluvchi tizim boshqarishning istalgan boshlang'ich prinsipi asosida to'ldirilgan bo'lishi mumkin va dasturiy boshqarishning munosib tizimidan dastur datchigi o'rniga tashqi omillarni o'zgarishga yaqinlashtiruvchi qurilmani qo'llash bilan farqlanadi.

Bir bog'lanishli va ko'p bog'lanishli tizimlar. Boshqarish ob'ektining "chiqish" kattaligining "chiqish" koordinatalari (ular "chiqish" kattaligining vektorini tashkil qiladi) soniga qarab, ABT lar bir bog'lanishli va ko'p bog'lanishli (ikki o'lchamli va h.k) turlarga bo'linadi.

Ko'p bog'lanishli ABT (ART) lar o'z navbatida, "bog'langan" va "bog'lanmagan" boshqarish (rostlash) turlariga ajraladi.

"Bog'lanmagan boshqarish tizimi" bir nechta boshqaruv qurilmasiga ega bo'lib, har biri o'ziga tegishli "chiqish" koordinatasini boshqaradi. Bunda boshqaruv qurilmalari bir-biriga bog'lanmaydi.

“Bog‘langan boshqarish tizimi” da boshqaruvchi qurilmalar bir-biriga, tashqi bog‘lanishlar vositasida ulanadi.

Ko‘p bog‘lanishli boshqarish tizimsining tarkibiga kiradigan (bog‘langan va bog‘lanmagan) alohida boshqarish tizimsi “avtonom” deb hisoblanishi uchun, ob‘ektning u boshqaradigan chiqish koordinatasi boshqa koordinatalarning qiymatiga qaram bo‘lmaydi, ya’ni boshqalarining o‘zgarishi, unisi (birinchisi) ni o‘zgartirmaydi.

Chiziqli va nochiziqli tizimlar. Noma’lum parametri birinchi darajada bo‘lgan (chiziqli) tenglamalar bilan ifodalangan tizim “chiziqli tizim” deyiladi. Darajasi ikki va undan ko‘p bo‘lgan tenglamalar bilan ifodalanganlari “nochiziqli tizim” deyiladi. Tizimni nochiziqli deb atash uchun tenglamalar tenglamasida bitta bo‘lsa ham nochiziqli tenglama bo‘lishi kifoya.

Chiziqli tizimlar uchun superpozisiya prinsipi xos. Buning ma’nosi shundan iboratki, tizimlashqi ta’sirlarning istalgancha kombinasiyasiga ko‘rsatgan qarshilik (reaksiyasi), har bir ta’sirga ko‘rsatilgan alohida-alohida reaksiyalar yig‘indisiga teng. Bu prinsipi tizimning istalgan bir ta’sirga reaksiyasini elementar namunaviy ta’sirga ko‘rsatadigan reaksiyasi orqali ifodalash imkonini beradi. Buning uchun muayyan ta’sirni tanlangan namunaviy ta’sirlar majmuasi ko‘rinishida ifodalash kifoya. Superpozisiya prinsipi tufayli istalgan tartibdan chiziqli differensial tenglamalar bilan ifodalangan chiziqli ABT larning umumiy nazariyasi ishlab chiqilgan.

Superpozisiya prinsipining nozichiqli tizimlarga nisbatan qo‘llab bo‘lmaydi. Bunday ABT lar uchun umumiy nazariyasi ishlab chiqarish imkonini beradigan nochiziqli differensial tenglamalarning umumiy nazariyasi ham yo‘q. Faqat, yuqori darajali ba’zi nochiziqli tenglamalarni yechishga yaroqli bir qancha xususiy usullargina mavjud. Shu bilan birga agar kirish ta’sirlarining o‘zgarish diapazonini cheklab qo‘yilmasa, hamma real ABT lar nochiziqli bo‘lib qoladi.

Statsionar va nostatsionar tizimlar. Parametrlari vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydigan tizim statsionar tizim deyiladi. Parametrlari o‘zgarib turadigan tizim - nostatsionar tizim deyiladi. Bunday tizimning differensial tenglamalari tizimsisidagi ba’zi koeffisientlar vaqt funksiyasi bo‘ladi. Bu ta’riflarga ko‘ra, statsionar tizimning bitta ta’sirga reaksiyasi ta’sir kuchga kirgan ongga bog‘liq bo‘lmaydi.

Uzluksiz va diskret tizimlar. Tizimni tashkil etuvchi bo‘g‘inlarning ish turiga qarab, ABT lar uzluksiz va diskret jarayonli bo‘ldai.

Uzluksiz tizimlarning bo‘g‘inlari uzluksiz ishlaydi, ya’ni “chiqish” kattaligi silliq o‘zgaradi, “kirish kattaligi ham shunday o‘zgarishi kerak.

Diskret tizim-shunday tizimki, hech bo‘lmaganda bitta bo‘g‘ini diskret tarzda ishlaydi. Diskret bo‘g‘in shunday bo‘g‘inki, hech bo‘lmaganda bitta bo‘g‘ini diskret

tarzda ishlaydi, ya'ni sakrab-sakrab o'zgaradi, hatto "kirish" kattaligi silliq o'zgarsa ham.

4. Optimal va adaptiv boshqarish sistemalari.

Optimal boshqarish. So'nggi yillarda texnik tizimlardagi ishlab chiqarish jarayonlarining sifatini oshirish kabi tashkiliy boshqaruv tizimlarida ham korxonalar, tashkilotlar va xalq xo'jaligining tarmoqlarini faoliyatini mukammallashtirish uchun optimal boshqarish usuli qo'llanila boshlandi.

Dinamik texnik tizimlarda boshqarishda o'tish jarayonlarini optimizatsiyalashtirish doimo ahamiyatga ega. Ularda sifat ko'rsatkichi koordinataning faqatgina joriy qiymatlaridan emas, balki ular xarakterining oldingi, hozirgi va keyingi o'zgarishlari bilan xarakterlanadi va ayrim koordinata funksionallarining xosil bo'lishi yoki vaqti bilan ifodalanadi.

O'xshash dinamik topshiriqlarda optimal boshqarishni topish uchun boshqarish jarayonida qiyin matematik topshiriqlarni variatsion hisoblash usuli bilan yoki matematik dasturlashni tizimni matematik tavsifining ko'rinishiga bog'liq holda echish talab etiladi.

Adaptiv va noadaptiv tizimlar. Adaptiv yoki o'z-o'zidan moslashuvchi tizim tashqi sharoitlarga moslashishi xususiyatiga ega bo'ldai, shuningdek, tajriba orttirgani sari o'z ishini yaxshilab boradi. Noadaptiv yoki oddiy tizimlar bunday xususiyatga ega emas. Ular jonli moslashishga sozlangan. Agar bunday tizimning ishlash sharoiti o'zgarishi tufayli boshqarishning berilgan sifatini saqlab qolish maqsadida tizimning sozini ham o'zgartirish kerak bo'lsa, bu ishni odam bajarishi lozim. Tizim adaptiv bo'lgan holda bu ishni boshqaruv qurilmasining o'zi avtomatik tarzda bajaradi.

Adaptiv ABT larni qo'llash sohasi – bu ishlash xususiyatlari va sharoitlari yetarlicha aniq bo'lmagan yoki jiddiy beqaror bo'lgan ob'ektlarni boshqarishdan iborat. Bunday sharoitda oddiy adaptiv tizim yo qoniqarsiz ishlaydi yoki doimiy nazoratni talab qiladi.

5. Rostlashning asosiy qonunlari.

Ob'ektda boshqaruvchi ta'sir inertsionsiz boshqarish qurilmasi yordamida ishlab chiqilsa boshqarish qonunlari o'zaro bog'liq bo'ladi.

Qonunlarni ta'riflashda o'lchamsiz o'zgaruvchan ta'sirlarni qo'llash ancha oson bo'ladi:

$\varepsilon = \Delta x / x_a$ $\mu = U / U_a$ bu erda x_b va U_a bazaviy qiymat.

Proporsionallik qonuni: $\mu = k_p \varepsilon$

Regulyator shu qonunga bo'ysungan xollarda boshqarishni boshqarishni proporsional deb atash mumkin. O'zgarmas k_p -regulyatorning uzatishlar soni deyiladi, teskari kattaliklar esa regulyatorning statizmi deyiladi. Regulyatorning statizmi o'sishi bilan birga rostdash statizmi xam o'sib boradi.

Integral qonuni (I):

$$\mu = \frac{1}{T} \int_0^1 \varepsilon dt \quad \text{ili} \quad d\mu / dt = \varepsilon / T$$

O'zgarmas vaqt birligi T ni integrallashning o'zgarmas vaqti deb ataladi. Astatik integral regulyator yordamida ko'rilayotgan oddiy astatik rostdash sxemasini amalga oshiriladi.

Proporsional-integral qonun (PI):

$$\mu = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T} \int_0^1 \varepsilon dt \right)$$

Ba'zan uni integral korreksiyalashning proporsional qonuni deb ataladi. Proporsional-integral regulyator astatik rostdashni xam ta'minlaydi. Bunda tenglamaning $d\mu / dt = k_p (d\varepsilon / dt + \varepsilon / T)$ ko'rinishga kelishiga ishonish mumkin.

Muvozanatlilik $\varepsilon = 0$ bo'lganda o'zgarmas xarakatlarning muvozanat xolati $d\mu / dt = 0$; $d\varepsilon / dt = 0$ bo'lishi kerak. Proporsional-integral-differensial qonun (PID).

T_I va T_D integrallash va differensiallashning o'zgarmas vaqti deb ataladi. Proporsional-integral-differensial regulyator astatik rostdashni xam ta'minlaydi. Jarayonning sifatini oshirish uchun rostdash qonuniga $d\varepsilon / dt$ kiritiladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Avtomatik rostdash tizimlari (stabillovchi tizimlar, dasturiy boshqarish tizimlari, qo'zg'atuvchi tizimlar) ning vazifasi qanday?
2. Bir bog'lanishli va ko'p bog'lanishli tizimlar deb nimaga aytiladi?
3. Chiziqli va nochiziqli tizimlar deb qanday tizimlarga aytiladi?
4. Statsionar va nostatsionar tizimlar deb qanday tizimlarga aytiladi?
5. Uzluksiz tizimlarning diskret tizimlardan farqi nimada?
6. Adaptiv tizimlar deb nimaga aytiladi?

MA'RUZA №4

DINAMIKA VA STATIKA TENGLAMALARI. CHIZIQLANTIRISH.

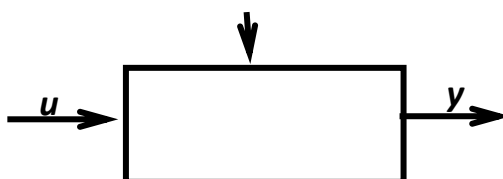
Reja:

1. Dinamika va statika tenglamalari.
2. Chiziqlantirish.

1. Dinamika va statika tenglamalari.

Avtomatik boshqarish tizimlarini tadqiq etish va ishlab chiqishning ma'lum bir bosqichida tizimda kechadigan jarayonlar matematik tilda ifodalanadi. Bunday ifoda analitik (tenglamalar), grafik (grafiklar, sxemalar, graflar, diagrammalar) va jadval ko'rinishlarida bo'lishi mumkin.

Avtomatik boshqarish tizimlarining tenglamalari (shuningdek, strukturaviy sxemalari) *matematik model* deb ataladi. Bunday nomlanishining sababi, fizik jarayonlarni matematik ifodalar (tenglamalar) bilan ifodalashda qandaydir terminlar va farazlarga yo'l qo'yiladi. Bitta tizimning matematik modeli tadqiqot maqsadiga qarab har xil ko'rinishga ega bo'lishi mumkin.



4.1-rasm.

Boshqarish tizimi va uning istalgan bir elementi kirish signali $x(t)$ ni chiqish signali $y(t)$ ga aylantiradi. Matematik nuqtai nazardan ular quyidagi tenglamada aks ettiriladi:

$$y(t) = Ax(t).$$

Bu tenglamaga ko'ra, kirish signali $(x(t) \in X)$ ga oid X to'plamdan har bir $x(t)$ elementga chiqish signallari $[y(t) \in Y]$ ga oid Y to'plamdagi ma'lum bir element $y(t)$ ga mos deb belgilanadi. Tenglamada keltirilgan A – *operator* deb ataladi. Boshqarish tizimining kirish va chiqish signallari (elementlari) o'rtasidagi muvofiqlikni belgilaydigan operator, shu *tizimning operatori* deyiladi. Tizimning operatorini berish

– shu tizimning chiqish signalini, kirish signali bo'yicha aniqlash qoidasini berish demakdir.

Uzluksiz boshqarish tizimlarini differensial tenglamalar yordamida matematik ifodalashni ko'rib chiqamiz. Ko'p hollarda zveno va tizimlar ixtiyoriy tartibda nochiziqli differensial tenglamalar bilan ifoda etiladi. Bu erda zveno so'zi ostida elementning matematik modeli tushuniladi. Misol uchun, bitta zvenoni olib ko'ramiz (2.1-rasm), uni ikkinchi darajali differensial tenglama bilan ifoda etish mumkin

$$F(y, \dot{y}, \ddot{y}, u, \dot{u}) + f = 0, \quad (4.1)$$

bu yerda: y – chiqish kattaligi; u, f – kirish kattaliklari; $\dot{y}, \dot{u}$ – vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosilalar; $\ddot{y}$ – vaqt bo'yicha ikkinchi tartibli hosila.

Ixtiyoriy kirish ta'sirlari bo'lgan zvenoda jarayonlarni aks ettirgan (4.1) tenglamani *dinamika tenglama* deb ataladi. Faraz qilaylik kirish kattaliklari $u = u^0$ va $f = f^0$ o'zgarmas bo'lganda, zvenodagi jarayon vaqt o'tishi bilan muvozanatlashadi va chiqish kattaligi o'zgarmas qiymat $y = y^0$ qabul qiladi. Shundan (2.1) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$F = (y^0, 0, 0, u^0, 0) + f^0 = 0. \quad (4.2)$$

Bu tenglama statik yoki muvozanatlashgan rejimlarni aks etiradi va *statika tenglamasi* deb ataladi.

Statik tavsiflardan foydalanib statik rejimni grafik ko'rinishda aks etirishimiz mumkin. Zveno yoki element (shuningdek, tizim) ning *statik tavsifi* deganda chiqish kattaligining kirish kattaligiga statik rejimdagi bog'liqligi tushuniladi.

2. Chiziqlantirish.

Avtomatik tizimlar, odatda nochiziqli differensial tenglama bilan ifoda etiladi. Lekin, ko'p hollarda chiziqli ko'rinishga keltirish mumkin, ya'ni dastlabki nochiziqli tenglamalarni tizimdagi jarayonlarni taxminiy aks ettiradigan chiziqli tenglamalar bilan almashtirish mumkin. Nochiziqli tenglamalarni chiziqli tenglamalarga o'zgartirish – *chiziqlantirish* yoki *chiziqli holatga keltirish* deyiladi.

Avtomatik tizimlarda berilgan rejim saqlanib turishi lozim, shunda tizim zvenolarining kirish va chiqish kattaliklari ma'lum bir qonuniyat bilan o'zgaradi. Xususan, stabillovchi tizimlarda ma'lum o'zgarmas qiymatlar qabul qilinadi. Biroq, turli g'alayon ta'sirida amaldagi rejim talab etilgan (oldindan berilgan) rejimdan farq qiladi, shuning uchun kirish va chiqish kattaliklarining joriy qiymatlari berilgan rejim qiymatlariga teng bo'lmaydi. Normal ishlaydigan avtomatik tizimlarda amaldagi rejim talab etilgan rejimdan biroz farq qiladi, zvenolarning kirish va chiqish kattaliklari ham talab etilgan qiymatlardan ham biroz farqlanadi. Aynan shu holat,

tenglamalarga kirgan nochiziqli funksiyalarni Teylor qatoriga ajratib, chiziqlantirish amalini bajarish imkoniyatini beradi. Bu ishni zvenolar bo'yicha bajarish mumkin.

2.1-misol. Yuqorida bayon etilganlarni (4.1) tenglamada aks etgan zveno misolida ko'rib chiqamiz.

Quyidagi rejim berilgan bo'lsin:

$$u = u^*; \dot{u} = \dot{u}^*; f = f^*; y = y^*; \dot{y} = \dot{y}^*; \ddot{y} = \ddot{y}^*, \quad (4.3)$$

u , f va y larga tegishli real qiymatlarning talab etilgan qiymatlaridan og'ishini Δu , Δf va Δy bilan belilaymiz, ya'ni

$$\Delta u = u - u^*; \Delta f = f - f^*; \Delta y = y - y^*.$$

Shunda quyidagi tenglamani olish mumkin:

$$u = u^* + \Delta u; \dot{u} = \dot{u}^* + \Delta \dot{u}; f = f^* + \Delta f; y = y^* + \Delta y; \dot{y} = \dot{y}^* + \Delta \dot{y}; \ddot{y} = \ddot{y}^* + \Delta \ddot{y}.$$

Bu ifodalarni (4.1) ga qo'yamiz va F ni mustaqil o'zgaruvchi $-u, \dot{u}, y, \dot{y}$ va $\ddot{y}$ larning funksiyasi deb qabul qilib, uni (4.3) nuqtada Teylor qatoriga yoyamiz va yuqori darajali kichik hadlarni tashlab yuboramiz. Unda (4.1) ifodaning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$F^* + (\partial F / \partial y)^* \Delta y + (\partial F / \partial \dot{y})^* \Delta \dot{y} + (\partial F / \partial \ddot{y})^* \Delta \ddot{y} + (\partial F / \partial u)^* \Delta u + (\partial F / \partial \dot{u})^* \Delta \dot{u} + f^* + \Delta f = 0. \quad (4.4)$$

Bunda ifodalar tepasidagi yulduzchalar – tegishli funksiyalar va hosilalar (4.3) formula bo'yicha aniqlangan argument qiymatlari bilan hisoblab topilishini bildiradi. Tizimda berilgan rejim o'rnatilganda, (4.1) tenglama $F^* + f^* = 0$ ko'rinishiga keladi. Bu tenglamani (4.4) dan ayirib tashlab, zvenoning og'ishlar bilan ifodalangan tenglamasini topamiz:

$$a_0 \Delta \ddot{y} + a_1 \Delta \dot{y} + a_2 \Delta y - b_0 \Delta u - b_1 \Delta \dot{u} - c_0 \Delta f = 0. \quad (4.5)$$

$$\text{Bunda } a_0 = (\partial F / \partial \ddot{y})^*; a_1 = (\partial F / \partial \dot{y})^*; a_2 = (\partial F / \partial y)^*;$$

$$b_0 = -(\partial F / \partial u)^*; b_1 = -(\partial F / \partial \dot{u})^*; c_0 = -1.$$

Agar vaqt t dastabki tenglama (4.1)ga aniq kirmasa va bundan tashqari, berilgan rejim statik, ya'ni y^*, u^* va f^* vaqtga bog'liq bo'lmasa, chiziqlantirilgan tenglama (4.5)ning koeffitsientlari o'zgarmas (doimiy) bo'ladi.

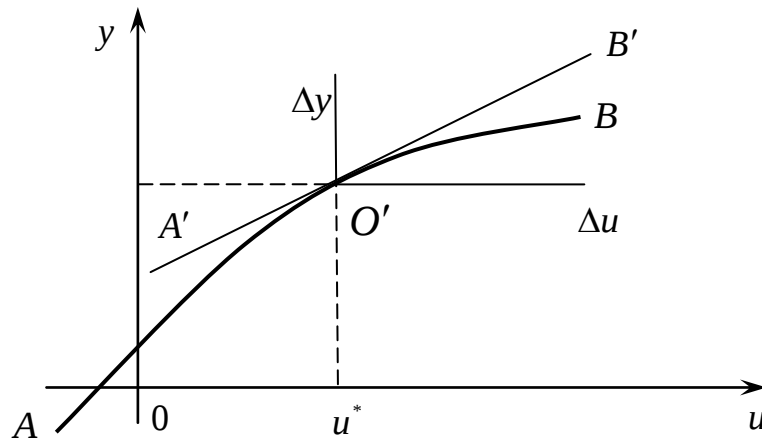
Chiziqli tenglamalar bilan bayon etiladigan zvenolar va tizimlar *chiziqli zvenolar* va *chiziqli tizimlar* deb ataladi.

(4.5) tenglama quyidagi farazlar bilan keltirib chiqarilgan:

1) chiqish Δy va kirish Δx og'ishlari etarlicha kichkina;

2) funksiya F , berilgan rejimga mos keladigan nuqtalar atrofida o'zining hamma argumentlari bo'yicha uzluksiz xususiy hosilalarga ega.

Ko'pincha, zvenoning tenglamasiga kiruvchi alohida o'zgaruvchilar orasidagi nochiziqli bog'lanish egri chiziq ko'rinishida beriladi. Bunday hollarda chiziqlantirishni grafik usulida bajarish mumkin.



4.2-rasm. Ikkita o'zgaruvchi orasidagi nochiziqli bog'lanishni geometrik chiziqlantirish.

Ikkita o'zgaruvchi orasida nochiziqli bog'lanishni geometrik chiziqlantirish (4.2-rasm) dastlabki egri chiziq AB ni O' nuqtada o'tkazilgan urinmasining $A'B'$ kesmasi bilan almashtirishdan iborat. Bunda O' nuqta berilgan rejimga mos keladi va koordinata boshi shu nuqtaga parallel ko'chiriladi.

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?

LAPLAS ALMASHTIRISHI VA UNING XOSSALARI.

Reja:

1. Laplas almashtirishi haqida umumiy tushuncha.
2. Laplas almashtirishi va uning xossalari.

1. Laplas almashtirishi haqida umumiy tushuncha.

Chiziqli differensial tenglamalarni yechimini olish maqsadida samarali va bevosita yetakchi bo'lgan tatbiqiy 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'rniga algebraik tenglamalardan foydalanishga imkon beradi, ya'ni differensiallash va integrallash operatsiyalari ko'paytirish va bo'lish operatsiyalari bilan almashtiriladi. 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

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

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.

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

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

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

Laplas teskari almashtirishi.

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

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

5.1-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	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	$\frac{1}{\omega} \text{sh } \omega t$	$\frac{1}{p^2 + \omega^2}$
$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{p + \alpha}$	$\text{ch } \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
$te^{-\alpha t}$	$\frac{1}{(p + \alpha)^2}$	$e^{-\alpha t} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(p + \alpha)^2 + \omega^2}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	$e^{-\alpha t} \cos \omega t$	$\frac{p + \alpha}{(p + \alpha)^2 + \omega^2}$

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 almashtirishdan 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.

Nazorat va muhokama savollari

1. Impulsli signal (funksiya) ni tushuntiring.
2. Impulsli o'tkinchi xarakteristika yoki vazn funksiyasi deb nimaga aytiladi va u qanday belgilanadi?
3. Garmonik signal (funksiya) to'g'risida tushuncha bering.
4. Laplas almashtirishi deb nimaga aytiladi va uning qanday xossalari mavjud?
5. Uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi?

MA'RUZA №6

TIPIK KIRISH SIGNALLARI.

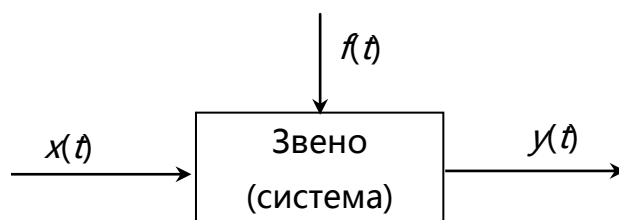
Reja:

1. Birlik pog'onali signal yoki pog'onali funksiya.
2. Impul'sli signal (funksiya).
3. Garmonik (sinusoidal) signal (funksiya).

1. Birlik pog'onali signal yoki pog'onali funksiya.

Sistemada bo'layotgan jarayonni o'rganish uchun uni ifoda etuvchi differensial tenglamaning echimini yoki bu tenglamani qandaydir yo'l bilan topish kerak.

Buning uchun kirish signali vaqtga bog'liq bo'lishi shart. ABSlarida $x(t)$ va $f(t)$ signallarini kirish signallari deyiladi, $y(t)$ ni chiqish signali yoki kirish signalidan olingan reaksiya deb ataladi.



6.1 – rasm.

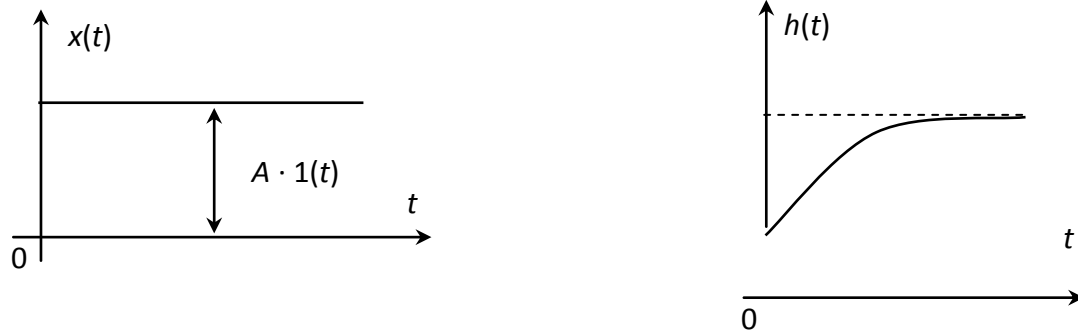
Sistemaning dinamik xususiyatlarini aniqlashtirishda quyidagi tipik kirish signallaridan foydalaniladi:

1. Birlik pog'onali signal yoki pog'onali funksiya.
2. Impul'sli signal (funksiya).
3. Garmonik (sinusoidal) signal (funksiya).

Birlik pog'onali signal yoki pog'onali funksiya.

$x(t) = A \cdot 1(t)$ bilan ifodalanib, $A = \text{const}$

$$1(t) = \begin{cases} 1 & \text{azap } t \geq 0 \\ 0 & \text{azap } t < 0 \end{cases} \text{ birlik pog'onali funksiya}$$



6.2 – rasm.

$$x(t) = \begin{cases} A \cdot 1(t) & \text{azap } t \geq 0 \\ 0 & \text{azap } t < 0 \end{cases} \text{ bu degani o'zgarmas kuchlanish ulash deganidir.}$$

Misol sifatida o'zgarmas tokni ulashni keltirish mumkin.

Sistemaga yoki zvenoning pog'onali signaldan olingan reaksiyasiga *o'tkinchi xarakteristika* deb ataladi va $h(t)$ bilan belgilanadi.

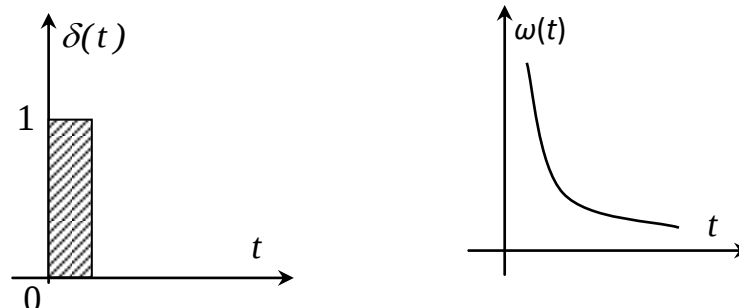
$$\text{Pog'onali signal Laplas tasviri } L\{A \cdot 1(t)\} = A \frac{1}{p};$$

4. Impul'sli signal (funksiya).

$$x(t) = A \cdot \delta(t), \quad A = \text{const.}$$

$\delta(t)$ ning amplitudasi 0 da ∞ ga teng bo'lib, davomiyligi cheksiz kichik bo'lgan funksiyaga aytiladi.

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{azap } t = 0; \\ 0 & \text{azap } t \neq 0. \end{cases} \quad \int_0^{\infty} \delta(t) dt = 1$$



6.3 – rasm.

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

Sistema yoki zvenoning birlik impulsli funksiyadan olingan reyaksiyaga *impulsli o'tkinchi xarakteristika* yoki *vazn funksiyasi* deyiladi va $\omega(t)$ bilan belgilanadi.

5. Garmonik (sinusoidal) signal (funksiya).

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

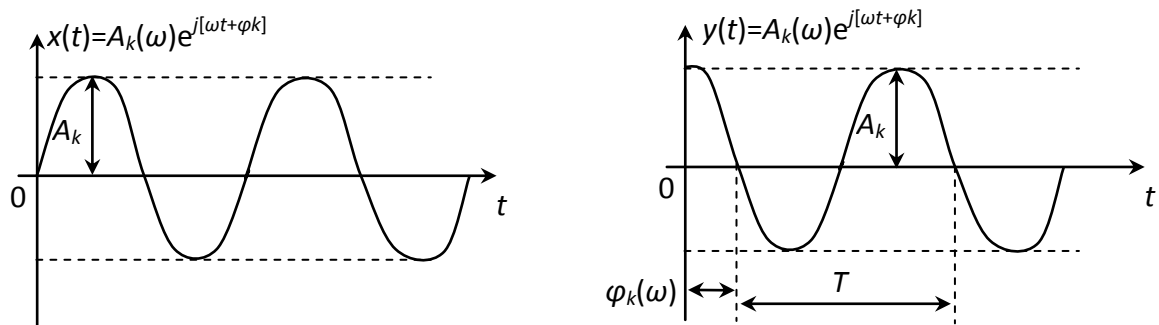
$$x(t) = A_k(\omega) \sin(\omega t + \varphi_k(\omega));$$

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

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

$A_k(\omega)=1$ - kirish signallarining amplitudasi; $\varphi_k(\omega)=0$ - kirish signalining fazasi; ω - chastotasi, $\omega = \frac{2\pi}{T}$; T – davr, $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Chiziqli statsionar bir o'lchamli sistemaning 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 kosisil qiladi. Lekin chiqish tebranishlari amplitudasi $A_k(\omega)$ va fazasi $\varphi_k(\omega)$ kirish tebranishlari amplitudasi va fazasidan farqli bo'lgan garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi.



6.4 – rasm.

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

- 4) $x(t) = A * t$ – chiziqli signallar.
- 5) $x(t) = A * t^2$ – kvadrat signallar.
- 6) $x(t) = A * t^3$ – kub signallar.

UZATISH FUNKSIYALARI. UZATISH FUNKSIYALARIGA MISOLLAR

Reja:

1. Uzatish funksiyasi.
2. Uzatish funksiyalariga misollar.

1. Uzatish funksiyasi.

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

$$\begin{aligned} a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = \\ = b_0 \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x(t) + c_0 f(t), \end{aligned} \quad (7.1)$$

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

(7.1) 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 (7.1) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

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

yoki

$$\begin{aligned} (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) y(t) = \\ = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) x(t) + c_0 f(t). \end{aligned} \quad (7.2)$$

(7.2) tenglamaga quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n. \quad (7.3)$$

(7.3) tenglama chiqish kattaligining differensiallash operatori *xususiy yoki xarakteristik operator* deb nomlanadi. Elementning xususiy harakati, ya'ni tashqi ta'sirlar bo'lmagandagi harakati ko'phadni tavsiflagani uchun uni shartli nomlanadi.

$$K_1(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m, \quad K_2(p) = c_0. \quad (7.4)$$

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

Unda (7.2) tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

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

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 shartlar nolga teng bo'lganda chiqish signalining Laplas tasvirini kirish signalining Laplas tasviri nisbatiga aytiladi.

$$W(p) = \left. \frac{y(p)}{x(p)} \right|_{t=0} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n}. \quad (7.5)$$

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 (7.5) 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. Suratining erkin hadlari b_m uzatish koeffitsiyentiga teng bo'ladi va uni qovusdan tashqariga chiqaziladi

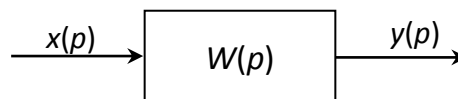
$$W(p) = \frac{k(b_0^* p^m + b_1^* p^{m-1} + \dots + b_{m-1}^* p + 1)}{a_0^* p^n + a_1^* p^{n-1} + \dots + a_{n-1}^* p + 1}, \text{ bu yerda } k = \frac{b_m}{a_n}.$$

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.

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

$$y(p) = W(p) \cdot x(p). \quad (7.6)$$

Endi zveno yoki tizimning uzatish $W(p)$ funksiyasi bilan o'tkinchi funksiyasi $h(t)$ hamda impulsli o'tkinchi funksiyasi $\alpha(t)$ orasidagi bog'lanishni ko'rib chiqamiz (7.1-rasm).



7.1-rasm.

a) Agar kirish signali $x(t) = 1(t)$ bo'lsa, unda uning Laplas tasviri $L\{x(t)\} = \frac{1}{p}$ bo'ladi. (7.6) 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.

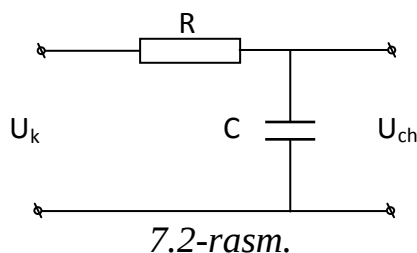
b) Agar $x(t) = \delta(t)$ bo'lsa, unda $L\{x(t)\} = 1$ bo'ladi. (2.11) formulaga muvofiq chiqish signalining Laplas tasviri $y(p) = W(p)$ bo'lib, uning originali impulsli o'tkinchi funksiyasi bo'ladi, ya'ni $y(t) = \omega(t) = L^{-1}\{W(p)\}$.

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

Endi uzatish funksiyasining mohiyatini aniq misolda ko'rib chiqamiz.

2. Uzatish funksiyalariga misollar

2.2-misol. RC zanjiri berilgan bo'lsin (7.2-rasm). Ushbu zanjirning uzatish funksiyasi $W(p)$ ni toping.



Yechish:

$$U_k(t) = R \cdot i(t) + \frac{1}{C} \cdot \frac{di(t)}{dt},$$

$$U_{ch}(t) = \frac{1}{C} \cdot \frac{di(t)}{dt},$$

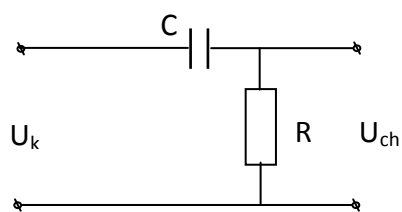
$$U_k(p) = R \cdot I(p) + \frac{I(p)}{Cp},$$

$$U_{ch}(p) = \frac{I(p)}{Cp},$$

$$W(p) = \frac{U_{ch}(p)}{U_k(p)} = \frac{\frac{1}{Cp} \cdot I(p)}{(R + \frac{1}{Cp}) \cdot I(p)} = \frac{1}{RCp + 1} = \frac{1}{Tp + 1},$$

bu yerda, $T = RC$ – vaqt doimiyligi.

2.3-misol. RC zanjiri berilgan bo'lsin (7.3-rasm). Ushbu zanjirning uzatish funksiyasi $W(p)$ ni toping.



7.3-rasm.

Yechish:

$$U_k(t) = \frac{1}{C} \cdot \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t),$$

$$U_{ch}(t) = R \cdot i(t),$$

$$U_k(p) = \frac{I(p)}{Cp} + R \cdot I(p),$$

$$U_{ch}(p) = R \cdot I(p)$$

$$W(p) = \frac{U_{ch}(p)}{U_k(p)} = \frac{R \cdot I(p)}{\left(\frac{1}{Cp} + R\right) \cdot I(p)} = \frac{RCp}{RCp + 1} = \frac{Tp}{Tp + 1},$$

bu yerda, $T = RC$ – vaqt doimiyliigi.

2.4-misol. $\ddot{y} + 2\dot{y} + 3y = 4\dot{x} + 5x$ chiziqli tenglamani uzatish funksiyasi ko'rinishida ifodalang va uni MATLAB muhitida kiriting hamda 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, $p = \frac{d}{dt}$ – differensiallashtirish operatori,

$D(p) = p^2 + 2p + 3$ va $K(p) = 4p + 5$ – operator polinomlar.

Yuqorida keltirilgan 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. 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    2.000    3.000
>> f = tf ( n, d )
Transfer funksion:
    4 s + 5
-----
    s^2 + 2 s + 3

```

yoki birdaniga, surat va maxrajlarini dastlab qurilmasdan:

```
>> f = tf ( [4 5], [1 2 3] );
```

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

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

```
>> 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.

Nazorat va muhokama savollari

1. Laplas almashtirishi deb nimaga aytiladi va uning qanday xossalari mavjud?
2. Uzatish funksiyasi deb nimaga aytiladi?
3. Uzatish funksiyasining nollari va qutblarini tushuntirib bering va ularga misollar keltiring.
4. Avtomatik boshqarish tizimlarining vaqt xarakteristikalariga nimalar kiradi?
5. Avtomatik boshqarish tizimlarining qanday chastotaviy xarakteristikalarini bilasiz?

MA'RUZA №8

CHASTOTAVIY XARAKTERISTIKALAR. VAQT XARAKTERISTIKALARI.

Reja:

1. Avtomatik boshqarish tizimlarining vaqt xarakteristikalarini.
2. Avtomatik boshqarish tizimlarining chastotaviy xarakteristikalarini

1. Avtomatik boshqarish tizimlarining vaqt xarakteristikalarini

ABTda vaqt xarakteristikalarini muhim rol o'ynaydi. Vaqt xarakteristikalariga o'tkinchi va impulsli o'tkinchi (vazn) funksiyalar hamda ularning grafiklari kiradi.

Boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda tizim (zveno)ning birlik pog'onali ta'sirdan olgan reaksiyasiga *o'tkinchi funksiya* deyiladi va $h(t)$ bilan belgilanadi.

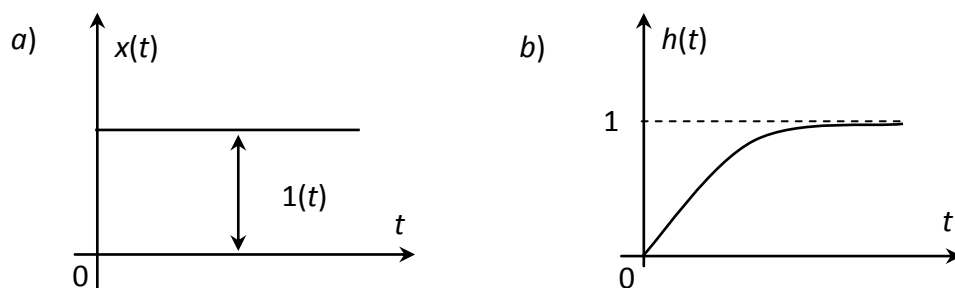
Birlik pog'onali ta'sir quyidagi funksiya bilan ifodalanadi (8.1,a-rasm):

$$1(t) = \begin{cases} 1, & \text{agar } t \geq 0, \\ 0, & \text{agar } t < 0. \end{cases}$$

Birlik pog'onali ta'sirning Laplas tasviri quyidagicha:

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

O'tkinchi funksiyaning grafigi, ya'ni $h(t)$ funksiyanini vaqt t ga bog'liqlik egri chizig'iga *o'tkinchi xarakteristika* deyiladi (8.1,b-rasm).



8.1. rasm. **Birlik pog'onali ta'sir (a) va undan olingan o'tkinchi (b) xarakteristikalar.**

Boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda tizim (zveno)ning birlik impulsli ta'sirdan olgan reaksiyasiga *impulsli o'tkinchi* yoki *vazn funksiyasi* deyiladi va $\omega(t)$ bilan belgilanadi.

Vazn funksiyasini aniqlashda birlik impuls tushunchasidan foydalaniladi. Birlik impulsni fizik jihatdan birlik yuza bilan chegaralangan juda tor impuls deb tasavvur etish mumkin. U matematik jihatdan $\delta(t)$ bilan ifodalanadi va *delta funksiya* deb nomlanadi. Delta funksiya umumlashgan funksiya hisoblanadi. Umumlashgan funksiya nazariyasi funksional taxlilning yangi bo'limi bo'lib, u bu yerda ko'rilmaydi. Faqat shuni aytish mumkinki, umumlashgan funksiya doirasida ixtiyoriy tartibli hosilalar ko'rinishidagi funksiya ifodalarini uchratamiz. Xususiyl holda birlik funksiyaning hosilasi delta funksiyaga tengdir, ya'ni

$$1'(t) = \delta(t). \quad (8.1)$$

Delta funksiyani matematik ifodasini keltiramiz (8.2,a-rasm)

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

Bundan quyidagini aniqlash mumkin:

$$\int_0^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Impulsli signalning Laplas tasviri: $L\{\delta(t)\} = 1$.

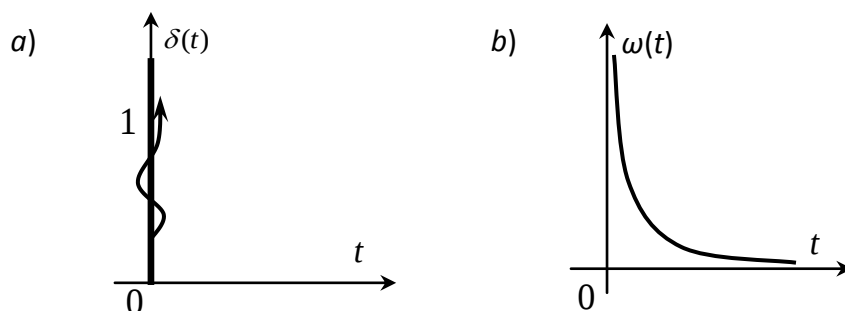
(8.1) ifodadan chiziqli zvenolarning o'tkinchi va vazn funksiyalari orasida quyidagi bog'liqlik aniqlash mumkin

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

yoki

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

Impulsli o'tkinchi funksiyaning grafigi *impulsli o'tkinchi (vazn) xarakteristika* deyiladi (8.2,b-rasm).



8.2-rasm. *Birlik impulsli ta'sir (a), impulsli o'tkinchi (vazn) xarakteristikasi(b).*

2. Avtomatik boshqarish tizimlarining chastotaviy xarakteristikalar

Chiziqli statsionar 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. ABN va amaliyotida chastotaviy xarakteristikalar keng foydalaniladi.

Uzatish funksiyasining ta'rifiga ko'ra

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

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

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

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

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

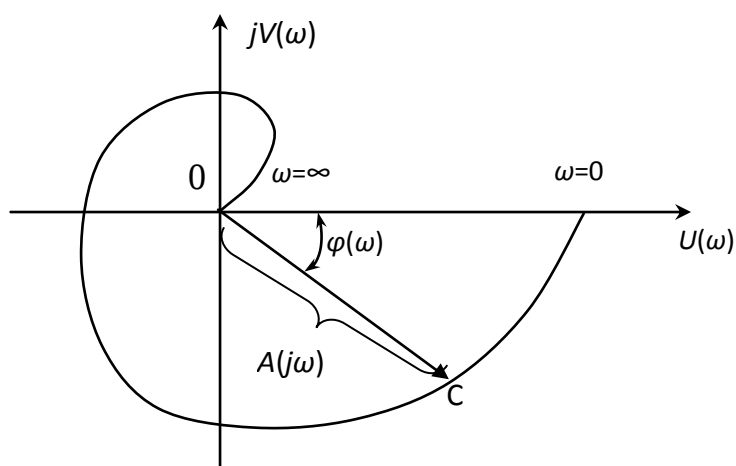
$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ – darajali ko'rinishi;

$W(j\omega) = A(\omega)\cos\varphi(\omega) + jA(\omega)\sin\varphi(\omega)$ – trigonometrik ko'rinishi,

bu yerda, $U(\omega)$ – haqiqiy qism; $V(\omega)$ – mavhum qism; $A(\omega)$ - amplituda; $\varphi(\omega)$ – faza.

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

Kompleks tekisligida $W(j\omega)$ funksiyasini $\overrightarrow{OC}$ 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 (2.8-rasm).



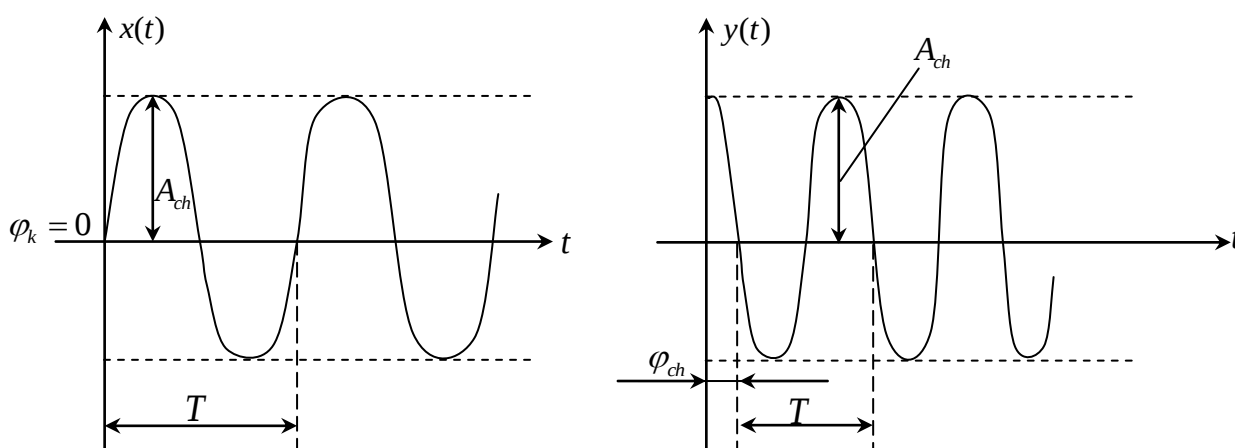
8.3-rasm. *Amplituda-fazali xarakteristika.*

Chastota noldan cheksiz ($0 < \omega < \infty$) oraliqda o'zgarganda $\overrightarrow{OC}$ 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 (8.3-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

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{A_{ch}(\omega)}{A_k(\omega)}; \text{ chastotali uzatish funksiyasining argumenti chiqish va}$$

kirish signallari orasidagi burchak siljishini ko'rsatadi, ya'ni $\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$ (8.4-rasm).



8.4-rasm. *Faza chastotaviy xarakteristika.*

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

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

Yuqorida keltirilgan chastotaviy xarakteristikalaridan tashqari yana logarifmik chastotaviy xarakteristikalar (LChX) ham mavjud. Ularga logarifmik amplituda chastotaviy xarakteristika va logarifmik faza chastotaviy xarakteristikalar kiradi.

Tizimning chastotaviy xarakteristikasining darajali tenglamasi $W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ ni logarifmlaymiz:

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

yoki

$$\lg W(j\omega) = \frac{\ln A(\omega) + j\varphi(\omega)}{2,3}. \quad (8.2)$$

(8.2) 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 faza-chastotaviy xarakteristika* (LFChX) deyiladi.

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

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

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg A(\omega). \quad (8.3)$$

(8.3) ifoda tizimning chiqish amplitudasini kirish amplitudasiga nisbatini aniqlab, kirish signali orqali kuchlanish darajasini tasvirlaydi. $L(\omega)$ ning o'lchov birligi – desibel. Bir desibel amplitudaning $\sqrt[20]{10}$ 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:

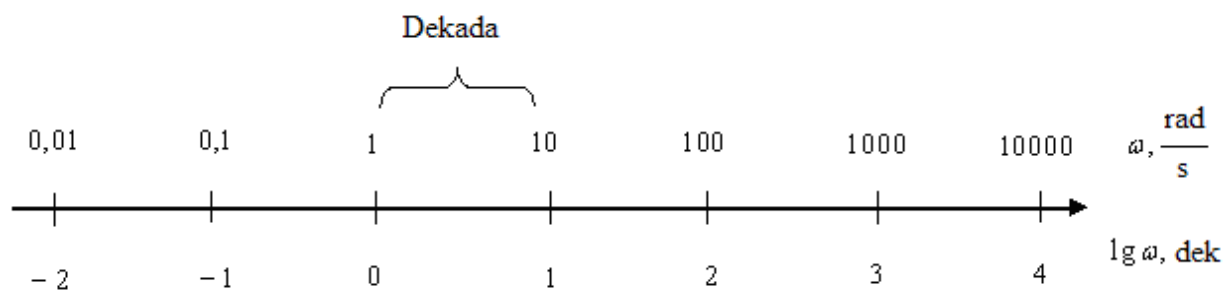
$$\omega_1/\omega_2 = 2 \quad \text{yoki} \quad \log(\omega_1/\omega_2) = \log_2 2 = 1 \text{ oktava.}$$

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

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

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 (8.5-rasm).



8.5 - rasm. *Chastotaning dekada birligidagi masshtabi.*

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

Agar tizimlarning LChX 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.

Nazorat va muhokama savollari

1. Avtomatik boshqarish tizimlarining vaqt xarakteristikalariga nimalar kiradi?
2. Avtomatik boshqarish tizimlarining qanday chastotaviy xarakteristikalarini bilasiz?
3. Integrallovchi va differensiallovchi zvenolarning vaqt va chastotaviy xarakteristikalarini quring.
4. Tebranuvchi zvenoning dempfirlash (so‘nish, tebranishni kamaytirish) koeffitsiyentini tushuntiring.
5. Tebranuvchi zvenoning xususiy chastotasi deganda nimani tushunasiz?

MA'RUZA №9

ELEMENTAR ZVENOLAR VA ULARNING XARAKTERISTIKALARI: PROPORSIONAL, INTEGRALLOVCHI, DIFFERENSIALLOVCHI ZVENOLAR.

Reja:

1. Elementar zvenolar va ularning xarakteristikalar.
2. Kuchaytiruvchi (proporsional, inersiyasiz) zveno.
3. Integrallovchi zveno.
4. Differensiallovchi zveno

1. Elementar zvenolar va ularning xarakteristikalar.

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'unlashmagan rejimda vaqt funksiyasidagi bog'lanishiga asoslangan. Tadqiq qilinayotgan avtomatik tizimlarning dinamik xarakteristikalar 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'lmazligi 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'zgartirmazligi lozim.

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:

1. Kuchaytiruvchi (proporsional, inersiyasiz) zveno.
2. Integrallovchi zveno.

3. Differensiallovchi zveno.
4. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno.
5. Tebranuvchi zveno.
6. Tezlatuvchi zveno.
7. Kechikuvchi zveno.

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

2. 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.

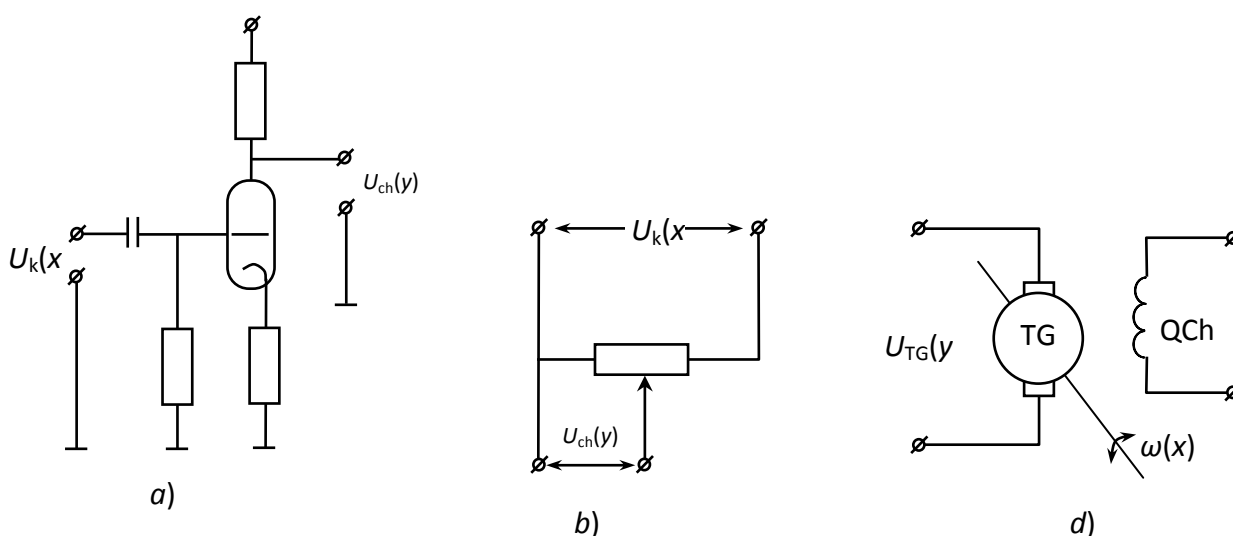
Kuchaytiruvchi zveno dinamikasining tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$y(t) = K \cdot x(t). \quad (9.1)$$

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

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

Bu zvenoga elektron kuchaytirgich, potensiometr, taxogenerator kabi elementlar misol bo'la oladi (9.1-rasm.)



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

(9.1) tenglamaga Laplas almashtirishlarini kiritamiz

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

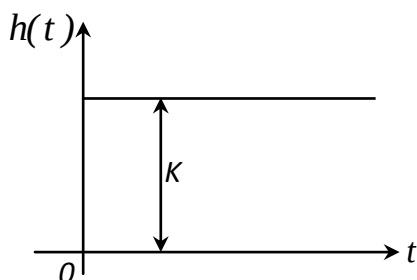
bundan

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

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

Uzatish funksiyasi orqali zveno yoki tizimning vaqt xarakteristikalarini aniqlash mumkin

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



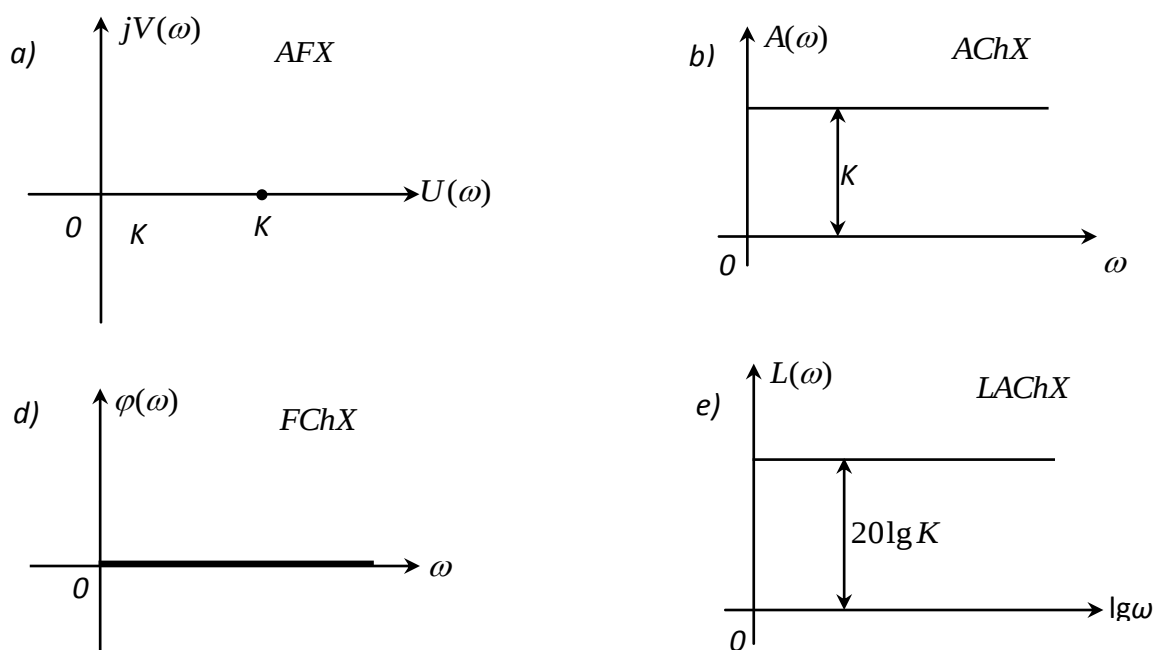
9.2-rasm. *O‘tkinchi xarakteristika.*

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 (9.3-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 chiziqdır.



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

$\varphi(\omega) = 0$ faza-chastota xarakteristika faza siljishlarning yoʻqligini 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, yaʼni minimal fazalidir. Kuchaytirish koeffitsiyenti K chiziqli zveno uchun doimiy, chiziqli boʻlmagan zveno uchun esa oʻzgaruvchidir.

3. Integrallovchi zveno.

Ushbu zvenoning chiqish va kirish kattalik-larini bogʻlovchi tenglama quyidagicha:

$$y(t) = K \int_0^t x(t) dt, \quad (9.2)$$

(9.2) ifodadan chiqish kattaligi kirish kattaligining integraliga proporsional ekanligi kelib chiqadi. (9.2) tenglamani Laplas boʻyicha tasviri quyidagi koʻrinishga ega:

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

zvenoning uzatish funksiyasi

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

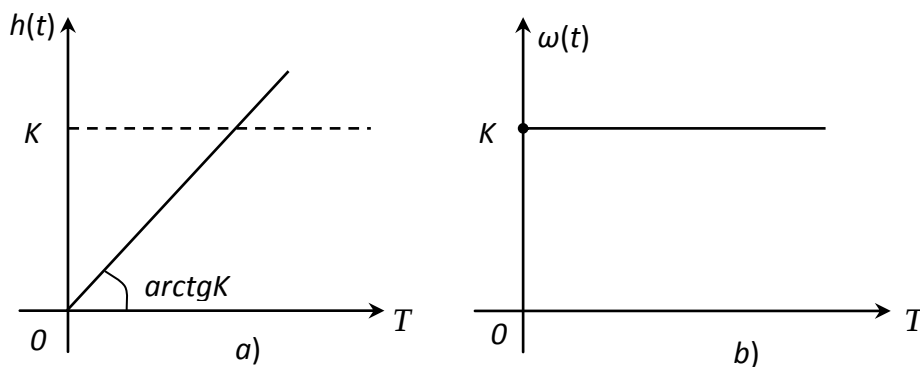
Bu zvenoni yana astatik zveno deb ham yuritiladi.

Integral zvenoning o'tkinchi funksiyasi

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

va impulsli o'tkinchi (vazn) funksiyasi (9.4-rasm)

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

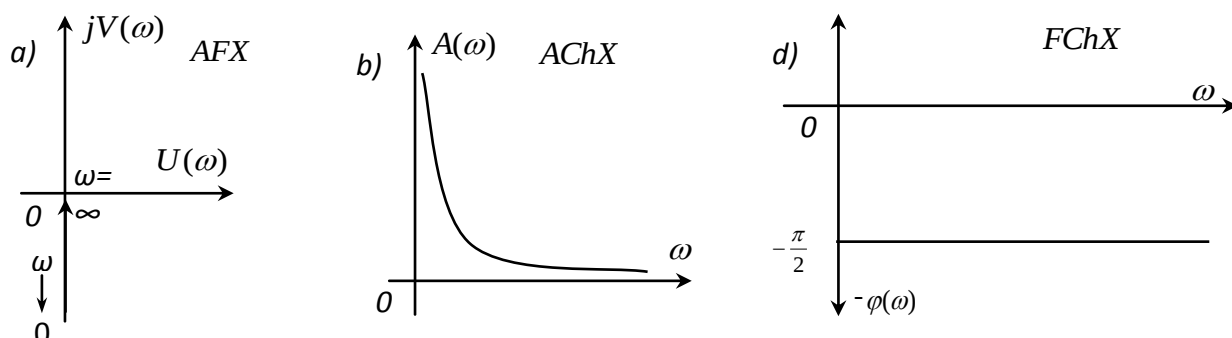


9.4-rasm. **O'tkinchi xarakteristika (a); impulsli o'tkinchi xarakteristika (b).**

Integral zvenoning chastotali uzatish funksiyasi

$$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega} = \frac{K}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (9.3)$$

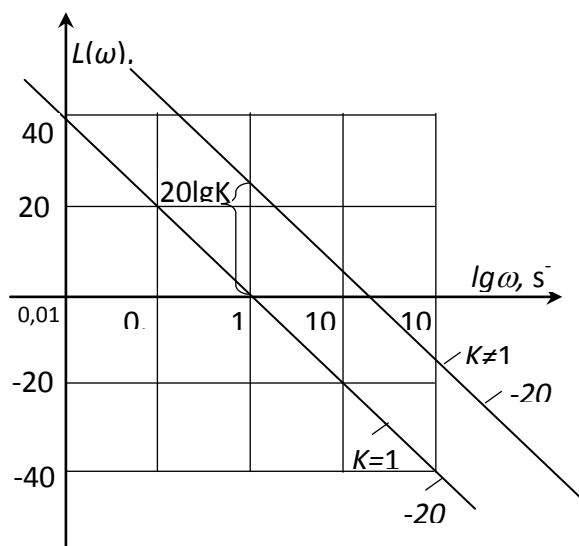
bo'lib, unda $A(\omega) = \frac{K}{\omega}$ – amplituda-chastota funksiyasi; $\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2}$ – faza-chastota funksiyasi (9.5-rasm).



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

Zvenoning AFX si (9.3) 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 (9.6-rasm).



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

9.6- 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

$$y(t) = K \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (9.4)$$

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.

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

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = Kp. \quad (9.5)$$

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

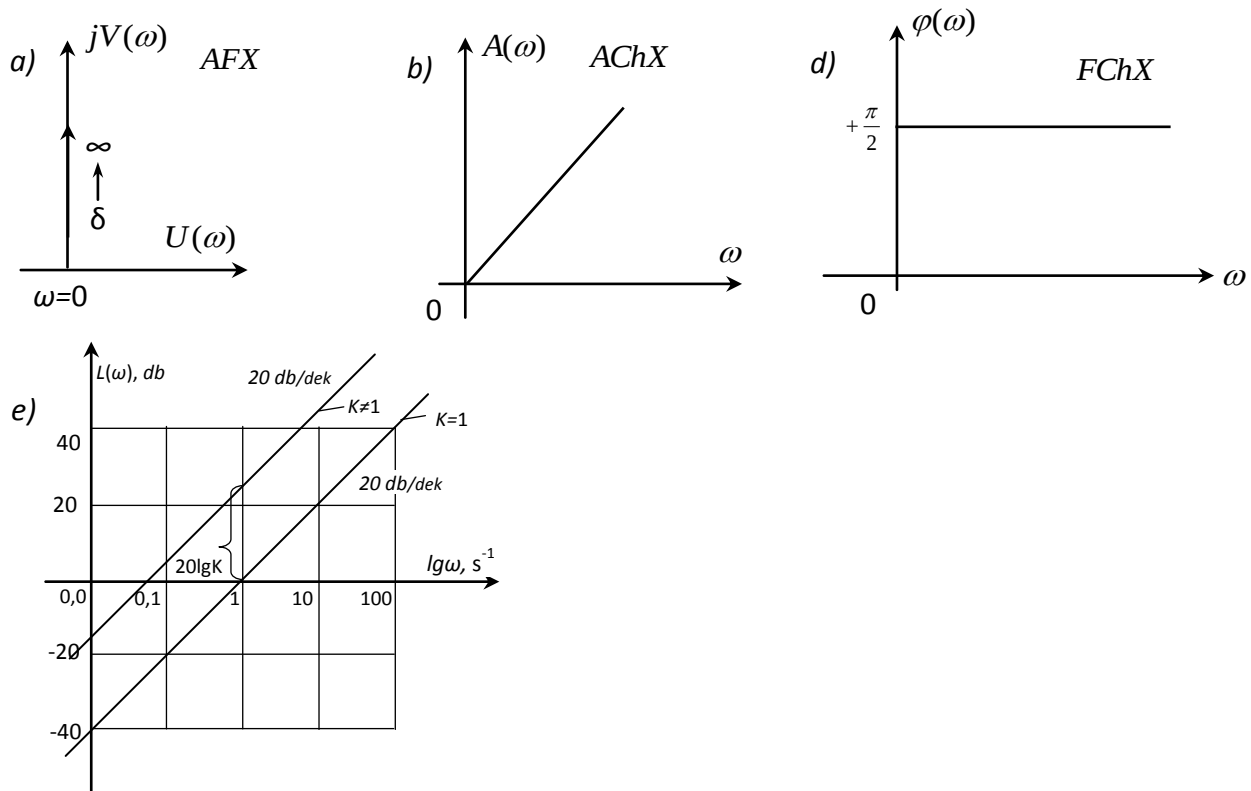
$$h(t) = L^{-1} \left\{ W(p) \frac{1}{p} \right\} = L^{-1} \left\{ Kp \cdot \frac{1}{p} \right\} = K \cdot \delta(t),$$

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

(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 (9.7-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.



9.7-rasm. *Amplituda-fazali (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 yo'naladi. LACHXsi esa koordinatalari $\omega=1$ va $L(\omega) = 20 \lg K$ bo'lgan nuqtadan o'tgan to'g'ri chiziqdır. Shuning uchun $L(\omega)$ xarakteristikasining og'ishi $+20db/dek$ (plyus 20 desebel bir dekadaga deb o'qiladi).

Real differensiallovchi zvenolar dinamikasining umumiy tenglamasi quyidagicha

$$T \frac{dy}{dt} + y = K \frac{dx}{dt}. \quad (9.6)$$

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

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

Real differensiallovchi zvenoning uzatish funksiyasidan ko'rinib turibdiki, real holatda idel integrallovchi zvenoni aperiodik zveno bilan birgalikda amalga oshirilar ekan.

Nazorat va muhokama savollari

1. Tipik dinamik zvenolar deb nimaga aytiladi va ularga qanday zvenolar kiradi?
2. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zvenoga misollar keltiring va differensial tenglamasi, uzatish funksiyasi hamda chastotaviy xarakteristikalarini tushuntirib bering.
3. Integrallovchi va differensiallovchi zvenolarning vaqt va chastotaviy xarakteristikalarini quring.
4. Zvenolar teskari bogʻlanish zanjiri orqali ulanganda uzatish funksiyasi qanday topiladi?

**ELEMENTAR ZVENOLAR VA ULARNING XARAKTERISTIKALARI:
APERIODIK, TEBRANUVCHI, KONSERVATIV ZVENOLAR.**

Reja:

1. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno.
2. Tebranuvchi zveno.
3. Konservativ zvenolar.
4. Tezlatuvchi zveno.
5. Kechikuvchi zveno.

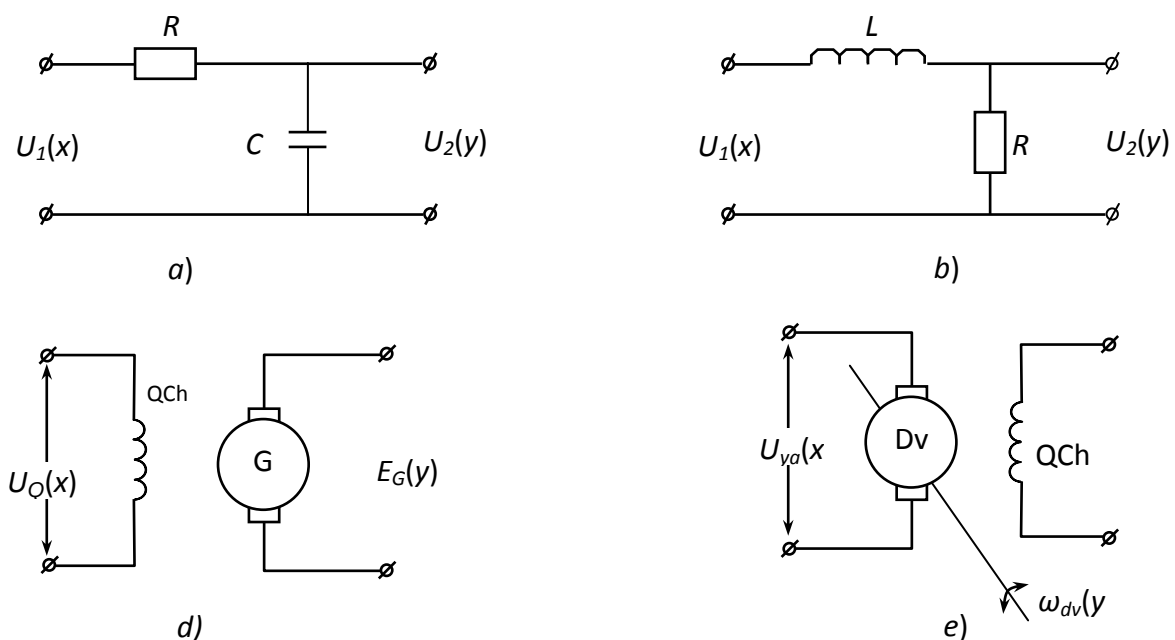
1. Birinchi tartibli inersial (aperiodik) zveno.

Ushbu zvenoning chiqish va kirish kattaliklarini bog'lovchi tenglama birinchi tartibli differensial tenglamadan iborat:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot x(t) \quad (10.1)$$

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

RC, RL – zanjirlari, o'zgarmas tok generatori va dvigatellari bu zvenoga misol bo'la oladi (10.1-rasm).



**10.1-rasm. RC zanjiri (a); LR zanjiri (b); o'zgar-
mas tok generatori (d); o'zgar-
mas tok dvigateli (e).**

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

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

bundan

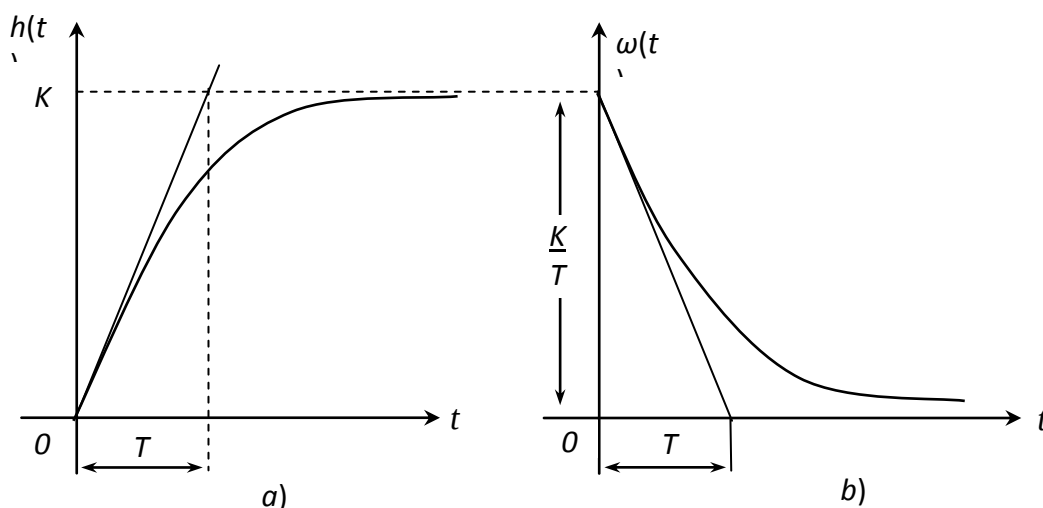
$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{Tp + 1}.$$

Inersial zvenoning o'tkinchi funksiyasi

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

eksponenta qonuni bo'yicha o'zgaradi (10.2,a-rasm). Impulsli o'tkinchi funksiyani quyidagicha aniqlash mumkin (10.2,b-rasm):

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



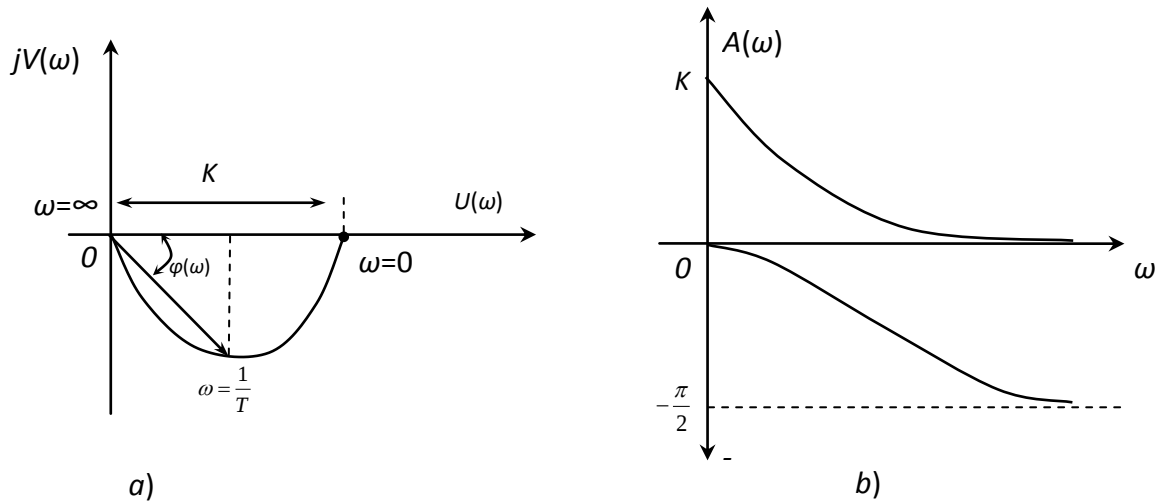
10.2-rasm. *O'tkinchi xarakteristika (a); impulsli o'tkinchi xarakteristika (b).*

Zvenoning chastotali uzatish funksiyasini hamda uning chastotali xarakteristikalarini aniqlash uchun uzatish funksiyasi $W(p)$ da « p »ni « $j\omega$ » bilan almashtirish kerak (10.3-rasm).

$$W(j\omega) = \frac{K}{1+j\omega T} = \frac{K(1-j\omega T)}{(1+j\omega T)(1-j\omega T)} =$$

$$= \frac{K}{(1+\omega^2 T^2)} - j \frac{K\omega T}{(1+\omega^2 T^2)} = U(\omega) + jV(\omega);$$

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



10.3-rasm. **Amplituda-fazali xarakteristika (a); amplituda-chastotali va faza-chastotali xarakteristikalar (b).**

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

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

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

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

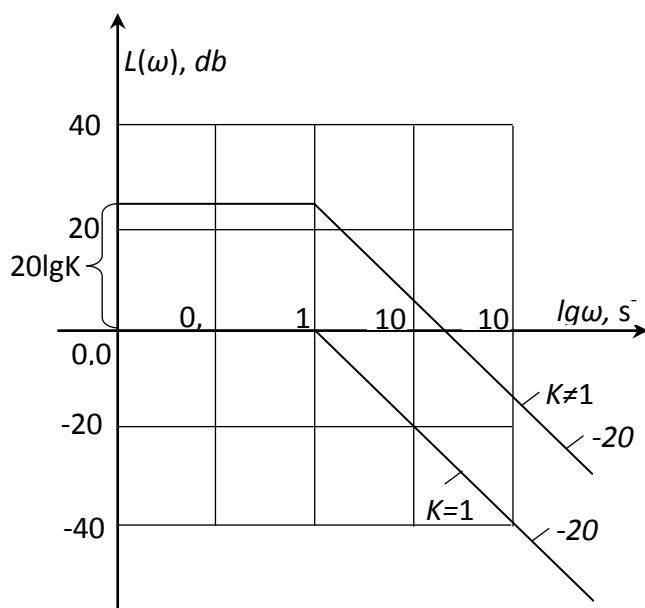
$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \left[\frac{K}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}} \right] = 20 \lg K - 20 \lg \sqrt{1+\omega^2 T^2}.$$

Bu zvenoning asimptotik LACHXni

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

tenglama bilan ifodalanadi.

Shunday qilib, chastotaning $\omega \rightarrow \infty$ 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 qiymatlarida $L(\omega)$ xarakteristikasi $20 \lg K$ balandlikda absissa o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziq bo'ladi. $\omega \gg \frac{1}{T}$ bo'lganda $L_a(\omega) = -20 \lg \omega T$ ga teng bo'ladi (10.4-rasm).



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

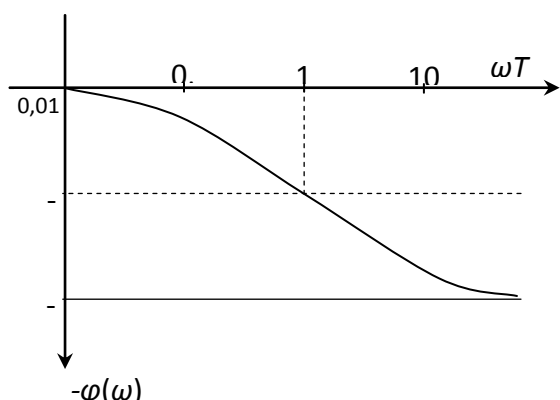
10.4-rasm. **Logarifmik amplituda chastotali xarakteristika.**

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 $L_a(\omega)$ 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 (10.5-rasm).



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

10.5rasm. **Logarifmik faza-chastotali xarakteristika.**

Tutash $\omega = \frac{1}{T}$ chastotada $\varphi(\omega) = -\arctg 1 = -45^\circ$ ga teng bo‘lib, shu chastotaga nisbatan LFChX ning simmetriyaligi uning o‘ziga xos xarakterli fazilati hisoblanadi.

2. Tebranuvchi zveno.

Ushbu zvenoning chiqish va kirish kattaliklari o‘rtasidagi bog‘lanish ikkinchi tartibli differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y(t) = K \cdot x(t), \quad (10.2)$$

bu yerda $0 < \xi < 1$ oralig‘idagi qiymatga ega bo‘lib, so‘nish darajasi (koeffitsiyenti) deyiladi. Elektr tebranuvchi zanjir, elastik mexanik tizim bu zvenoga misol bo‘la oladi.

(10.2) tenglamani Laplas almashtirishi orqali o‘zgartirib

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

zvenoning uzatish funksiyasi aniqlanadi

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}. \quad (10.3)$$

Chastotali uzatish funksiyasini aniqlash uchun (10.3) ifodada « p » ni « $j\omega$ » bilan almashtiramiz.

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

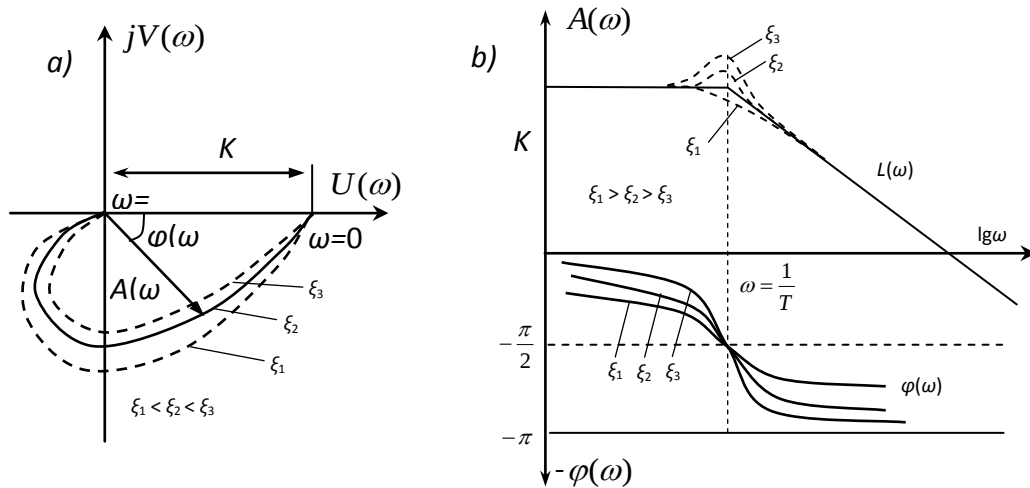
$$U(\omega) = \frac{K(1 - \omega^2 T^2)}{(1 - \omega^2 T^2)^2 + 4\xi^2 \omega^2 T^2} \quad - \text{haqiqiy qism};$$

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

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

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

10.6-rasmda tebranuvchi zvenoning chastotali xarakteristikalarini keltirilgan.

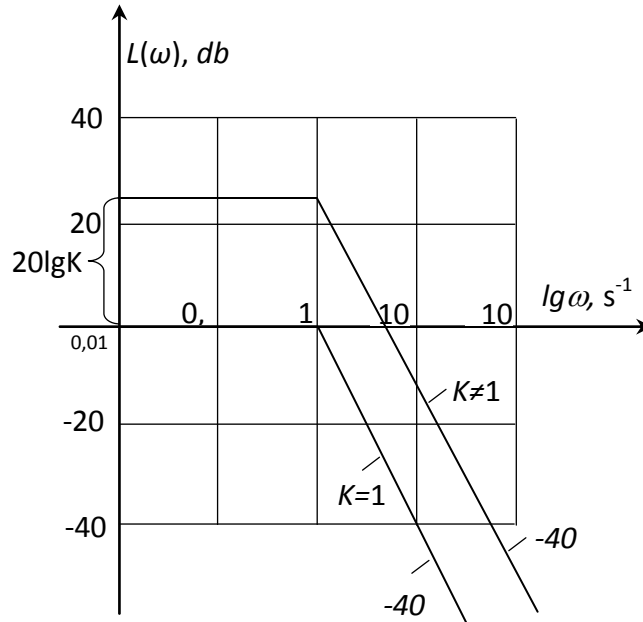


10.6-rasm. a) amplituda fazali; b) amplituda chastotali va faza chastotali xarakteristikalar.

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

$$L_a(\omega) = \begin{cases} 20 \lg K, & \omega \ll \frac{1}{T} \text{ bo'lganda;} \\ 20 \lg K - 40 \lg \omega T, & \omega \gg \frac{1}{T} \text{ bo'lganda.} \end{cases}$$

tutash chastota $\omega = \frac{1}{T}$ gacha bu zvenoning LAChX si abssissa o'qi bilan mos tushadi, undan keyin -40 db/dek og'ishga ega bo'ladi (10.7-rasm).



10.7-rasm. Logarifmik amplituda chastotali xarakteristika.

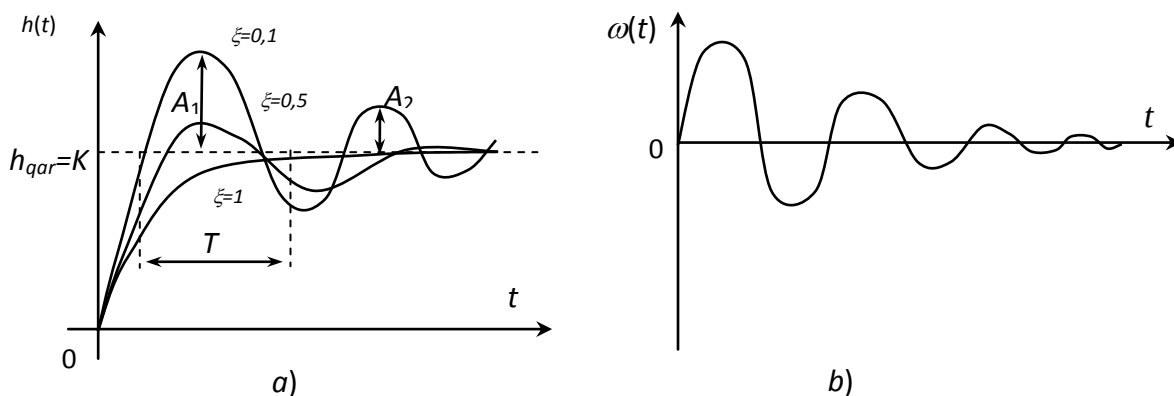
Tebranuvchi zvenoning o'tkinchi funksiyasi

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

bu yerda, $\alpha = \frac{\xi}{T}$; $\beta = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$; $\varphi_0 = \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$; impulsli o'tkinchi (vazn)

xarakteristikasi $\omega(t) = h'(t) = \left(\frac{K(\alpha^2 + \beta^2)}{\beta} e^{-\alpha t} \sin \beta t \right)'$ ga teng.

10.8-rasmda tebranuvchi zvenoning vaqt xarakteristikalari keltirilgan.



10.8-rasm. a) o'tkinchi xarakteristika; b) impulsli o'tkinchi (vazn) xarakteristika.

3. Konservativ zvenolar.

Tebranuvchi zvenoning o'tish jarayoni egri chizig'ining so'nish koeffitsiyenti 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 koeffitsiyenti « 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 xarakteristikalarini quyidagicha ifodalanadi (2.26-rasm).

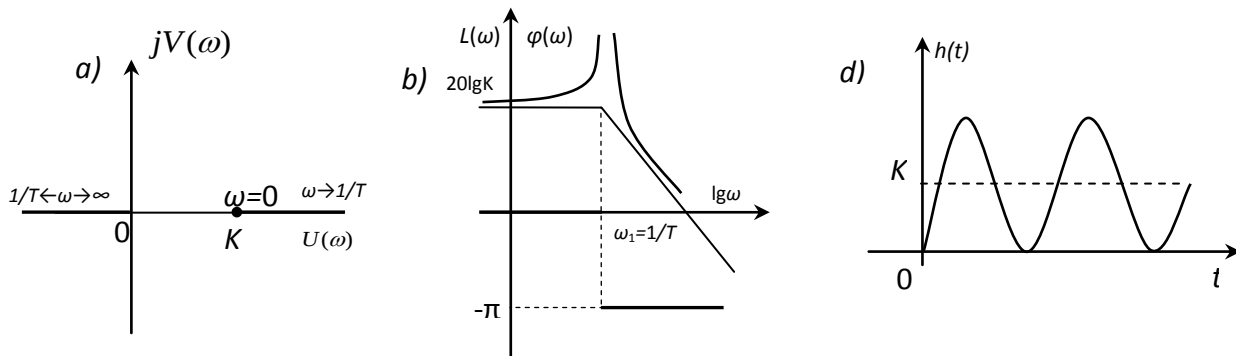
$$W(j\omega) = \frac{K}{1 - \omega^2 T^2} \text{ – amplituda faza chastotali funksiyasi;}$$

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

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

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg K - 40 \lg \omega T \text{ – logarifmik amplituda chastotali funksiya.}$$

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 (10.9d-rasm).



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

b) Ikkinchi tartibli inersial zveno ($\xi \geq 1$). 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 $T_{1,2} = \frac{T}{\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}}.$

4. Tezlatuvchi zveno.

Bu zveno quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$y(t) = K \left[x(t) + T \frac{dx}{dt} \right]. \quad (10.4)$$

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

(10.4) tenglamaning Laplas tasviri

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

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.

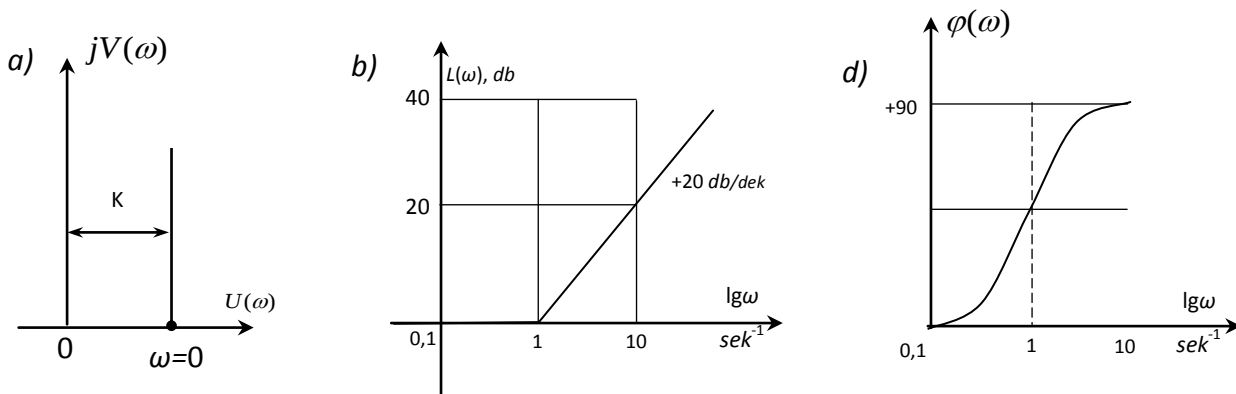
Bunda

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

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

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

Bu xarakteristikalar 10.10-rasmda keltirilgan.



10.10-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'rinishda amalga oshirish mumkin emas, chunki real qurilmalarda, tizimlar tarkibida kichik parametrga 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.

5. 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

$$\begin{aligned} h(t) &= 1(t - \tau), \\ \omega(t) &= \delta(t - \tau). \end{aligned}$$

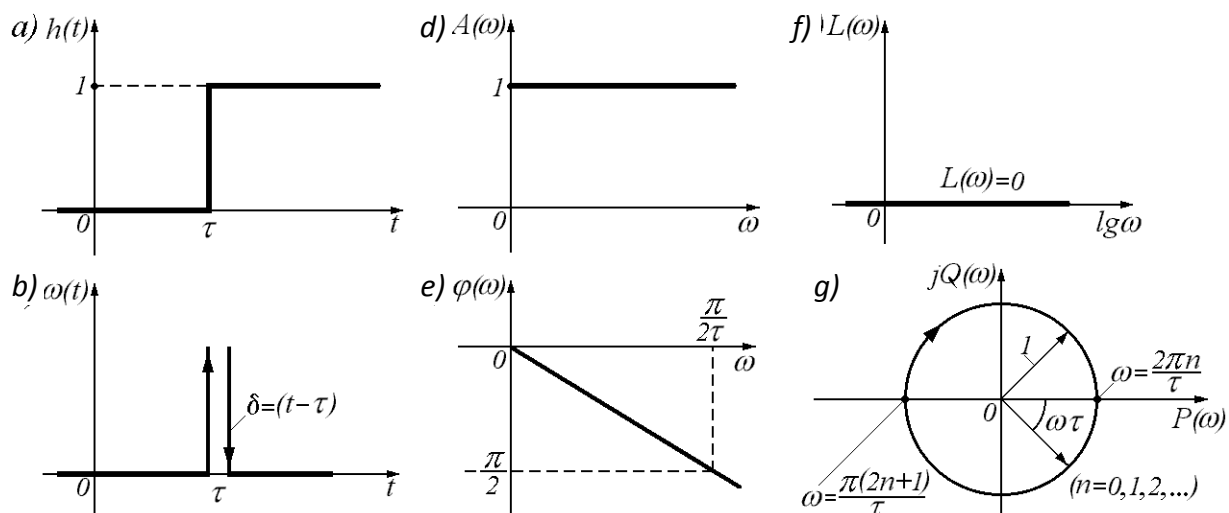
Amplituda va faza chastota xarakteristikalari esa quyidagicha:

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \sqrt{\cos^2(\omega\tau) + \sin^2(\omega\tau)} = 1, \\ \varphi(\omega) &= \arctg \frac{-\sin \omega\tau}{\cos \omega\tau} = -\arctg \left(\frac{\sin \omega\tau}{\cos \omega\tau} \right) = \arctg(-tg \omega\tau) = -\omega\tau. \end{aligned} \quad (10.5)$$

Ko‘rinib turibdiki, logarifmik amplituda chastota xarakteristikasi

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

abssissa o‘qiga mos bo‘lib, faza esa (10.5) tenglamaga muvofiq ω chastota o‘sish bilan cheksiz oshib boradi. 10.11-rasmda sof kechikish zvenosining xarakteristikalari keltirilgan.



10.11-rasm. Sof kechikuvchi zvenosining xarakteristiklari.

Nazorat va muhokama savollari

1. Tebranuvchi zvenoning dempfirlash (soʻnish, tebranishni kamaytirish) koeffitsiyentini tushuntiring.
2. Tebranuvchi zvenoning xususiy chastotasi deganda nimani tushunasiz?
3. Tebranuvchi zvenoning doimiy vaqti bilan xususiy chastotasi qanday bogʻlangan?
4. Kechikuvchi zvenoning vaqt va chastotaviy xarakteristikalarini tushuntiring.

**STATSIONAR CHIZIQLI SISTEMALARNING STRUKTURALI
SXEMALARI. STRUKTUR O'ZGARTIRISH QOIDALARI.**

Reja:

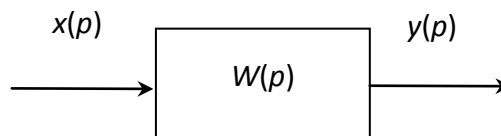
1. Statsionar chiziqli tizimlarning strukturali sxemalari.
2. Struktur o'zgartirish qoidalar.

1. Statsionar chiziqli tizimlarning strukturali sxemalari.

Odatda avtomatik boshqarish tizimlarini ma'lum uzatish funksiyali dinamik zvenolarning kombinatsiyalari orqali tasvirlash mumkin.

Avtomatik boshqarish tizimlaridagi dinamik zvenolarni uzatish funksiyalarini va zvenolari orasidagi bog'liqlikni ko'rsatib grafik ko'rinishda tasvirlashga *strukturali sxema* deb ataladi.

Strukturali sxemada zvenolar shartli ravishda to'g'ri to'rtburchak shaklida ifodalanadi. Unda chiqish va kirish kattaliklari hamda zveno-ning uzatish funksiyasi $W(p)$ ko'rsatiladi (11.1-rasm).



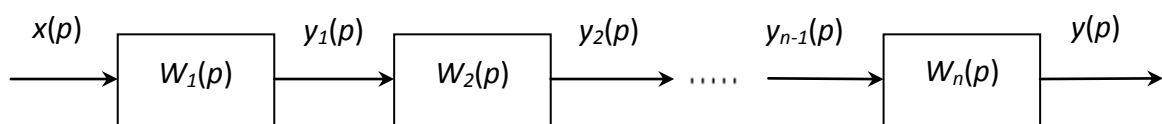
11.1-rasm. Strukturali sxema.

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.

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 (11.2-rasm).



11.2-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.

$$\left. \begin{aligned} y(p) &= W_n(p) \cdot y_{n-1}(p) \\ y_{n-1}(p) &= W_{n-1}(p) \cdot y_{n-2}(p) \\ &\dots\dots\dots \\ y_2(p) &= W_2(p) \cdot y_1(p) \\ y_1(p) &= W_1(p) \cdot x(p) \end{aligned} \right\} \quad (11.1)$$

(11.1) 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

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (11.2)$$

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 (11.3-rasm).

11.4-rasm. Teskari bog‘lanish zanjiri orqali ulangan zvenolarning strukturali sxemasi.

Teskari bog‘lanish manfiy va musbat bo‘ladi. Agarda $\varepsilon(p) = x(p) - y_{tb}(p)$ bo‘lsa, manfiy teskari bog‘lanish aks holda musbat teskari bog‘lanish deyiladi.

Tizimda teskari aloqani taqqoslovchi elementdan oldin ajratib, ochiq tizimni hosil qilamiz. Bunda ikkita ketma-ket ulangan zvenolarning bog‘lanishi hosil bo‘ladi. Shuning uchun ochiq tizimning uzatish funksiyasi

$$y(p) = W_o(p) \cdot \varepsilon(p), \quad (11.6)$$

$$\varepsilon(p) = x(p) \pm y_{tb}(p). \quad (11.7)$$

(11.7) tenglamani berk tizimning ulanish tenglamasi deyiladi.

$$y_{tb}(p) = W_{tb}(p) \cdot y(p). \quad (11.8)$$

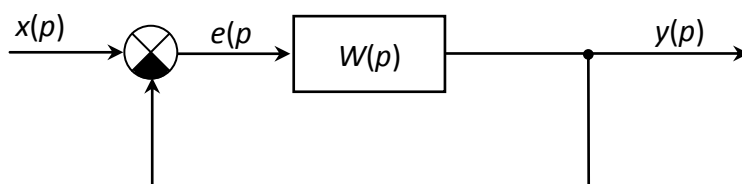
(11.8) tenglamani oldin (11.7) ga keyin esa (11.6) tenglamaga qo‘yib, berk tizimning uzatish funksiyasi aniqlanadi.

$$\begin{aligned} y(p) &= W_o(p) [x(p) \pm W_{tb}(p) \cdot y(p)], \\ y(p) &= [1 \mp W_o(p)W_{tb}(p)] = W_o(p) \cdot x(p), \\ \Phi(p) &= \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{W_o(p)}{1 \mp W_o(p)W_{tb}(p)} = \frac{W_o(p)}{1 \mp W(p)}, \end{aligned} \quad (11.9)$$

bu yerda, $W(p) = W_o(p) \cdot W_{tb}(p)$.

Ochiq tizimga birlik manfiy teskari bog‘lanish kiritilganda berk ti-zimning uzatish funksiyasi (11.9) formulaga muvofiq quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi (11.5-rasm).

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)}.$$

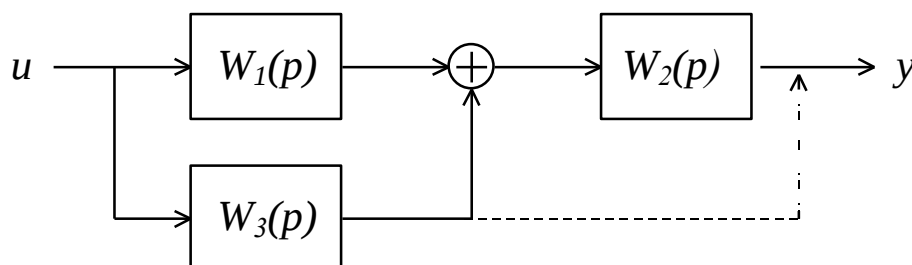


11.5-rasm. **Birlik manfiy teskari bog‘lan tizimning strukturali sxemasi.**

2.Struktur o'zgartirish qoidalari.

Ba'zan, strukturali aalmashtirishlarda sistemani umumiy uzatish funksiyasini olish maqsadida signalni quyilish nuqtasini zveno orqali utkazish mumkin.

Misol sifatida, agar sistemada signalni quyilish nuqtasi chiqishga quyilisa u xolda sistema strukturali sxemasi qanday xolda uzgarishini urganamiz.

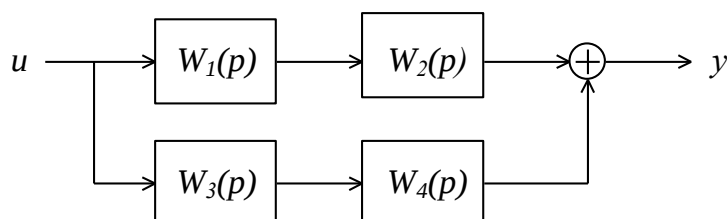


Rasm. 11.6 Berilgan sistemani strukturali sxemasi

Agar uning uzatish funksiyasi quyidagi kurinishga ega bulsa

$$W(p) = W_2(p)[W_1(p) + W_3(p)] . \quad (11.10)$$

Quyilish nuqtasini kuchirganda quyidagi qoidaga amal qilish kerak: *sistemaning uzatish funksiyasi uzgarishsiz qolishi kerak*. Shu sababli uzgartirilgan sistema quyidagi kurinishga ega buladi:



Rasm. 11.7 Almashtirilgan sistemani strukturali sxemasi

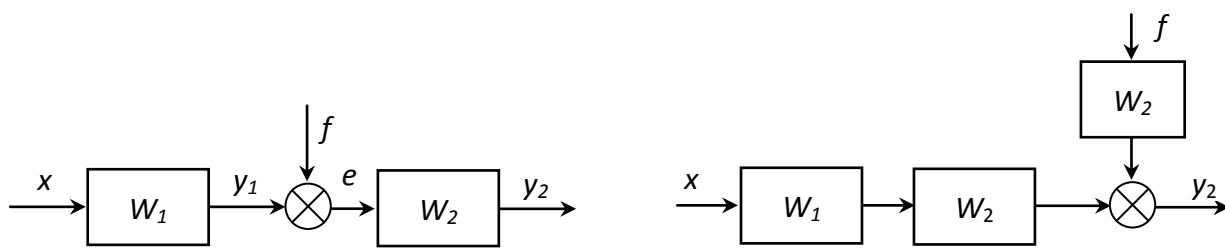
11.7 rasmda keltirilgan sistemaning uzatish funksiyasi:

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) + W_3(p)W_4(p) . \quad (11.11)$$

(11.10) dagi uzatish funksiyasini (6) tenglashtirib $W_4(p)$, ni aniqlaymiz,

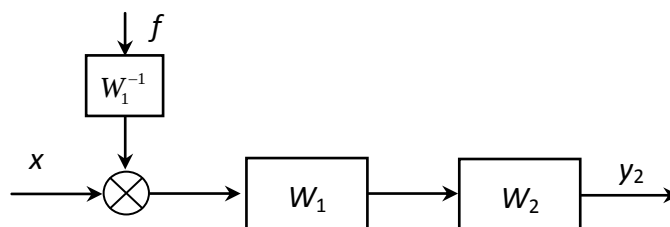
$$W_4(p) = W_2(p) . \quad (11.12)$$

e) summatorni ko 'chirish.



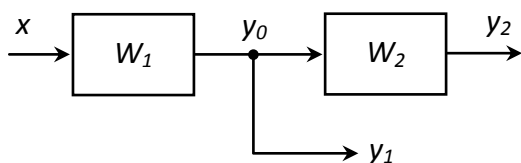
$$y_2 = [W_1 x + f] W_2,$$

$$y_2 = W_1 W_2 x + W_2 f = W_2 [W_1 x + f]$$

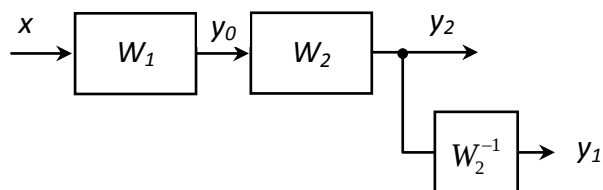


$$y_2 = W_1^{-1} W_1 W_2 f + W_1 W_2 x = W_2 [f + W_1 x].$$

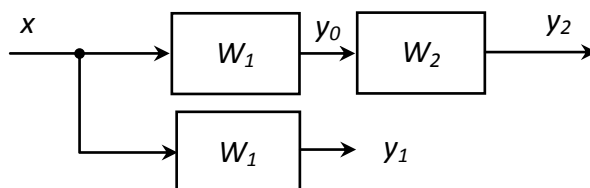
f) tugunni ko 'chirish.



$$y_1 = W_1 x,$$



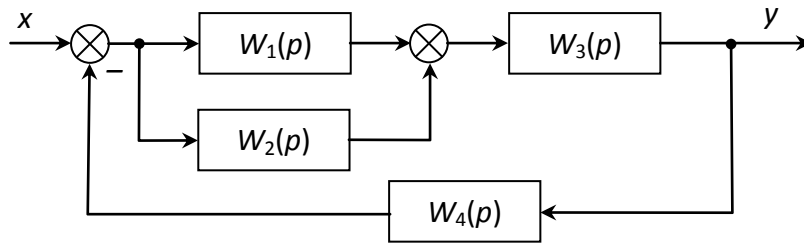
$$y_1 = W_1 W_2 W_2^{-1} x = W_1 x$$



$$y_1 = W_1 x.$$

2.5 - misol.

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



11.8-rasm. **Tizimning strukturali sxemasi.**

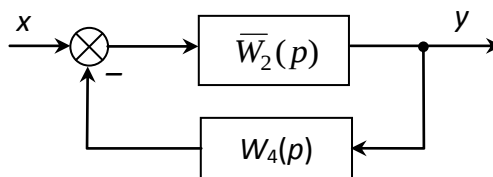
Yechish: Dastlab tipik ulangan zvenolarning uzatish funksiyalarini aniqlaymiz: parallel ulangan zvenolarning uzatish funksiyasi

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

ketma-ket ulangan zvenolarning uzatish funksiyasi

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

Kiritilgan belgilashlarni hisobga olib, tizimning tuzilishini 11.9-rasmda ko'rsatilgan ko'rinishga keltirish mumkin.



11.9-rasm. **Ekvivalent tizimning strukturali sxemasi.**

Strukturali o'zgartirishlardan foydalanib, tizimning umumiy uzatish funksiyasini yozamiz

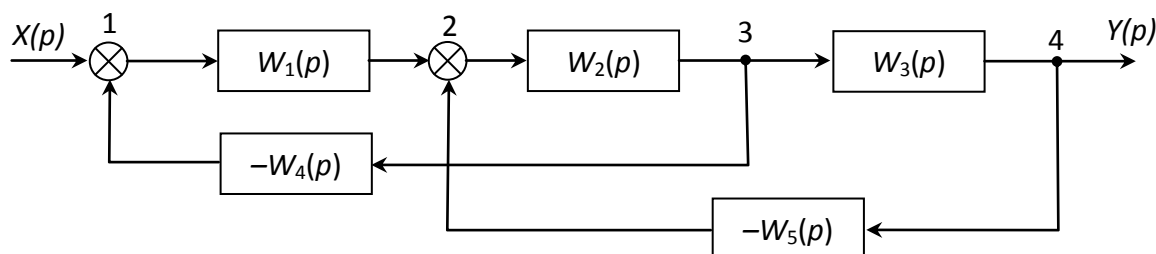
$$W(p) = \frac{\overline{W}_2(p)}{1 + \overline{W}_2(p) W_4(p)}.$$

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

$$W(p) = \frac{[W_1(p) + W_2(p)] W_3(p)}{1 + [W_1(p) + W_2(p)] W_3(p) W_4(p)}$$

2.6 - misol.

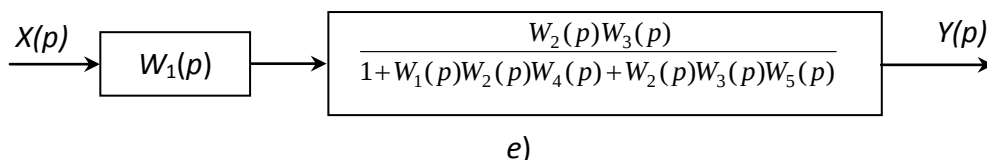
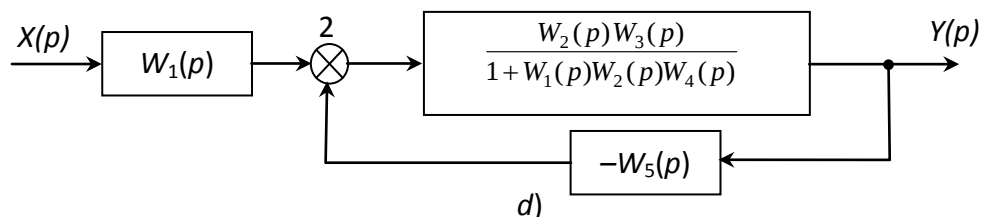
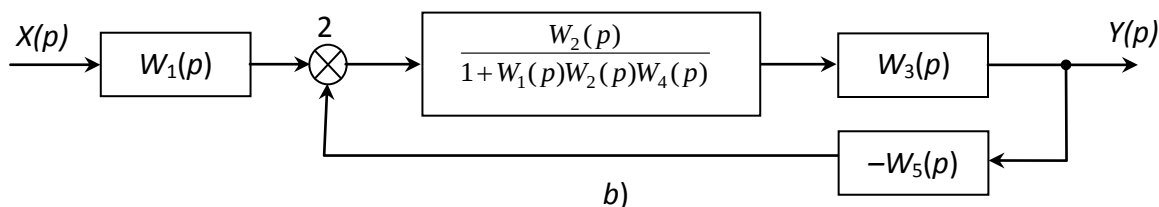
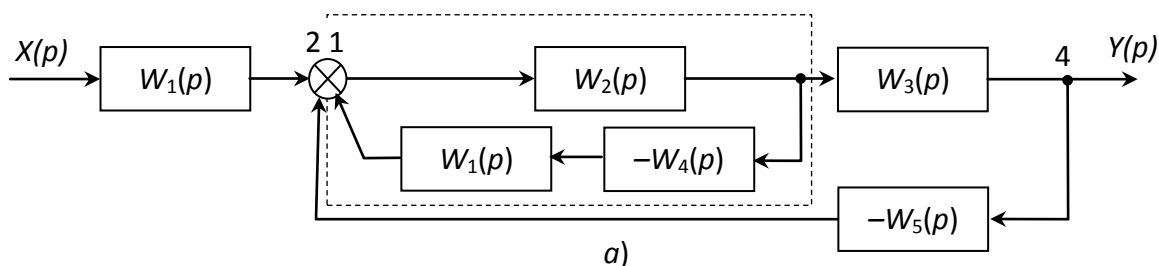
Boshqarish tizimining ko'pkonturli strukturali sxemasi berilgan (11.10-rasm). Struktur o'zgartirish qoidalari bo'yicha tizimning strukturali sxemasini soddalashtiring va uzatish funksiyasini aniqlang.

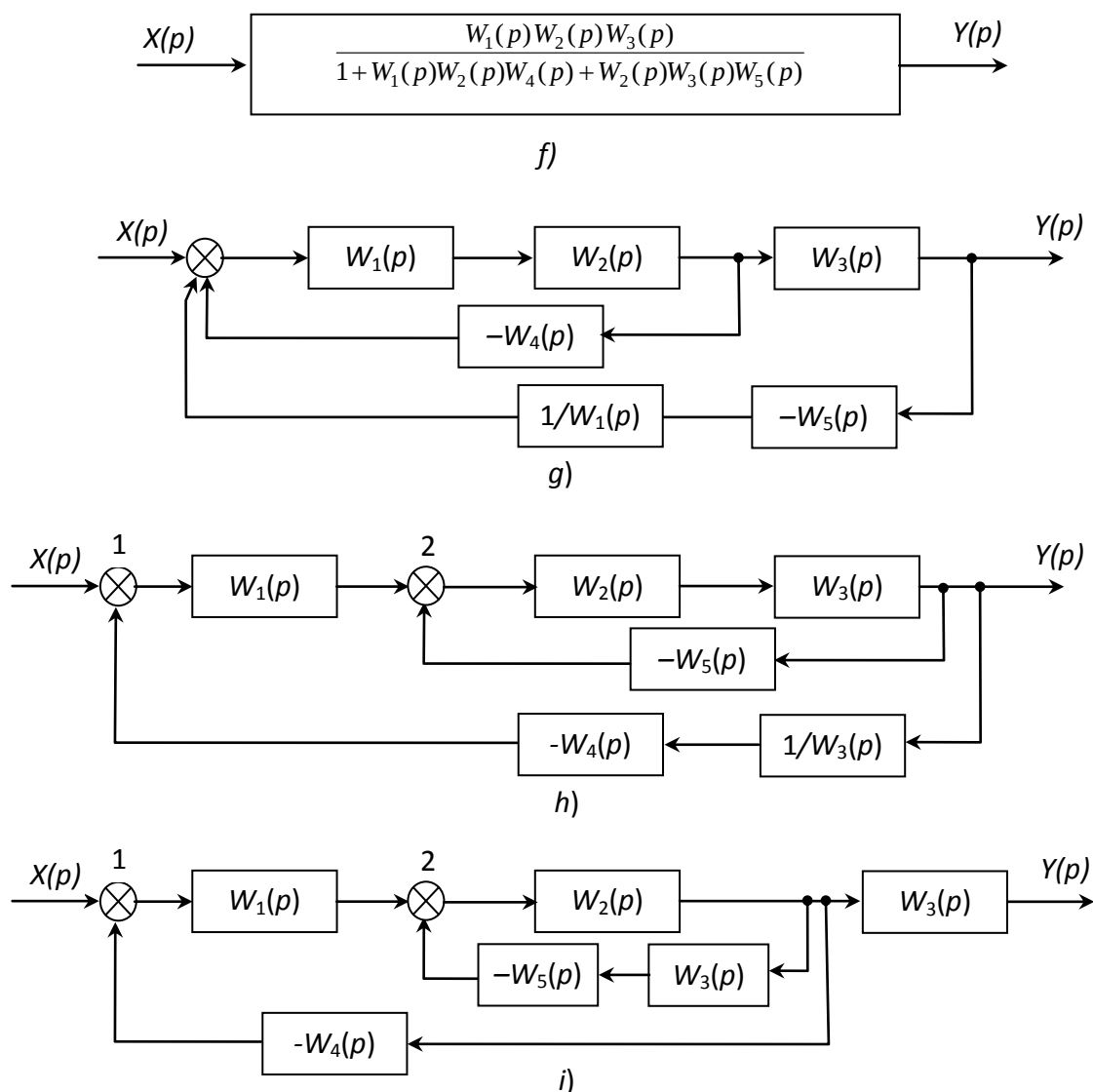


11.10-rasm. Tizimning strukturali sxemasi.

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:

1) summator 1 ni $W_1(p)$ zveno orqali signal yo'nalishi bo'yicha ko'chirish (11.11,a-rasm);





11.11-rasm.

2) summator 2 ni $W_1(p)$ zveno orqali signalga teskari yoʻnalish boʻyicha koʻchirish (11.11,g-rasm);

3) tugun 3 ni $W_3(p)$ zveno orqali signal yoʻnalishi boʻyicha koʻchirish (11.11,h-rasm), bunda tugun 4 bilan tugun 3 bir-birini qoplaydi;

4) tugun 4 ni $W_3(p)$ zveno orqali signalga teskari yoʻnalish boʻyicha koʻchirish (11.11,i-rasm).

Istalgan holatda biz manfiy bir-birini kesib oʻtmaydigan bogʻlanishli koʻpkonturli sxemani olamiz. Soʻngra 2.37,a-f-rasmda koʻrsatilgan kabi teskari aloqaning ichki konturidan boshlab soddalashtirib boramiz.

Tizimning uzatish funksiyasi quyidagicha boʻladi:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_4(p) + W_2(p)W_3(p)W_5(p)}. \quad (11.13)$$

Nazorat va muhokama savollari

1. Strukturali sxema deb nimaga aytiladi.
2. Ketma-ket va parallel ulangan zvenolarning umumiy uzatish funksiyasi qanday aniqlanadi?
3. Zvenolar teskari bog'lanish zanjiri orqali ulanganda uzatish funksiyasi qanday topiladi?
4. Tugun va summatorni elementlararo ko'chirish qoidasini tushuntiring.

**OCHIQ SISTEMANING UZATISH FUNKSIYASI BO'YICHA
LOGORIFMIK AMPLITUDA CHASTOTAVIY VA LOGARIFMIK FAZA
CHASTOTAVIY XARAKTERISTIKALARNI QURISH.**

Reja:

1. Ochiq tizimning chastotaviy xarakteristikalarini.
2. Ko'p o'lchamli obyektlarni vektor-matritsa shaklida ifodalash
3. Avtomatik boshqarish tizimini "kirish-chiqish" ko'rinishida ifodalash
4. Avtomatik boshqarish tizimini fazo holatida ifodalash
5. Holat o'zgaruvchilari sxemalari
6. "Kirish-chiqish" va fazo holati ko'rinishidagi ifodalarning o'zaro aloqasi.
7. O'tish matritsasi. O'tish matritsasini olishning analitik ko'rinishi
8. Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha o'tish matritsalarini tasvirini olish .

1.Ochiq tizimning chastotaviy xarakteristikalarini.

Agarda har bir zvenoning uzatish funksiyasi $W_i(p)$ ma'lum bo'lsa, u holda

$$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (12.1)$$

ifodadan foydalanib ochiq tizimning chastotali xarakteristikalarini quyidagicha hisoblash mumkin

$$W(j\omega) = W_1(j\omega) \cdot W_2(j\omega) \cdot \dots \cdot W_n(j\omega).$$

Ochiq tizimning AFX sini qurishda zvenolarning amplituda-chastotali xarakteristikalarini ko'paytirilib, faza-chastotali xarakteristikalarini esa qo'shiladi

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= [A_1(\omega) \cdot A_2(\omega) \cdot \dots \cdot A_n(\omega)] e^{j[\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \dots + \varphi_n(\omega)]} = \\ &= \prod_{i=1}^n A_i(\omega) \cdot e^{j \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega)}. \end{aligned} \quad (12.2)$$

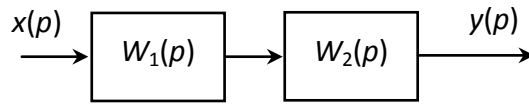
Agarda har bir zvenoning AFX $W(j\omega)$ si berilgan bo'lsa, unda ochiq tizimning AFX sini $W(j\omega)$ ni qurish uchun har bir aniqlangan chastota uchun $|W_i(j\omega)|$ vektorlar modullarini ko'paytirish va hosil bo'lgan vektorni

$$\varphi(\omega) = \varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \dots + \varphi_m(\omega)$$

burchak ostida yo'naltirish kerak.

Yuqorida aytilganlarni misollarda ko'rib chiqamiz.

2.7-misol. Ketma-ket ulangan ikki zvenoning uzatish funksiyasi berilgan bo'lsin (12.1-rasm.)



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

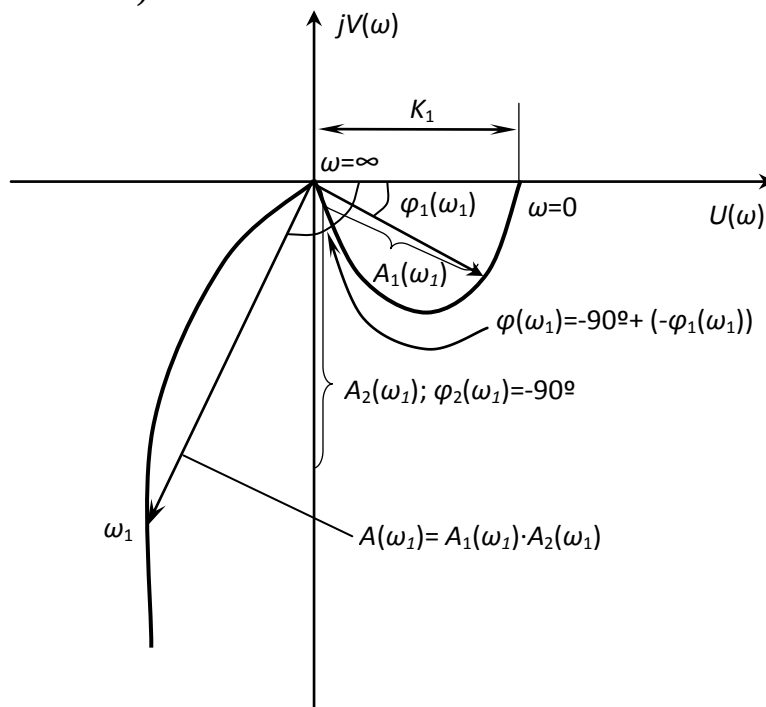
$$W_1(p) = \frac{K}{1 + pT_1}; \quad W_2(p) = \frac{1}{p}.$$

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 (12.2-rasm).



12.2-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'zgarmas $\varphi_2(\omega) = -90^\circ$ 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. Ko'p o'lchamli obyektlarni vektor-matritsa shaklida ifodalash

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

Boshqarish obyektlarining o'zi ko'p o'lchamli obyektlardir. Ko'p o'lchamlilik boshqarish tizimining boshqa qismida ham bo'lishi mumkin.

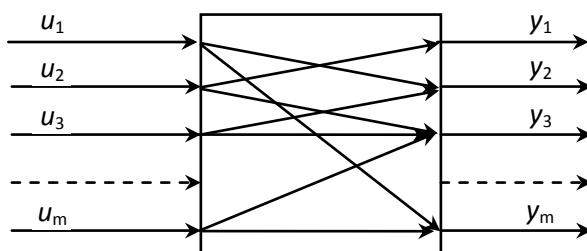
Chiqish o'zgaruvchilari, odatda, o'lchash mumkin bo'lgan haqiqiy fizik kattaliklardir. Biroq, chiqish o'zgaruvchisi sifatida bir necha mavhum o'zgaruvchilar bo'lishi mumkin, masalan, real chiqish o'zgaruvchisining hosilasi aniq fizik ma'noga ega emas, u holda bitta kirish va bitta chiqishli obyektlarni ham ko'p o'lchamli sifatida qarashimiz mumkin (bunda differensial tenglamaning tartibi ikki va undan yuqori bo'lishi kerak).

Har qanday chiziqli ko'p o'lchamli obyektlarning uzatish xossalarining matematik ifodasi ikki xil shaklda amalga oshirilishi mumkin:

- 1) real kirish va chiqish o'zgaruvchilari uchun ifodalanadigan dinamik xarakteristikalar (differensial tenglamalar, vaqt, uzatish va chastotaviy funksiyalar) dan foydalanish (kirish-chiqish ko'rinishida ifodalash);
- 2) Mavhum chiqish o'zgaruvchilar uchun ifodalanadigan Koshi shaklidagi differensial tenglamalardan foydalanish.

3. Avtomatik boshqarish tizimini "kirish-chiqish" ko'rinishida ifodalash

Ko'p o'lchamli obyekt m kirish o'zgaruvchi va n chiqish o'zgaruvchilariga ega bo'lsin (12.3-rasm).



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

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

$$\sum_{l=1}^n D_{il}(p)y_l(t) = \sum_{k=1}^m K_{ik}(p)u_k(t), i = 1, 2, \dots, n,$$

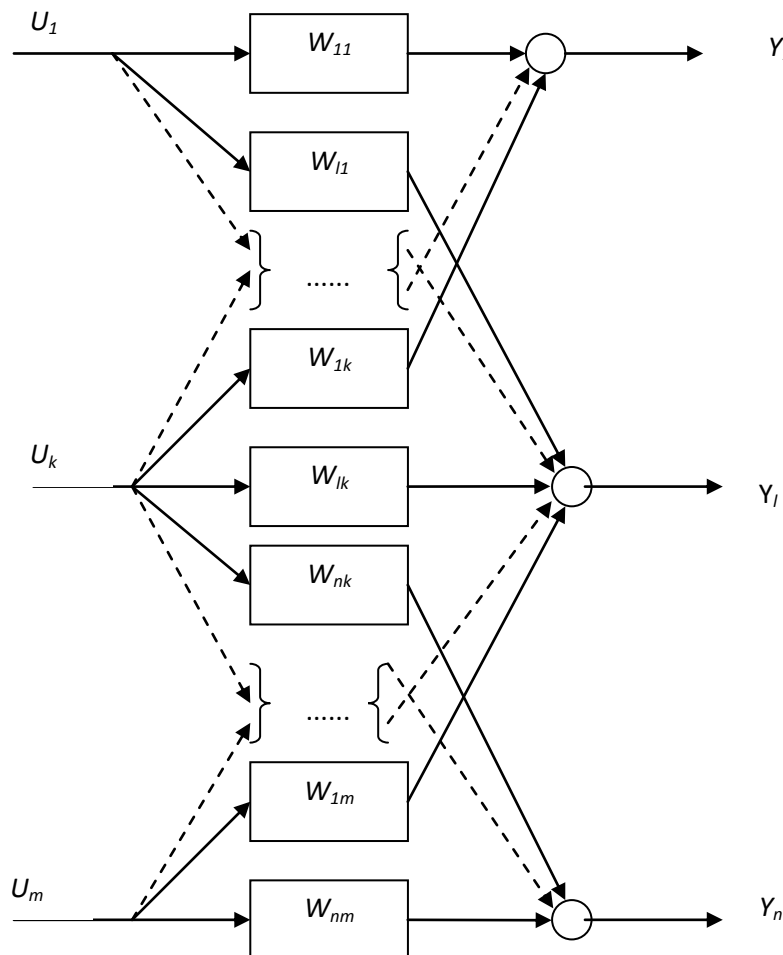
bu yerda, $D_{il}(p), K_{ik}(p)$ – kirish va chiqishning differensial operatorlari.

Vektor tenglama ko'rinishida esa

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

bu yerda $U(t), Y(t)$ – kirish va chiqish o'zgaruvchilari vektori $U = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix},$

$D(p), K(p)$ – operator matritsalar $D_{il}(p), K_{ik}(p).$



12.4-rasm. Ko'p o'lchamli obyektning kirish-chiqish ko'rinishida ifodalangan sxemasi.

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

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

Endi ob'jektning uzatish funksiyasi matritsasini (uzatish matritsasini) aniqlash mumkin:

$$W(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & \cdots & W_{1m}(p) \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{n1}(p) & \cdots & W_{nm}(p) \end{bmatrix} = D^{-1}(p)K(p).$$

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

$$W_{lk}(p) = \frac{y_l(p)}{u_k(p)} = \frac{K_{ik}(p)}{D_{il}(p)}, i = 1, 2, \dots, n.$$

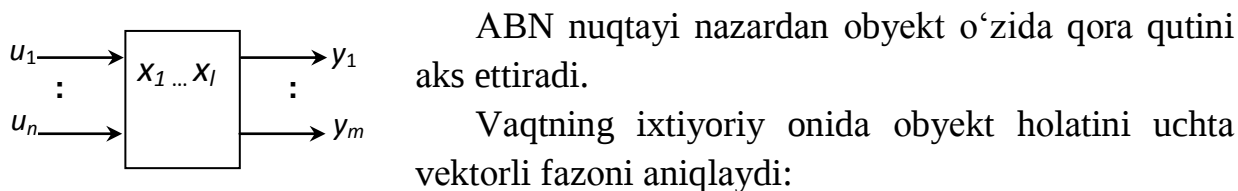
Unda tizimni vektorli operator tenglamasi yordamida ifodalash mumkin

$$Y(p) = W(p)U(p)$$

va boshlang'ich sxemani boshqasi bilan almashtiriladi (12.4-rasm):

4. 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.



1) **Kirishdagi** vektorli fazo $U = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$ obyektning (umumiy holda –

boshqaruvchi, xalaqit va yuklama) kirish ta'sirlarini aniqlaydi.

2) **Ichki holat** vektorli fazo $X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_l \end{bmatrix}$ 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:

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = A^* X(t) + B^* U(t) \\ Y(t) = C^* X(t) + D^* U(t), \end{cases} \quad (12.3)$$

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

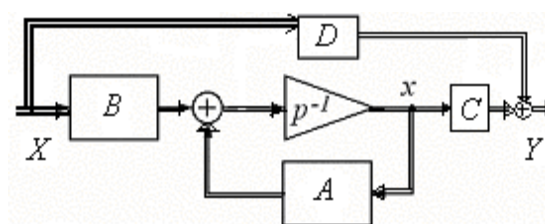
$C^* = [c_{ij}]_{m \times l}$, $D^* = [d_{ij}]_{m \times n}$ – obyekt chiqishida holat va kirish ta'siri o'zgaruvchilarini inersiyasiz ta'sirini tavsiflovchi doimiy koeffitsiyentli matritsalar.

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'zgaruvchilari bilan 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 (12.5-rasm):



12.5-rasm. **Obyekt modelining algoritmik sxemasi.**

Zvenoda $\dot{X}$ va X lar orasida quyidagi bog‘liqlik mavjud:

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

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

Holat va chiqish tenglamalaridan quyidagi ko‘p o‘lchamli chiziqli obyektning statistik matritsali tenglamasini olish mumkin:

$$Y = K_U U,$$

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

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

$$V = \begin{bmatrix} U(t) \\ X(t) \end{bmatrix} - \text{umumlashtirilgan holat vektori.}$$

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:

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

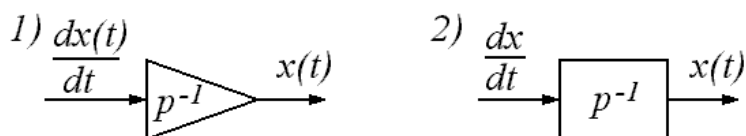
$$C = \begin{bmatrix} D^* & C^* \end{bmatrix} - \text{chiqish matritsasi.}$$

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

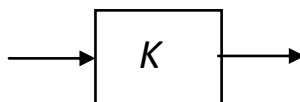
5. Holat o‘zgaruvchilari sxemalari

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'yicha 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:

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

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 koeffitsiyentga ham. Agar $m > n$ bo'lsa, holat o'zgaruvchilari sxemalarini qurib bo'lmaydi.

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

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

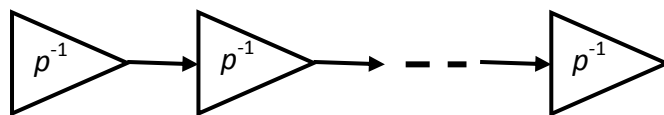
$$W(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} \Rightarrow Y(p) = W(p) \cdot U(p);$$

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

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

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

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

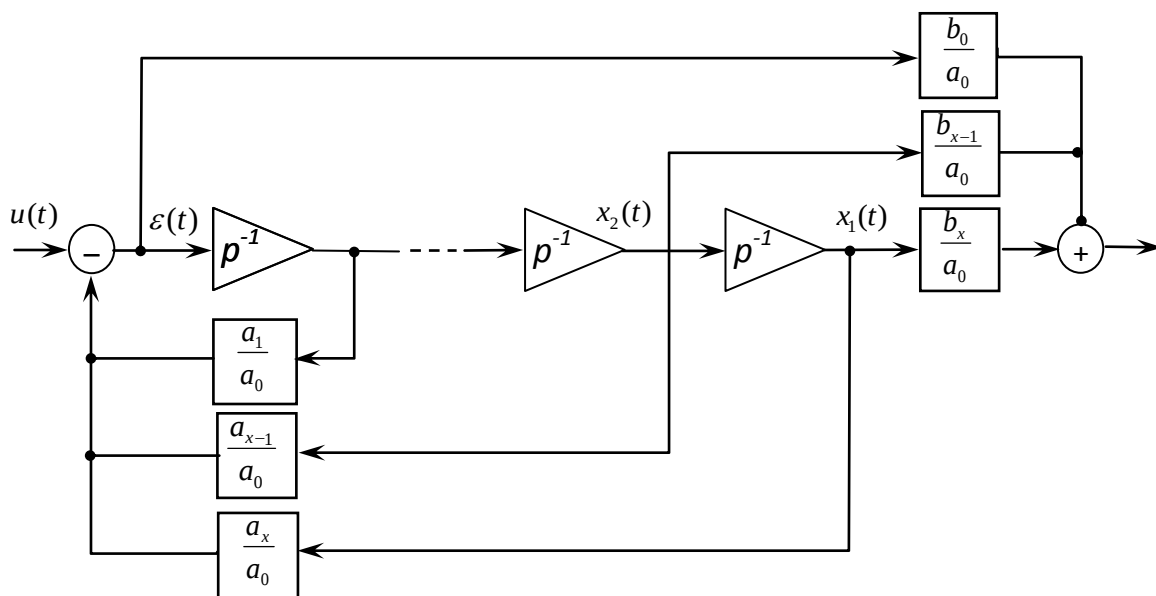


3. O‘zgartirilgan uzatish funksiyasining surati to‘g‘ri aloqa tarmog‘ini qurishga imkon beradi. Har bir (i -chi) integrator chiqishi mos ravishda koeffitsiyent ($\frac{b_i}{a_0}$)ga

ko‘paytiriladi, so‘ngra olingan signallar yig‘iladi. Agar koeffitsiyent ($\frac{b_i}{a_0}$) = 0 bo‘lsa,

u holda mos ravishda signallar qatnashmaydi. O‘zgartirilgan uzatish funksiyasining qo‘shiluvchi suratlari soni chiqish signalini hosil qiluvchi signallar soniga teng bo‘ladi.

$\frac{b_0}{a_0}$ koeffitsiyent xatolik signaliga mos bo‘ladi. Agar $m < n$ bo‘lsa, u holda xatolik signaliga muvofiq koeffitsiyent nolga teng bo‘ladi.



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

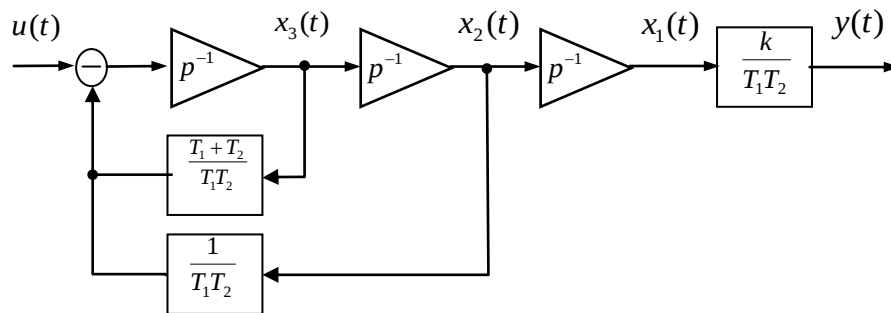
2.8-misol. Quyidagi uzatish funksiyasini ko‘rib chiqamiz:

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

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 sxemasi bo‘yicha tenglamalar tizimini tuzamiz. Kengaytirilgan vektorni ko‘ramiz:

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

$u(t)$ – birlik pog‘onali funksiya bo‘lsa, u holda tenglamalar tizimi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

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

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

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

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:

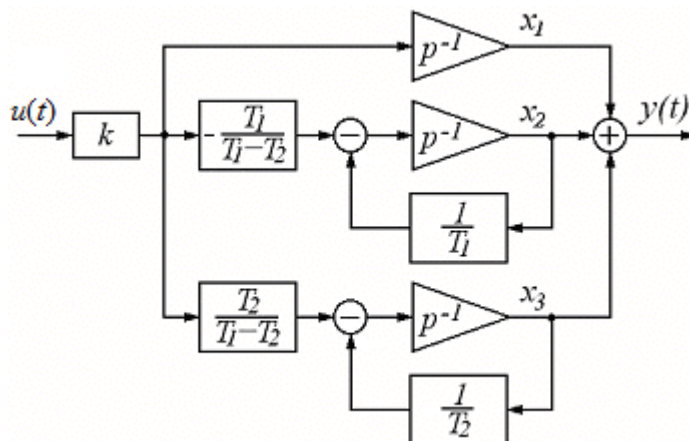
$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = A \cdot V(t), \\ Y(t) = C \cdot V(t). \end{cases}$$

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'zgaruvchilari sxemasi zvenolarning har biri (tayanch usullar) uchun holat o'zgaruvchilari sxemasini ketma-ket qurish yo'li bilan olinadi.

2.9-misol:

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

Holat sxemasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:



Tenglamalar tizimini tuzamiz:

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

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

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

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

6. “Kirish-chiqish” va fazo holati ko‘rinishidagi ifodalarning o‘zaro aloqasi

Kirish-chiqish ko‘rinishida ifodalagan tenglama berilgan bo‘lsin

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = A^* X(t) + B^* U(t), \\ Y(t) = C^* X(t) + D^* U(t). \end{cases} \quad (12.4)$$

Boshlang‘ich shartlar nolga teng bo‘lganda $W(p) = \frac{Y(p)}{U(p)}$, u holda (12.4)

ifodadagi birinchi tenglama quyidagicha bo‘ladi:

$$pX(p) = A^* X(p) + B^* U(p),$$

$$(pI - A^*)X(p) = B^* U(p),$$

$$X(p) = (pI - A^*)^{-1} B^* U(p).$$

$Y(p)$ ni o‘rniga qo‘ysak:

$$Y(p) = C^* (pI - A^*)^{-1} B^* U(p) + D^* U(p),$$

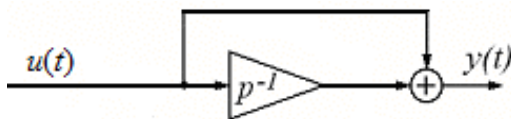
$$\frac{Y(p)}{U(p)} = W(p) = C^* (pI - A^*)^{-1} B^* + D^* .$$

Bundan ko‘rinib turibdiki, $(pI - A^*)^{-1}$ matritsasining aniqlovchisi $(\det(pI - A^*))$ tizimning xarakteristik tenglamasi hisoblanadi, chunki

$$C^* (pI - A^*)^{-1} B^* + D^* = \frac{C^* \cdot \text{bog} \cdot B^*}{\det(pI - A^*)} + D^* .$$

2.10-misol.

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



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

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

7. O‘tish matritsasi. O‘tish matritsasini olishning analitik ko‘rinishi

ABT ifodasi berilgan bo‘lsin:

$$\begin{cases} \frac{dV(t)}{dt} = A \cdot V(t), \\ Y(t) = C \cdot V(t). \end{cases} \quad (12.5)$$

Ushbu tenglamalar tizimining yechimini topish kerak.

Ushbu tizimni yechish uchun (12.5) tenglamadagi birinchi 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):

$$\frac{dV(t)}{dt} = A \cdot V(t),$$

$$pV(p) - V(0) = A \cdot V(p) \rightarrow pV(p) - A \cdot V(p) = V(0).$$

Guruhlashtiramiz:

$$(pI - A) \cdot V(p) = V(0), \quad (12.6)$$

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

(12.6) tenglamaning chap tarafini $(pI - A)$ ning 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:

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

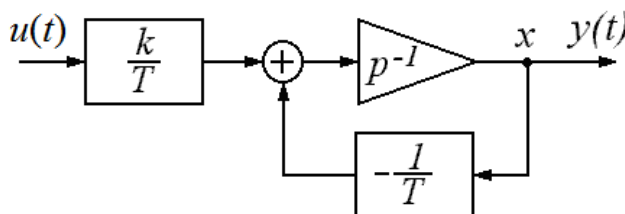
bu yerda, $\Phi(t)$ – o'tish (kengaytirilgan) matritsasi, $\Phi(t) = L^{-1} \{ (pI - A)^{-1} \}$.

Ushbu tenglamani tahlil qilib, agar boshlang'ich shartlar ma'lum bo'lsa (ular odatda ma'lum), u holda tizim o'zini tutishini, ixtiyoriy 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.

2.11-misol:

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



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

$\Phi(t)$ ni topamiz:

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

$$[pI - A]_{qo'shish} = \begin{bmatrix} p+1 & 0 \\ k & p \end{bmatrix}; \quad \{pI - A\}^{-1} = \frac{1}{p(p+1)} \cdot \begin{bmatrix} p+1 & 0 \\ k & p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{p} & 0 \\ \frac{k}{p(p+1)} & \frac{1}{p+1} \end{bmatrix};$$

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

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

O'tish matritsasi quyidagi ko'rinishda desak

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

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;
 $v_k(0) = 0 \Big|_{k \neq j}$

Agar boshlang'ich shartlar $v_j(0) = 1$ bo'lsa, u holda 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 $\Phi(t)$ o'tish matritsasining f_{ij} elementi hisoblanadi.

$F(t)$ o'tish matritsasining f_{ij} 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 impulsiga reaksiya – bu vazn - $\omega(t)$ funksiyasini aniqlaydi.

Vazn funksiyasi va uzatish funksiyalarini orasidagi aloqani hisobga olgan holda j -chi integratorning kirishi va i -chi integratorning chiqishlari orasidagi uzatish funksiyasini o'zida aks ettirgan $\Phi(t)$ o'tish matritsasining $f(p)_{ij}$ elementlaridan olamiz.

Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha $\Phi(p)$ matritsani olish algoritmi quyidagicha:

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

2) 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, $\Phi(p)$ 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.

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

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

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

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

Nazorat va muhokama savollari

1. Fazoviy holatda modelni tushuntiring?
2. «Nol – qutb» ko'rinishidagi modelni tushuntiring?
3. Ko'p o'lchamli elementlarni vektor-matritsa shaklida qanday ifodalanadi?

4. Istalgan ko'p o'lchamli element uzatish xossasining matematik ifodasini qanday ko'rinishlarda ifodalash mumkin?
5. Holat o'zgaruvchilari sxemalari qanday quriladi va qanaqa usullari mavjud?
6. Holat o'zgaruvchilari sxemalarini bazali usulda qurish algoritmini tushuntiring.
7. «Kirish-chiqish» va fazo holati usuli ifodalarining o'zaro aloqasi.
8. O'tish matritsasi va uni olishning analitik uslubini tushuntiring.
9. Holat o'zgaruvchilari sxemasi bo'yicha matritsani olish algoritmi qanday amalga oshiriladi?
10. Qatorga yoyish orqali o'tish matritsasini qanday olinadi?

TURG'UNLIK TUSHUNCHASI. TURG'UNLIK MASALASINING UMUMIY QO'YILISHI. A.M.LYAPUNOV TEOREMASI. CHIZIQLI AVTOMATIK BOSHQARISH SISTEMASINING TURG'UNLIK SHARTLARI

Reja:

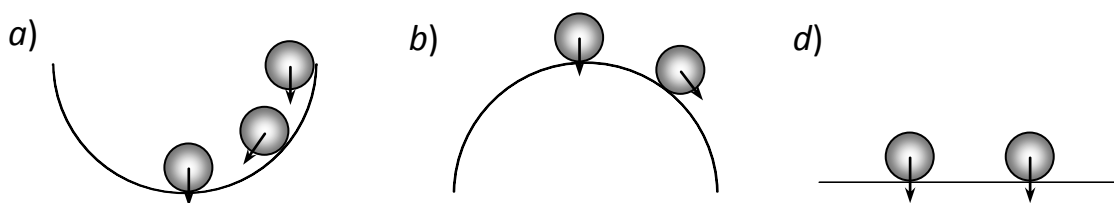
1. Turg'unlik tushunchasi.
2. Chiziqli avtomatik boshqarish tizimining turg'unlik shartlari. A.M.Lyapunov teoremasi

1. Turg'unlik tushunchasi.

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.

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).

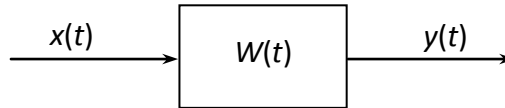


13.1-rasm. *a* - turg'un holat; *b* - noturg'un holat, *d* – neytral holat.

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.

Kirish kattaligi $x(t)$ va chiqish kattaligi $y(t)$ bo'lgan tizimni ko'rib chiqamiz (3.2-rasm).



13.2-rasm.

Tizimning differensial tenglamasini umumiy ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = b_0 \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x(t). \quad (13.1)$$

Tizimning turg'un yoki noturg'unligini ko'rish uchun (3.1) tenglamaning yechimini aniqlash kerak bo'ladi.

$$y(t) = y_e(t) + y_m(t), \quad (13.2)$$

bu yerda $y_m(t)$ – (13.1) tenglamaning xususiy yechimi bo'lib (majburiy tashkil etuvchi), tizimda muvozanat rejimini ifodalaydi; $y_e(t)$ – (13.1) tenglamaning o'ng tomoni nolga teng bo'lgandagi umumiy yechimi bo'lib (erkin tashkil etuvchisi), u tenglamaning o'tkinchi rejimini ifodalaydi.

$$t \rightarrow \infty \text{ bo'lganda } y_e(t) \rightarrow 0 \quad (13.3)$$

bo'lishi tizimning turg'unligini ifodalaydi.

Agar (13.3) shart bajarilsa, unda tizim turg'un bo'ladi. (13.1) tenglamaning o'tkinchi (erkin) tashkil etuvchisi $y_e(t)$

$$a_0 \frac{d^n y_e(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y_e(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y_e(t) = 0, \quad (13.4)$$

tenglamaning yechimini ifodalaydi.

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, uning yechimi (13.1) tenglamaning o'ng tomonidagi b_i koeffitsiyentga va $x(t)$ funksiyaning o'zgarish xarakteriga bog'liq emas ekan. (13.3) shartga ko'ra, tizimning turg'unligi yoki noturg'unligi koeffitsiyentlar b_i va kirish kattaligi $x(t)$ funksiyaga bog'liq emas ekan.

Demak, tizimning turg'unligi uning ichki xususiyati bo'lib, unga ta'sir etuvchi signallarga bog'liq emas.

(13.4) tenglamaning yechimini aniqlash uchun xarakteristik tenglamani olamiz:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (13.5)$$

bu yerda $p_1, p_2, \dots, p_n$ – (13.5) xarakteristik tenglamaning ildizlari bo'lib, ular har xil bo'lsin, unda (3.4) tenglamaning yechimini quyidagi ko'rinishda ko'rsatish mumkin:

$$y_e(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{p_i t}, \quad (13.6)$$

bu yerda, c_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 barcha 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

$$W(p) = \frac{P(p)}{Q(p)}. \quad (13.7)$$

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

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)} = \frac{\frac{P(p)}{Q(p)}}{1 + \frac{P(p)}{Q(p)}} = \frac{P(p)}{Q(p) + P(p)} = \frac{B(p)}{A(p)}, \quad (13.8)$$

$A(p) = 1 + W(p) = 0$ – 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:

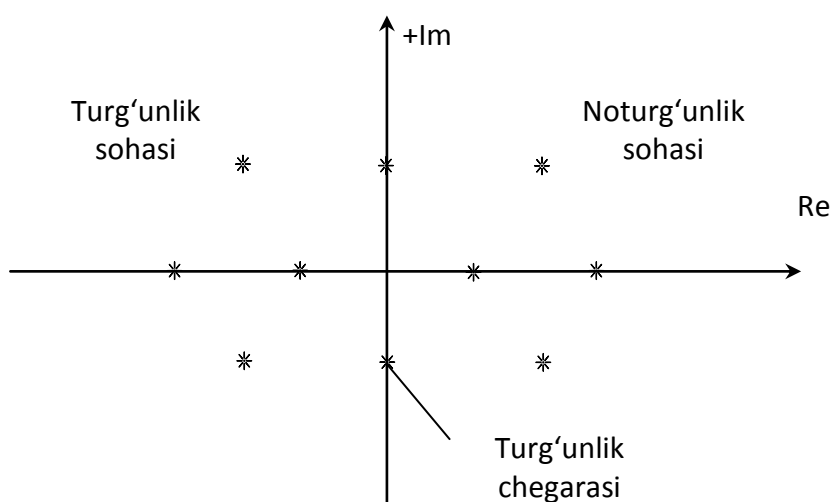
1-teorema: Agar chiziqlantirilgan tizim xarakteristik tenglamasi barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lsa, unda real tizim ham turg'un bo'ladi, ya'ni

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 eta 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).

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.



13.3-rasm. Xarakteristik tenglama ildizlarining kompleks tekisligida joylashishi.

Yuqori darajadagi tenglamalarning ildizlari uchun umumiy ifodalarni xarakteristik tenglama koeffitsientlari bo'yicha yozish umuman mumkin emas. Shuning uchun ildizlarni hisoblamasdan tizim turg'unligini aniqlashga imkon beradigan qoidalar muhimdir. Ushbu qoidalar *turg'unlik mezonlari* deb ataladi. Turg'unlik mezonlari yordamida nafaqat tizimning turg'unligini o'rnatish yoki yo'q, balkim tizimda u yoki bu parametr va strukturaviy o'zgarishlar turg'unlukka qanday ta'sir etayotganligini aniqlash mumkin.

Turg'unlik mezonlarini algebraik va chastotaviy mezonlarga bo'lish mumkin. Matematik nuqtai nazardan barcha mezonlar ekvivalent, biroq aniq masalani yechishda, turg'unlikni tadqiq etishning eng sodda yo'lini amalga oshirishga imkon beruvchi u yoki bu turg'unlik mezonlarini tanlash maqsadga muvofiqdir.

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?

TURG'UNLIKNING ALGEBRAIK MEZONLARI. RAUS TURG'UNLIK MEZONI. GURVITS TURG'UNLIK MEZONI. LENAR-SHIPAR TURG'UNLIK MEZONI

Reja:

1. Turg'unlikning algebraik mezonlari. Raus turg'unlik mezonlari
2. Gurvis turg'unlik mezonlari
3. Lenar-SHipar turg'unlik mezonlari

**1. Turg'unlikning algebraik mezonlari.
Raus turg'unlik mezonlari**

Tizimning turg'unligi xarakteristik tenglamalarning ildizlarini hisobga olmasdan turib aniqlaydigan qoidalarga algebraik mezonlar deyiladi. Turg'unlikning algebraik mezonlari xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari orqali tizimning turg'unligi haqida fikr yuritish imkonini beradi. Turg'unlikning algebraik mezonidan Raus va Gurvis mezonlari eng ko'p qo'llaniladi. Xarakteristik tenglama quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (14.1)$$

Xarakteristik tenglamaning hamma koeffitsiyentlarini musbat bo'lishi tizimning turg'un bo'lishi uchun zaruriy shartdir

$$a_0 > 0, \quad a_1 > 0, \quad \dots, \quad a_n > 0. \quad (14.2)$$

Raus va Gurvis mezonlari matematik jihatdan ekvivalentdir.

Rausning turg'unlik mezonlari 1877-yil ingliz matematigi E.Raus tomonidan taklif qilingan. Bu mezonni quyidagi jadval orqali tushuntirish mumkin.

14.1-jadval

r_i koef-ti	i qator	Ustun			
		1	2	3	4
—	1	$c_{11}=a_0$	$c_{21}=a_2$	$c_{31}=a_4$	
—	2	$c_{12}=a_1$	$c_{22}=a_3$	$c_{32}=a_5$	
$r_3 = \frac{c_{11}}{c_{12}}$	3	$c_{13}=c_{21}-r_3 c_{22}$	$c_{23}=c_{31}-r_3 c_{32}$	$c_{33}=c_{41}-r_3 c_{42}$	

$r_4 = \frac{c_{12}}{c_{13}}$	4	$c_{14} = c_{22} - r_4 c_{23}$	$c_{24} = c_{32} - r_4 c_{33}$	$c_{34} = c_{42} - r_4 c_{43}$	
$r_5 = \frac{c_{13}}{c_{14}}$	5	$c_{15} = c_{23} - r_5 c_{24}$	$c_{25} = c_{33} - r_5 c_{34}$	$c_{35} = c_{43} - r_5 c_{44}$	
.....	...				
$r_i = \frac{c_{1,i-2}}{c_{1,i-1}}$	i	$c_{1,i} = c_{2,i-2} - r_i c_{2,i-1}$	$c_{2,i} = c_{3,i-2} - r_i c_{3,i-1}$	$c_{3,i} = c_{4,i-2} - r_i c_{4,i-1}$	

14.1-jadvalning birinchi qatoriga xarakteristik tenglama ko'effitsiyentlari indeksi oshib borish tartibida juft indeksli $a_0, a_2, a_4, a_6, \dots$, ikkinchi qatoriga esa toq indeksli $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots$ ko'effitsiyentlar joylashtiriladi.

Jadvalning qolgan har bir ko'effitsiyentlari quyidagicha topiladi:

$$c_{k,i} = c_{k+1,i-2} - r_i c_{k+1,i-1}, \quad (14.3)$$

bu yerda

$$r_i = c_{1,i-2} / c_{1,i-1}. \quad (14.4)$$

(14.3) va (14.4) tenglamalarda k – 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 ifodalanadi: ABT turg'un bo'lishi uchun Raus jadvalining birinchi ustuni ko'effitsiyentlari bir xil ishorali bo'lishi, ya'ni $c_{i,n+1} > 0$ bo'lganda

$$c_{11} = a_0 > 0; c_{12} = a_1 > 0; \dots; c_{i,n+1} > 0, \quad (14.5)$$

shart yetarlidir.

Agar birinchi ustun ko'effitsiyentlarining 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 14.2-jadval ko'rinishida ifodalash qulaydir.

14.2-jadval

Parametrlar	$c_{11}=a_0$	$c_{21}=a_2$	$c_{31}=a_4$	$c_{41}=a_6$
	$c_{12}=a_1$	$c_{22}=a_3$	$c_{32}=a_5$	$c_{42}=a_7$
$r_1 = c_{11}/c_{12}$	$c_{13}=c_{21}-r_1c_{22}$	$c_{23}=c_{31}-r_1c_{32}$	$c_{33}=c_{41}-r_1c_{42}$	$c_{43}=0$
$r_2 = c_{12}/c_{13}$	$c_{14}=c_{22}-r_2c_{23}$	$c_{24}=c_{32}-r_2c_{33}$	$c_{34}=c_{42}-r_2c_{43}$	$c_{44}=0$
$r_3 = c_{13}/c_{14}$	$c_{15}=c_{23}-r_3c_{24}$	$c_{25}=c_{33}-r_3c_{34}$	$c_{35}=c_{43}-r_3c_{44}$	$c_{45}=0$
...	...	...	...	...

Berilgan tizim uchun Raus jadvali 14.3-jadval ko‘rinishiga ega bo‘ladi

$$D(p) = 0,104 p^7 + 0,33 p^6 + 5,5 p^5 + 15,5 p^4 + 25 p^3 + 25 p^2 + 19,7 p + 9,5$$

14.3-jadval

Parametrlar	$c_{11}=a_0=0,104$	$c_{21}=a_2=5,5$	$c_{31}=a_4=25$	$c_{41}=a_6=19,7$
	$c_{12}=a_1=0,33$	$c_{22}=a_3=15,5$	$c_{32}=a_5=25$	$c_{42}=a_7=9,5$
$r_1=0,315$	$c_{13}=0,6$	$c_{23}=17,1$	$c_{33}=16,7$	$c_{43}=0$
$r_2=0,55$	$c_{14}=6,0$	$c_{24}=15,8$	$c_{34}=9,5$	$c_{44}=0$
$r_3=0,1$	$c_{15}=15,52$	$c_{25}=15,75$	$c_{35}=0$	$c_{45}=0$
$r_4=0,386$	$c_{16}=9,7$	$c_{26}=9,5$	$c_{36}=0$	$c_{46}=0$
$r_5=1,6$	$c_{17}=0,55$	$c_{27}=0$	$c_{37}=0$	$c_{47}=0$
$r_6=0$	$c_{18}=9,5$	$c_{28}=0$	$c_{38}=0$	$c_{48}=0$

To‘ldirilgan Raus jadvalining (14.3-jadval) birinchi ustun koeffitsiyentlari musbat bo‘lgani uchun tizim turg‘undir.

2. Gurvis turg‘unlik mezoni

Bu mezon 1895-yilda nemis matematigi Gurvis tomonidan taklif qilingan. Xarakteristik tenglama quyidagi ko‘rinishda berilgan bo‘lsin:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (14.6)$$

Gurvis turg'unlik mezoniga muvofiq xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlaridan Gurvisning bosh aniqlovchisi tuziladi. Bunda $a_0 > 0$ bo'lib, aniqlovchilarni quyidagi qoidalarga asosan hisoblash kerak:

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.

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}. \quad (14.7)$$

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 strukturasidan 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 tartibi $n = 1, 2, 3, 4$ ga teng bo'lgan xarakteristik tenglamalar bilan ifodalangan tizimlar uchun Gurvis mezonining shartlarini ko'rib chiqamiz.

$$a) n = 1, \quad a_0 p + a_1 = 0.$$

Bunda $a_0 > 0$; $a_1 > 0$ turg'unlik sharti bo'ladi. Demak, birinchi tartibli tizimlar turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koefitsiyentlarining 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:

$$a_0 = 0; \quad a_1 > 0; \quad a_2 > 0.$$

Demak, ikkinchi tartibli tenglama bilan ifodalangan tizimlarning turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koefitsiyentlarining 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:

$$a_0 = 0; \quad a_1 > 0; \quad a_2 > 0; \quad a_3 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0.$$

Shunday qilib, uchinchi tartibli tenglama bilan ifodalangan tizim turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koefitsiyentlarining 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:

$$a_0 = 0; \quad a_1 > 0; \quad a_2 > 0; \quad a_3 > 0; \quad a_4 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0.$$

$$a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_1 a_2 a_3 + 0 + 0 - 0 - a_0 a_3^2 - a_1^2 a_4 = a_3 (a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 > 0.$$

To'rtinchi tartibli tenglama bilan ifodalangan tizimlar turg'un bo'lishi uchun xarakteristik tenglama koefitsiyentlarining musbat bo'lishidan tashqari yana ikki $(a_1 a_2 - a_0 a_3) > 0$, $a_3 (a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 > 0$ 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. Tizimni xarakteristik tenglamasi $12p^3 + 10p^2 + 8p + 10 = 0$ bo'lsa, Gurvis mezonini bo'yicha turg'unlikka tekshiring.

Yechish:

$$\begin{aligned} \text{Bu yerda} \quad a_0 &= 12 > 0, & a_2 &= 8 > 0, \\ a_3 &= 10 > 0, & a_3 &= 10 > 0. \end{aligned}$$

Demak, Gurvis mezonining yetarli sharti bajarilgan. Endi zaruriy shartini aniqlaymiz. Buning uchun Δ_2 ni aniqlaymiz

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 10 \cdot 8 - 12 \cdot 10 = -40 < 0.$$

Noldan kichik bo'lganligi sababli tizim noturg'un bo'ladi.

3.3-misol. Tizimni xarakteristik tenglamasi $0,1p^4 + 6p^3 + 4p^2 + p + 4 = 0$ 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_2 va Δ_3 larni aniqlaymiz:

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 6 \cdot 4 - 0,1 \cdot 1 = 23,9 > 0;$$

$$\Delta_3 = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 = 1 \cdot 23,9 - 6^2 \cdot 4 = 23,9 - 144 = -120,1 < 0.$$

Gurvis mezonining zaruriy sharti bajarilmaganligi sababli tizim noturg'un.

3.4-misol. Tizimni xarakteristik tenglamasi $3p^5 + 10p^4 + 5p^3 - 7p^2 + p + 100 = 0$ bo'lsa, Gurvis mezonini bo'yicha turg'unlikka tekshiring.

Yechish:

$$\begin{aligned} \text{Bu yerda} \quad a_0 &= 3 > 0, & a_1 &= 10 > 0, & a_2 &= 5 > 0, \\ a_3 &= -7 < 0, & a_4 &= 1 > 0, & a_5 &= 100 > 0. \end{aligned}$$

$a_3 = -7$ manfiy ishorali bo'lganligi sababli Gurvis mezonining yetarli sharti bajarilmayapti. Shuning uchun berilgan tizim noturg'un.

3. Lenar-Shipar turg'unlik mezon

Bu mezon 1919-yil P.Lenar va R.Shipar tomonidan taklif qilingan. Xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (14.8)$$

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:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0,$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_5 > 0 \text{ yoki } \Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \Delta_6 > 0$$

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.

Nazorat va muhokama savollari

1. Turg'unlik mezonlari deb nimaga aytiladi?
2. Turg'unlikning algebraik mezonlariga qanday mezonlar kiradi?
3. Turg'unlikning Raus va Gurvis mezonlarini afzalliklari va kamchiliklari to'g'risida aytib bering.
4. Gurvis aniqlovchisi (detirminanti) qanday qoidalarga asosan aniqlanadi?
5. Gurvis mezonining ta'rifini aytib bering.
6. Lenar-Shipar turg'unlik mezon qachon va kim tomonidan taklif qilingan?

TURG'UNLIKNING CHASTOTAVIY MEZONLARI. ARGUMENTLAR PRINSIPI.

Reja:

1. Turg'unlikning chastotaviy mezonlari
2. Argumentlar prinsipi

1. Turg'unlikning chastotaviy mezonlari

Turg'unlikning chastotaviy mezonlari avtomatik tizimlarning chastotaviy xarakteristikalarini ko'rinishiga qarab ularning turg'unlik holatlarini tekshirish imkonini beradi.

Turg'unlikning chastotaviy mezonlari grafoanalitik mezon bo'lib, tizimlarning turg'unligini tekshirishda juda keng qo'llaniladi. Chunki bu mezonlar yordamida xarakteristik tenglamasini tartibi yuqori bo'lgan avtomatik tizimlarning turg'unlik holatini tekshirish ancha oson hamda ular sodda geometrik tasvirga egadir.

Turg'unlikning chastotaviy mezonlari asosida kompleks o'zgaruvchi funksiya nazariyasidan ma'lum bo'lgan argumentlar prinsipi yotadi.

2. Argumentlar prinsipi

Quyida argumentlar prinsipining qisqacha bayonini keltiramiz.

« n » – darajali polinom berilgan bo'lsin

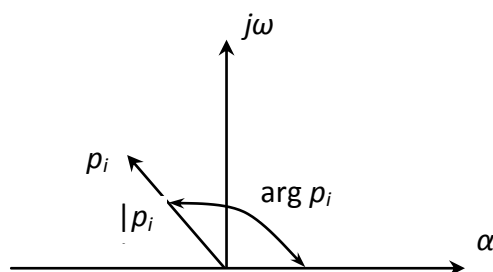
$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (15.1)$$

Bu polinomni Bezu teoremasiga asosan quyidagicha ifodalash mumkin:

$$D(p) = a_0 (p - p_1)(p - p_2)(p - p_3) \dots (p - p_n), \quad (15.2)$$

bu yerda, $p_1, p_2, \dots, p_n - D(p)=0$ xarakteristik tenglamaning ildizlari.

« p » kompleks tekisligida har qaysi ildizni koordinata o'qi boshidan « p_i » nuqttagacha o'tkazilgan vektor orqali ifodalash mumkin (15.1-rasm).

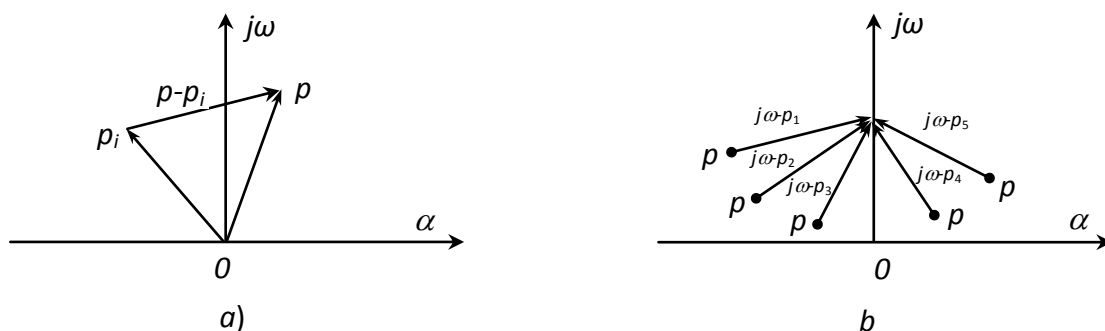


15.1-rasm.

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 fazasiga teng bo'ladi, ya'ni $\arg p_i$. $(p - p_i)$ miqdorning geometrik o'rni p_i nuqtadan ixtiyoriy « p » nuqtasiga o'tkazilgan vektor orqali ifodalanadi. Xususiyl holda $p = j\omega$ bo'lganda (3.18) ifodani

$$D(j\omega) = a_0(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)(j\omega - p_3)\dots(j\omega - p_n) \quad (15.3)$$

ko'rinishida ifodalash mumkin. (15.3) ifodaning geometrik tasviri 15.2-rasmda keltirilgan.



15.2 -rasm.

$D(j\omega)$ vektorning moduli $(j\omega - p_i)$ elementar vektor va a_0 koeffitsiyentning ko'paytmasiga

$$|D(j\omega)| = a_0 |j\omega - p_1| \cdot |j\omega - p_2| \cdot |j\omega - p_3| \cdot \dots \cdot |j\omega - p_n| \quad (15.4)$$

argumenti esa elementar vektorlar argumentining yig'indisiga teng bo'ladi

$$\arg D(j\omega) = \sum_{i=1}^n \arg(j\omega - p_i). \quad (15.5)$$

Chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda $D(j\omega)$ ning vektor argumentini o'zgarishi

$$\Delta \arg D(j\omega) = \sum_{i=1}^n \Delta \arg(j\omega - p_i) \quad (15.6)$$

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

ga teng bo'ladi.

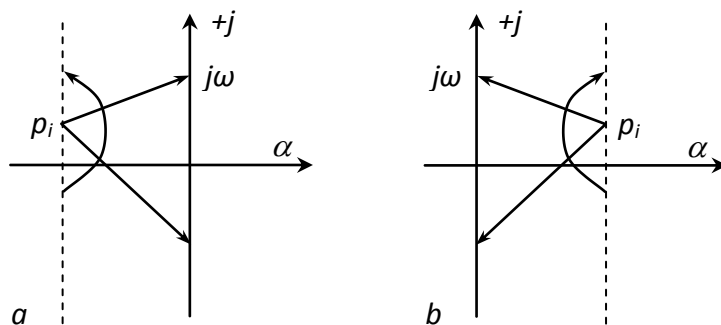
(15.6) ifodaga ko'ra $D(j\omega)$ vektor argumentining o'zgarishini hisoblash uchun $(j\omega - p_i)$ vektorlar argumenti o'zgarishining yig'indisini hisoblash zarur. Argumentning bu o'zgarishi esa p_i ildizning kompleks tekisligining qaysi tomonida joylashganligiga bog'liq.

1. p_i ildiz kompleks tekisligining chap tomonida joylashgan bo'lsin (15.3a-rasm).

$-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda $(j\omega - p_i)$ vektoring uchi mavhum o'q bo'yicha pastdan yuqoriga soat strelkasiga teskari (qarshi) yo'nalishda 180° burchakka buriladi, ya'ni

$$\Delta \arg(j\omega - p_i) = \pm\pi. \quad (15.7)$$

$-\infty < \omega < \infty$



15.3-rasm.

2. p_i ildiz kompleks tekisligining o'ng tomonida joylashgan bo'lsin (15.3b-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

$$\Delta \arg(j\omega - p_i) = -\pi. \quad (15.8)$$

$-\infty < \omega < \infty$

$D(p) = 0$ tenglamaning « l » ildizlari kompleks tekisligining o'ng tomonida, $(n-l)$ ta ildizlari chap tomonida joylashgan deb faraz qilaylik. Unda (15.7) va (15.8) ifodalarga asoslanib, $D(j\omega)$ vektor argumentining o'zgarishi

$$\Delta \arg D(j\omega) = (n-l)\pi - l\pi = (n-2l)\pi \quad (15.9)$$

$-\infty < \omega < \infty$

ga teng bo'lishini ko'ramiz.

(15.9) tenglik argumentlar prinsipining ifodasini bildiradi va uni quyidagicha ta'riflash mumkin.

Chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda $D(j\omega)$ 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

$$\Delta \arg D(j\omega) = (n-2l)\frac{\pi}{2}$$

$0 < \omega < \infty$

bo'ladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Chiziqli ABTning turg'unligini yetarli va zaruriy shartlarini tushuntiring.
2. Chiziqli ABTning turg'unligi to'g'risidagi Lyapunov teoremasini ayting?
3. Turg'unlik mezonlari deb nimaga aytiladi?
4. Turg'unlikning algebraik mezonlariga qanday mezonlar kiradi?
5. Turg'unlikning chastotaviy mezonini imkoniyatlari va qo'llanilishi to'g'risida nimalar deya olasiz?
6. Argumentlar prinsipini tushuntirib bering.

MIXAYLOV TURG'UNLIK MEZONI.

Reja:

1. Turg'unlikning Mixaylov mezoni
2. Misolar

1. Turg'unlikning Mixaylov mezoni

Mixaylovning turg'unlik mezoni o'zining mohiyati jihatdan argumentlar prinsipining geometrik tasviridir.

Tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagicha bo'lsin

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (16.1)$$

Tizim turg'un bo'lishi uchun (16.1) 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 $\Delta \arg D(j\omega) = n \frac{\pi}{2}$ $0 < \omega < \infty$ yoki $\Delta \arg D(j\omega) = n\pi$ $-\infty < \omega < \infty$ shart bajarilishi kerak.

Chastota ω noldan cheksizga o'zgarganda $D(j\omega)$ vektorni kompleks tekisligida chizgan 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 $U(\omega) = (a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots)$ 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,

$$D(\omega) = U(\omega) - jV(\omega)$$

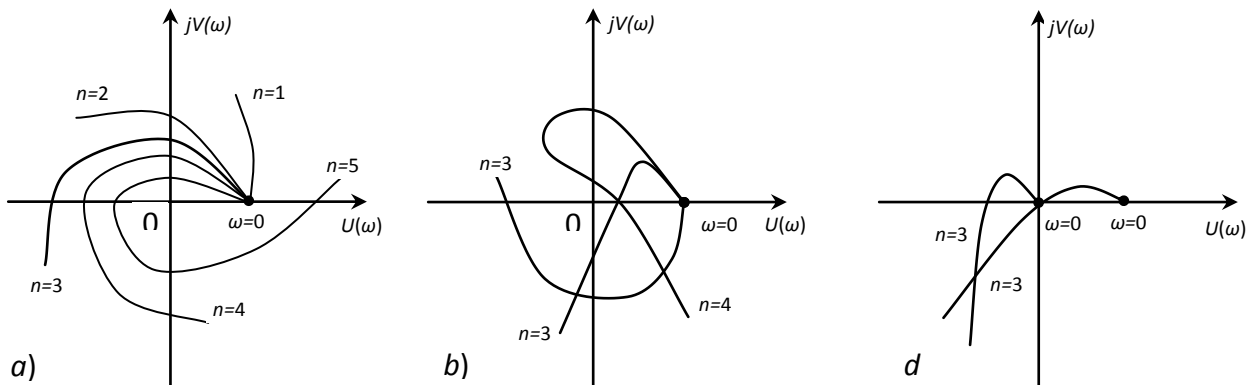
bo'ladi.

Mixaylov mezonining ta'rifi:

Agar chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda Mixaylov gadografi $\omega=0$ da haqiqiy musbat o'qdan boshlab koordinata boshi atrofida musbat (soat strelkasiga qarshi)

yoʻnalishda $n\pi/2$ burchakka burilsa, u holda tizim turgʻun boʻladi (bu yerda « n » xarakteristik tenglamaning darajasi).

16.1,a-rasmda turgʻunlik shartlari uchun Mixaylov gadograflarining koʻrinishlari keltirilgan.



16.1-rasm. *Tizimning turgʻunlik (a), noturgʻunlik (b) va turgʻunlik chegarasi (d) shartlari uchun Mixaylov gadograflarining koʻrinishlari.*

Ushbu gadograflarni tahlil etib Mixaylov gadografi koordinata tekisligida kvadratlarni ketma-ket kesib oʻtganda, u haqiqiy va mavhum oʻqlarni birin-ketin kesib oʻtishini koʻrishimiz mumkin.

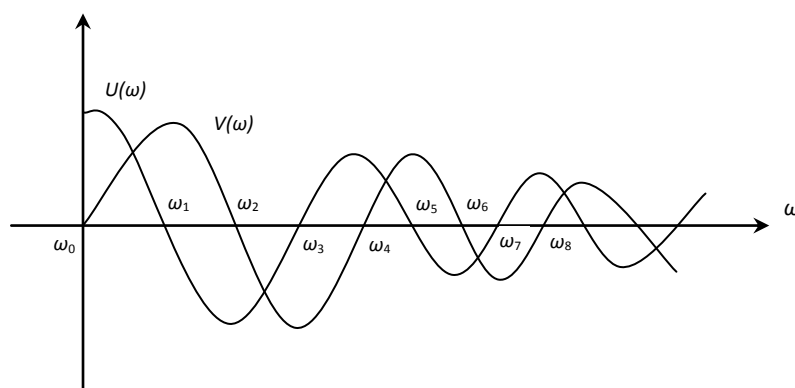
Mixaylov gadografi haqiqiy oʻqni kesib oʻtganda, uning mavhum funksiyasi $V(\omega)$ nolga aylanadi, mavhum oʻqni kesib oʻtganda esa Mixaylovning haqiqiy funksiyasi $U(\omega)$ nolga aylanadi.

Shuning uchun gadografning haqiqiy va mavhum oʻqlarni kesib oʻtgan nuqtalaridagi chastotaning qiymati

$$U(\omega) = 0, \quad (16.2,a)$$

$$V(\omega) = 0, \quad (16.2,b)$$

tenglamalarining ildizlari boʻlishi kerak. Ushbu funksiyalarning grafigi 16.2-rasmda keltirilgan.



16.2-rasm. *Gadografning haqiqiy va mavhum oʻqlarni kesib oʻtgan nuqtalaridagi koʻrinish grafigi.*

Bu egri chiziqlarning absissa o'qi bilan kesishgan nuqtalari (16.2,a) va (16.2,b) tenglamalarning ildizlarini bildiradi.

Agar $\omega_0, \omega_2, \omega_4, \dots$ (16.2,b) tenglamaning ildizlari $\omega_1, \omega_3, \omega_5, \dots$ esa (16.2,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.

2. Misolar

3.5-misol. Tizimning xarakteristik tenglamasi $2p^3 + 6p^2 + 10p + 15 = 0$ 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.

$$2(j\omega)^3 + 6(j\omega)^2 + 10(j\omega) + 15 = 0,$$

$$U(\omega) = 15 - 6\omega^2; \quad V(\omega) = \omega(10 - 2\omega^2)$$

$$a) \omega = 0 \text{ bo'lsa} \quad U(\omega) = 15; \quad V(0) = 0;$$

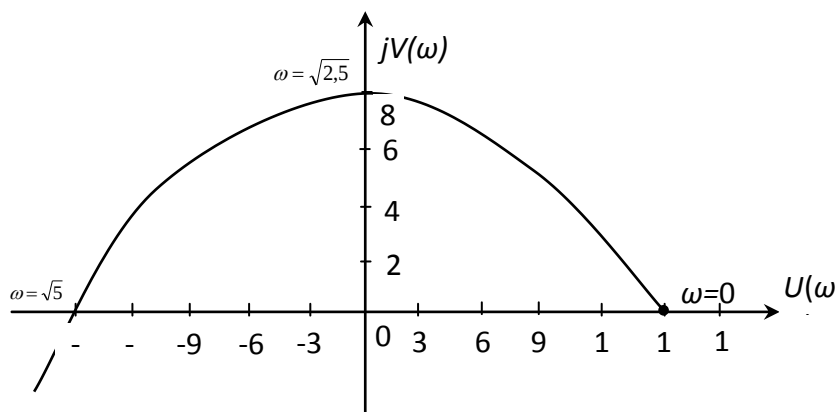
$$b) U(\omega) = 0; \quad 15 - 6\omega^2 = 0 \quad \omega^2 = 15/6 = 2.5;$$

$$V(\sqrt{2.5}) = \sqrt{2.5}(10 - 2 \cdot 2.5) = \sqrt{2.5} \cdot 5 \approx 8;$$

$$d) V(\omega) = 0; \quad (10 - 2\omega^2) = 0 \quad \omega^2 = 5;$$

$$U(\sqrt{5}) = 15 - 6 \cdot 5 = -15.$$

Shu qiymatlar asosida Mixaylov gadografini quramiz (16.3-rasm).



16.3-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'unidir.

3.6-misol. Tizimning xarakteristik tenglamasi $p^3 + 4p^2 + 10p + 40 = 0$ 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.

$$(j\omega)^3 + 4(j\omega)^2 + 10j\omega + 40 = 0,$$

$$U(\omega) = 40 - 4\omega^2; V(\omega) = \omega(10 - 2\omega^2),$$

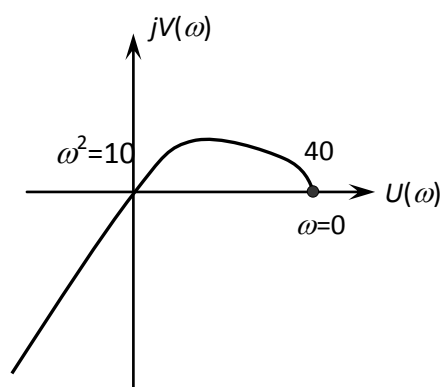
$$a) \omega = 0, \quad U(0) = 40$$

$$V(0) = 0,$$

$$b) U(\omega) = 0, \quad 40 - 4\omega^2 = 0,$$

$$\omega^2 = 10.$$

$$V(\sqrt{\omega}) = \sqrt{10}(10 - 10) = 0.$$



16.4-rasm.

16.4-rasmda keltirilgan gadografdan ko'rinib turibdiki, tizim turg'unlik chegarasida.

Nazorat va muhokama savollari

1. Chiziqli ABTning turg'unligini yetarli va zaruriy shartlarini tushuntiring.
2. Chiziqli ABTning turg'unligi to'g'risidagi Lyapunov teoremasini ayting?
3. Turg'unlik mezonlari deb nimaga aytiladi?
4. Turg'unlikning chastotaviy mezonini imkoniyatlari va qo'llanilishi to'g'risida nimalar deya olasiz?
5. Mixaylov gadografi qanday tartibda quriladi.
6. Mixaylov mezonining ta'rifini aytib bering.

NAYKVIST TURG'UNLIK MEZONI.

Reja:

1. Naykvist turg'unlik mezoni
2. Astatik tizim uchun Naykvist mezonini qo'llash.

1. Naykvist turg'unlik mezoni

Ushbu turg'unlikning chastotaviy mezoni 1932 yilda amerikalik olim Naykvist tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, u ochiq tizimning amplituda faza xarakteristikasi (AFX) bo'yicha berk tizimning turg'unligini tekshirish imkonini 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.

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:

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{\frac{P(p)}{Q(p)}}{1+\frac{P(p)}{Q(p)}} = \frac{P(p)}{Q(p)+P(p)},$$

$$A(p) = 1+W(p) = 1+\frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{Q(p)+P(p)}{Q(p)}. \quad (17.1)$$

Ochiq tizim turg'un bo'lsa, xarakteristik tenglamaning o'ng ildizlari soni $l = 0$ bo'ladi. Argumentlar prinsipiga asosan ochiq tizim xarakteristik tenglamasi argumentining o'zgarishi:

$$\Delta \arg Q(j\omega) = n \frac{\pi}{2}, \quad 0 < \omega < \infty$$

Endi berk tizim turg'un bo'lishini talab etamiz. Unda quyidagi tenglik bajarilishi lozim:

$$\Delta \arg [Q(j\omega) + P(j\omega)] = n \frac{\pi}{2}, \quad 0 < \omega < \infty \quad (17.2)$$

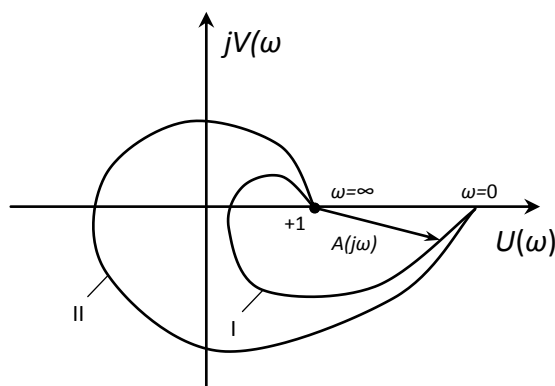
(17.1) ifodaga muvofiq berk tizimning xarakteristik tenglamasining argument o'zgarishi:

$$\Delta \arg A(j\omega) = \Delta \arg[Q(j\omega) + P(j\omega)] - \Delta \arg Q(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - n \frac{\pi}{2} = 0. \quad (17.3)$$

$0 < \omega < \infty$ $0 < \omega < \infty$ $0 < \omega < \infty$

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.

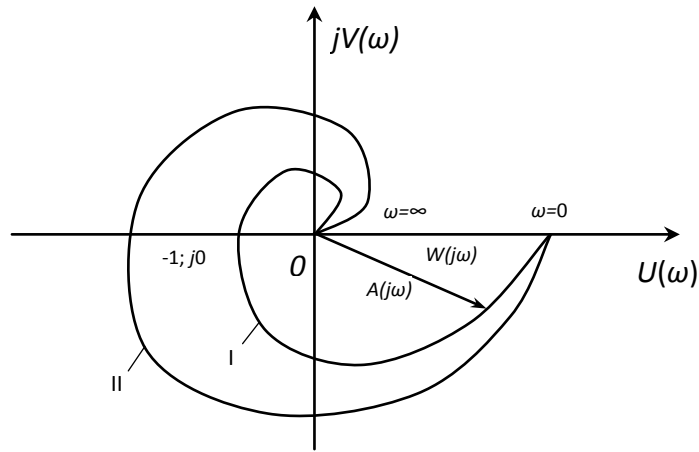
$A(j\omega) = 1 + W(j\omega)$ gadografining ko'rinishi 17.1-rasmda keltirilgan.



17.1-rasm. *I – berk tizim turg'un; II – berk tizim noturg'un.*

Berk tizimning AFX $A(j\omega) = 1 + W(j\omega)$ si ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ sidan «+1» ga farq qilagani uchun Naykvist mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Ochiq tizim turg'un bo'lganda, berk tizim turg'un bo'lishi uchun chastota ω noldan cheksizlikka o'zgarganda ochiq tizim amplituda faza xarakteristikasi $W(j\omega)$ $(-1; j0)$ nuqtani qamrab olmasligi kerak (17.2-rasm).



17.2-rasm. I – *berk tizim turg'un*; II – *berk tizim noturg'un*.

Ochiq tizim noturg'un bo'lsa, xarakteristik tenglama «l» o'ng ildizga ega, ya'ni $l \neq 0$, unda argumentlar prinsipiga muvofiq

$$\Delta \arg Q(j\omega) = (n - 2l) \frac{\pi}{2} \quad (17.4)$$

$0 < \omega < \infty$

bo'ladi.

Agar berk tizimning turg'un bo'lishi talab etilsa, unda quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\Delta \arg [Q(j\omega) + P(j\omega)] = n \frac{\pi}{2} \quad (17.5)$$

$0 < \omega < \infty$

U holda $A(j\omega) = 1 + W(j\omega)$ vektorining argument o'zgarishi

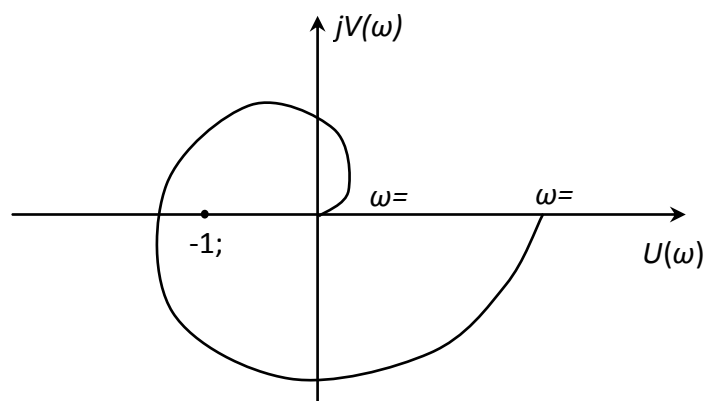
$$\Delta \arg A(j\omega) = \Delta \arg [Q(j\omega) + P(j\omega)] - \Delta \arg Q(j\omega) = n \frac{\pi}{2} - (n - 2l) \frac{\pi}{2} = l\pi \quad (17.6)$$

$0 < \omega < \infty$ $0 < \omega < \infty$ $0 < \omega < \infty$

bo'ladi. Ya'ni $A(j\omega)$ vektori 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:

Ochiq tizim noturg'un bo'lganda, berk tizim turg'un bo'lishi uchun chastota ω noldan cheksizlikka o'zgarganda ochiq tizim amplituda faza xarakteristikasi $W(j\omega)$ (-1;j0) nuqtani musbat yo'nalishda $l/2$ marta qamrab olishi yetarli va zarurdir, bu yerda l - ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni (17.3-rasm).

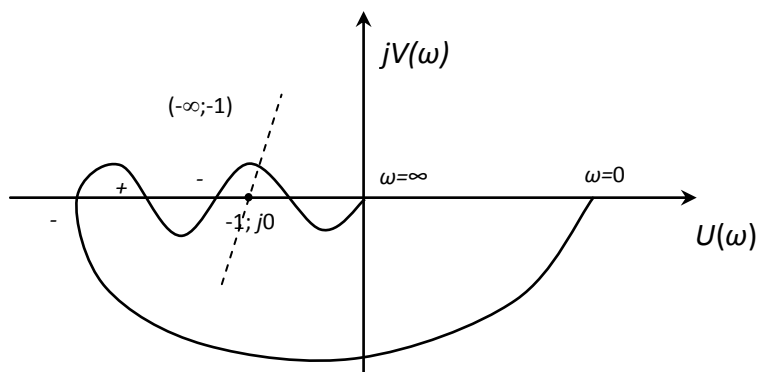


17.3-rasm.

$W(j\omega)$ 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 yuqoridan pastga kesib o'tsa musbat o'tish, pastdan yuqoriga kesib o'tsa manfiy o'tish deyiladi (17.4-rasm).



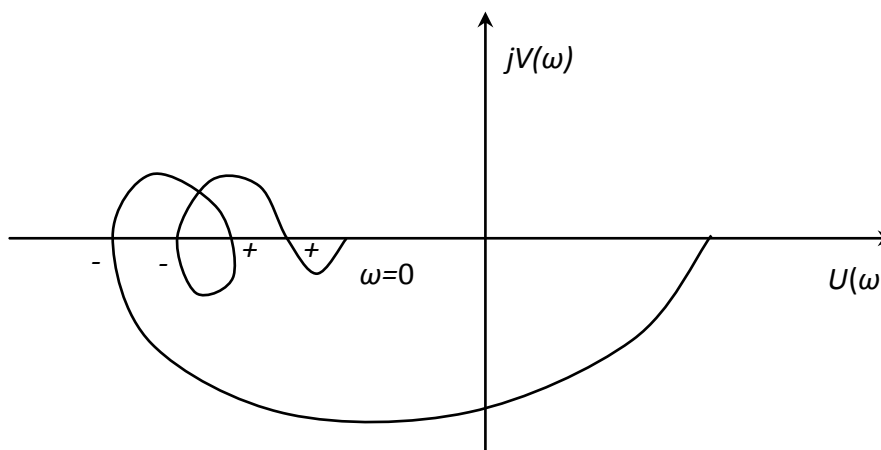
17.4-rasm.

Yuqorida aytilganlarni e'tiborga olgan holda Naykvist mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Ochiq tizim noturg'un bo'lganda, berk tizim turg'un bo'lishi uchun chastota ω noldan cheksizlikka o'zgarganda ochiq tizim amplituda faza xarakteristikasi $W(j\omega)$ haqiqiy o'qini $(-\infty; -1)$ kesmasida musbat va manfiy o'tishlar soni orasidagi farq $l/2$

ga teng bo'lishi yetarli va zarurdir, bu yerda 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 (17.5-rasm).



17.5-rasm.

Statik ochiq tizimning $W(j\omega)$ xarakteristiklari chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda berk kontur hosil qiladi.

Integrallovchi zvenosi bo'lgan, ya'ni astatik ochiq tizimlarning $W(j\omega)$ xarakteristiklari chastota $-\infty < \omega < \infty$ o'zgarganda berk kontur hosil qilmaydi.

2. Astatik tizim uchun Naykvist mezonini qo'llash.

Astatik tizimning AFX

$$W(j\omega) = \frac{P(j\omega)}{(j\omega)^\nu Q(j\omega)}, \quad (17.7)$$

ko'rinishga ega bo'ladi.

Bunday tizimlar uchun ochiq tizimning xarakteristik tenglamasi nol ildizga ega bo'lib, quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin.

$$Q(p) = p^\nu Q_1(p), \quad (17.8)$$

bu yerda, ν – astatizm darajasi, ya'ni tizimdagi ideal integral zvenolar soni; $Q_1(p)$ – nol ildizga ega bo'lmagan polinom.

Astatik tizimlarning chastotaviy uzatish funksiyasi (17.7) ifodaga ko'ra $\omega = 0$ bo'lganda ∞ bo'ladi, uning AFXsi esa uzulishlarga ega bo'ladi. Shuning uchun

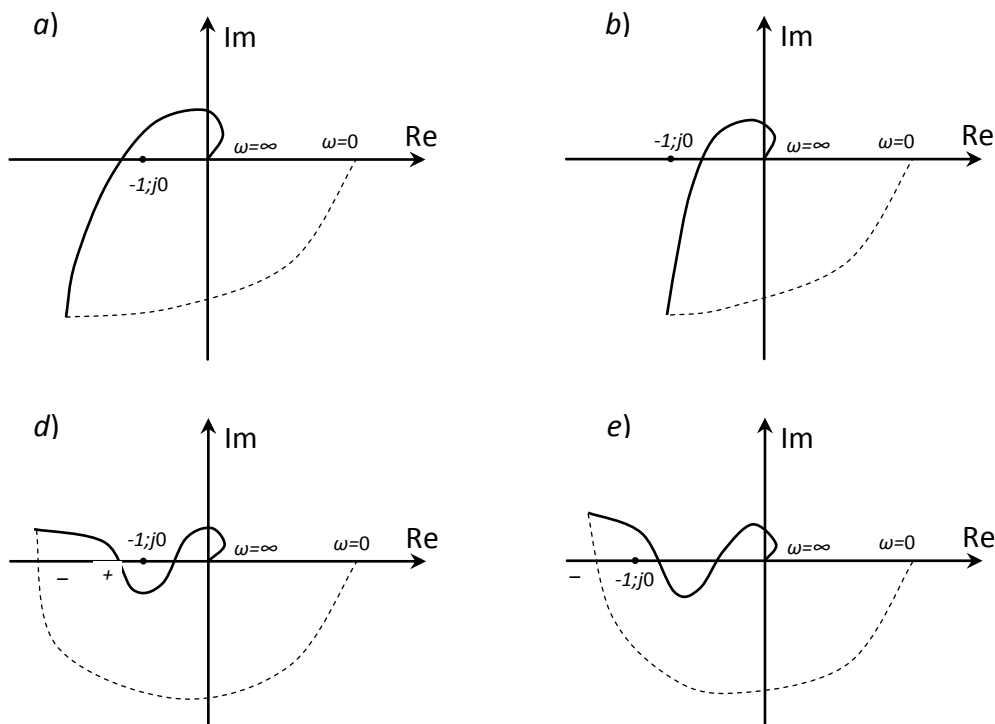
kritik $(-1; j0)$ nuqtani «kontur ichida» yoki «kontur tashqarisida» ekanligini aniqlash qiyinlashadi, ya'ni $W(j\omega)$ xarakteristikasi $(-1; j0)$ kritik nuqtani o'z ichiga olishi yoki olmasligini aytish mumkin bo'lmay qoladi. O'z navbatida berk tizimning turg'unlik masalalarini yechish qiyinlashadi.

Tizim tarkibidagi integrallovchi zvenolar chastota $0 < \omega < \infty$ o'zgarganda $-\nu \frac{\pi}{2}$ burchak o'zgarishini beradi. Bunda ν – ketma-ket ulangan 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:

Ochiq astatik tizim noturg'un bo'lganda, berk tizim turg'un bo'lishi uchun chastota ω noldan cheksizlikka o'zgarganda ochiq astatik tizim amplituda faza xarakteristikasi $W(j\omega)$ ni to'ldiruvchi cheksiz radiusli $\nu\pi/2$ aylananing yoyi $(-1; j0)$ nuqtani musbat yo'nalishda $l/2$ marta qamrab olishi yetarli va zarurdir, bu yerda l - ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlar soni.

17.6-rasmda ochiq tizim turg'un bo'lgan ($l=0$) holda berk tizimning turg'unligini aniqlashga misollar keltirilgan.



17.6-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.

17.6-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.

Nazorat va muhokama savollari

1. Turg‘unlikning algebraik mezonlariga qanday mezonlar kiradi?
2. Naykvist mezonining qanday imkoniyatlari mavjud?
3. Ochiq tizim turg‘un bo‘lgan holatda berk tizim turg‘un bo‘lishi uchun Naykvist mezoniga asosan qanday shart bajarilishi kerak?
4. Ochiq tizim noturg‘un bo‘lgan holatda berk tizim turg‘un bo‘lishi uchun Naykvist mezoniga asosan qanday shart bajarilishi kerak?

LOGARIFMIK CHASTOTAVIY XARAKTERISTIKA BO'YICHA TURG'UNLIKNING TAHLILI.

Reja:

1. Turg'unlikning logarifmik mezoni
2. Tizim parametrlari tekisligida turg'unlik doirasini qurish. D – bo'linish usuli
3. Kechikishli va irratsional zvenoli tizimlarning turg'unligi

1. Turg'unlikning logarifmik mezoni

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.

Tizimning turg'unligi ochiq tizim $W(j\omega)$ AFXsining $(-\infty; -1)$ kesmada manfiy haqiqiy 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 $\pm \pi(2i+1)$ chiziqlarning birini kesib o'tadi, bu yerda $i = 0, 1, 2, 3, \dots$. 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, shuningdek LChX ordinatalari manfiy $L(\omega) = 20 \lg|W(j\omega)| < 0$ bo'lsa, 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 kasb etmaydi.

$W(j\omega)$ xarakteristikaning $(-\infty; -1)$ kesma orqali musbat o'tishiga (yuqoridan pastga) LFChX ning $L(\omega) > 0$ bo'lagida $-\pi(2i+1)$ to'g'ri chiziqni pastdan yuqoriga (musbat o'tish) kesib o'tishi, $W(j\omega)$ xarakteristikaning $(-\infty; -1)$ kesma orqali manfiy o'tishiga (pastdan yuqoriga) esa LFChX ning manfiy o'tishi to'g'ri keladi.

Yuqorida aytilganlarni hisobga olib, turg'unlikning logarifmik mezonini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Naykvist turg'unlik mezonini logarifmik chastota xarakteristikalariga qo'llaganda quyidagicha ta'rif kelib chiqadi: *avtomatik boshqarish tizimi turg'un bo'lishi uchun*

logarifmik faza chastotaviy xarakteristikasining barcha sohasida to'g'ri chiziq $\pm(2i+1)$, $i=0,1,2,\dots$, dan o'tgan musbat va manfiy o'tishlar soni orasidagi farq $l/2$ (l – ochiq tizim xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlari soni) ga teng bo'lishi zarur va yetarlidir, bu yerda logarifmik amplituda chastotaviy xarakteristika musbat, ya'ni $L(\omega) > 0$.

3.17-rasmda ochiq tizim turg'un bo'lgan holda, berk tizim turg'un yoki noturg'un holatlariga to'g'ri keladigan logarifmik xarakteristikalariga misollar keltirilgan.

Berk tizimning turg'unligini tekshirish ochiq tizim LACHX sining musbat ordinatasi bo'lagida tekshirilgan, rasmda u shtrixlangan chiziq bilan ko'rsatilgan. Logarifmik xarakteristikalar bilan birga ularga mos tushadigan ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ xarakteristikolari ham keltirilgan.

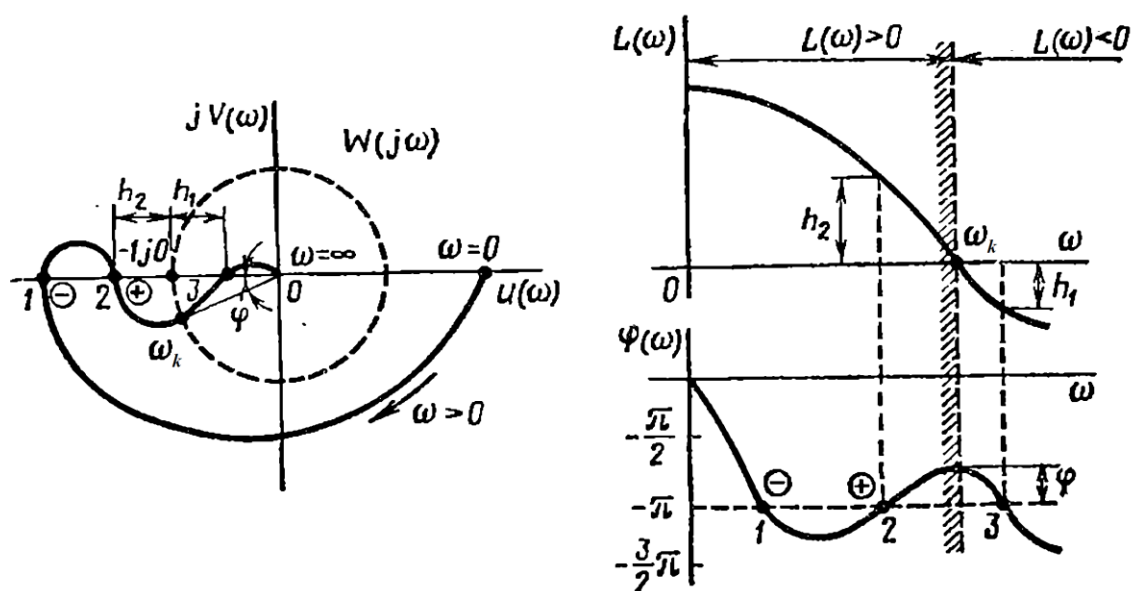
$W(j\omega)$ xarakteristikasining radiusi birga teng bo'lgan aylana bilan kesishiga LACHX ning absissa o'qi bilan kesishi to'g'ri keladi va bu chastotani kesish chastotasi deyiladi va ω_k bilan belgilanadi.

$W(j\omega)$ 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_y o'tish chastotasi deyiladi.

Agar ochiq tizim turg'un ($l=2$) bo'lsa, unda berk tizim turg'un bo'lishi uchun $\omega_k < \omega_o$ sharti bajarilishi kerak. Aks holda berk tizim noturg'un bo'ladi.

18.1-rasmda misol sifatida ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ si va unga mos keluvchi LACHX va LFChX lari keltirilgan. Bu LACHX va LFChX larini tahlilidan ko'rinadi-ki, LFChXni $L(\omega) > 0$ bo'lganda $-\pi$ to'g'ri chiziqdan o'tgan musbat va manfiy o'tishlar soni orasidagi farq nolga teng. Shunday qilib, agar ochiq tizim turg'un bo'lsa ($l=0$), u holda berk tizim turg'un bo'ladi, bunda amplituda bo'yicha turg'unlik zahirasi h_1 va h_2 ga, faza bo'yicha turg'unlik zahirasi esa φ ga teng.

Odatda shunday tizimlar uchraydi-ki (ichki teskari aloqali), ularda turg'unlikning yo'qolishi nafaqat kuchaytirish koeffitsiyentini ortishi natijasida, balkim ularning kamayishi natijasida ham hosil bo'ladi. Ushbu holatda amplituda bo'yicha turg'unlik zahirasi kritik nuqta $(-1; j0)$ va AFX orasidagi absissa o'qining ikkita kesmasi h kattaliklari bo'yicha aniqlanadi.



18.1-rasm. *Ochiq tizimning AFX $W(j\omega)$ si va unga mos keluvchi LACHX va LFChX lari.*

2. 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 sohaslarini qurish, ya'ni tizim turg'un bo'lishi uchun parametr qiymatlarini shunday sohasini aniqlash zarur bo'ladi.

- 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 parametрни 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

$$A(j\omega) = P(j\omega) + kQ(j\omega) = 0$$

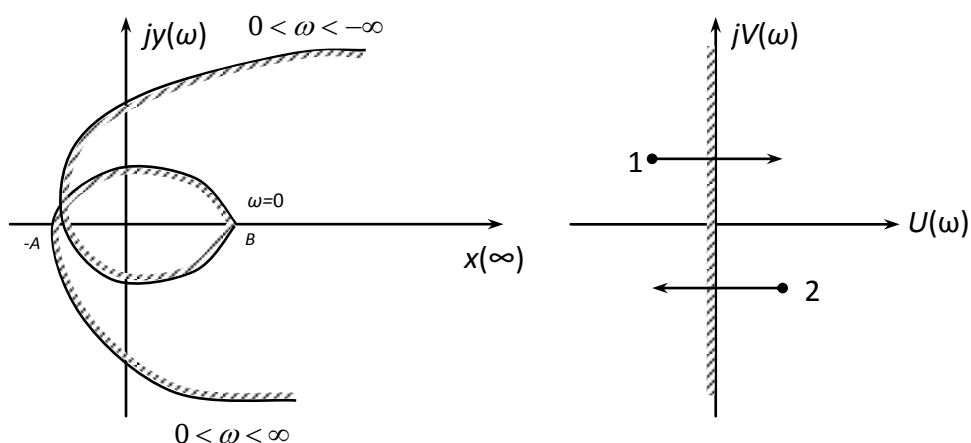
ko‘rinishga keltirish mumkin.

$$\text{Bundan } k = -\frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)} = x(\omega) + jy(\omega),$$

$x(\omega)$ – 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 (18.2-rasm).



18.2-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. Kechikishli va irratsional zvenoli tizimlarning turg'unligi

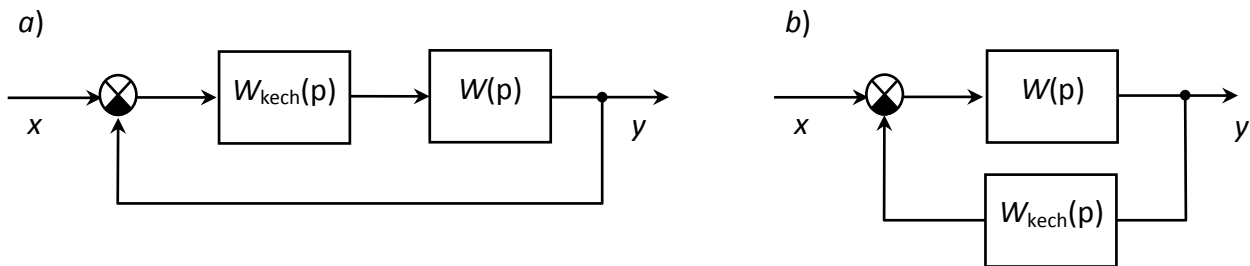
Avtomatik boshqarish tizimlari kirish kattaligi $x(t)$ va chiqish kattaligi $y(t)$ larining o'rtasidagi bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan zvenolardan tuzilishi mumkin:

$$y(t) = x(t - \tau), \quad (18.1)$$

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

$$W_{kech}(p) = e^{-p\tau}. \quad (18.2)$$



18.3-rasm.

Sof kechikish zvenolarni ko'pincha materiallar bir nuqtadan boshqasiga tasmali transporterlar orqali ko'chiriluvchi 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, 18.3,a-rasmdagidek keltiriladi, agar kechikuvchi zveno teskari zanjirda bo'lsa, 18.3,b-rasmdagidek keltiriladi.

Kechikishli ochiq tizim uzatish funksiyasi quyidagiga teng:

$$W_{\tau}(p) = W_{kech}(p)W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)} e^{-p\tau}, \quad (18.3)$$

bu yerda $W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)}$ – kechikish 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:

$$W_{gx}(p) = \frac{W_{\tau}(p)}{1 + W_{\tau}(p)} = \frac{R(p)e^{-p\tau}}{Q(p) + R(p)e^{-p\tau}} = \frac{R_{\tau}(p)}{D_{\tau}(p)}. \quad (18.4)$$

Agar ushbu kechikuvchi zveno teskari aloqa zanjirida bo‘lsa, unda yopiq tizimning uzatish funksiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$W_{gx}(p) = \frac{W(p)}{1 + W_{\tau}(p)} = \frac{R(p)}{Q(p) + R(p)e^{-p\tau}} = \frac{R(p)}{D_{\tau}(p)}. \quad (18.5)$$

(18.4) va (18.5) lardan ko‘rinib turibdiki, kechikuvchi zvenoning ulanish joyiga bog‘liq bo‘lmagan holda kechikishli tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$D_{\tau}(p) = Q(p) + R(p)e^{-p\tau} = 0. \quad (18.6)$$

Bu xarakteristik tenglama tarkibida $e^{-p\tau}$ borligi uchun u polinom hisoblanmaydi, p operatorning transsendent funksiyasi va odatdagi algebraik tenglamalardan farq qilgan holda cheksiz ildizlar ko‘phadiga ega bo‘ladi.

Doimiy kechikishli chiziqli tizim turg‘un bo‘lishi uchun (18.6) tenglamaning barcha ildizlari chap ildizlar bo‘lishi zaruriy va yetarlidir. (18.6) 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 $W_{\tau}(j\omega)$ 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 $W_{\tau}(j\omega)$ ni (18.4) tenglamadan $p \rightarrow j\omega$ bilan almashtirib hosil qilinadi:

$$W_{\tau}(j\omega) = W(j\omega)e^{-j\omega\tau} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}e^{-j\omega\tau} = A(\omega)e^{j\varphi_{\tau}(\omega)}, \quad (18.7)$$

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; $\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$ – FChX;

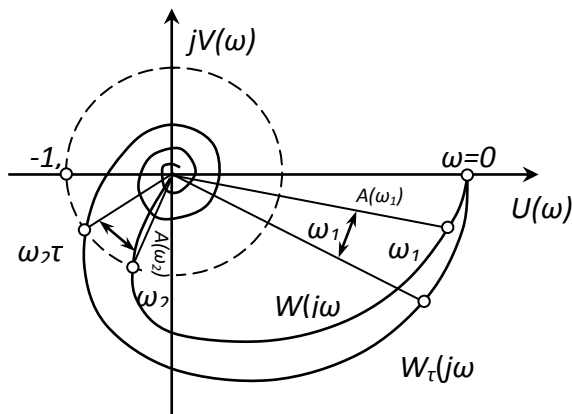
$$\varphi_{\tau}(\omega) = \varphi(\omega) - \omega\tau \quad (18.8)$$

kechikishli ochiq tizimning FChX si.

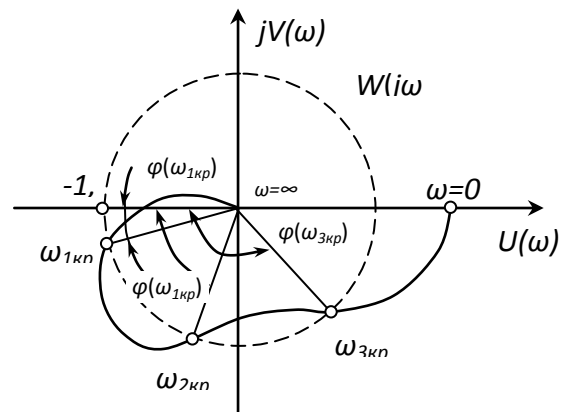
(18.7) va (18.8) lardan ko‘rinib turibdiki, kechikuvchi zvenoning mavjudligi ochiq tizimning AFX si moduli $A(\omega)$ ni o‘zgartirmaydi, faqatgina chastotaga proporsional ravishda manfiy $\omega\tau$ fazoviy siljish hosil qiladi, bunda kechikish vaqti τ proporsional koeffitsiyenti bo‘lib xizmat qiladi.

Kechikishi bo‘lmagan ochiq tizimning AFX si $W(j\omega)$ ni bilgan holda kechikishli berk tizimning AFX si $W_{\tau}(j\omega)$ ni oson qurish mumkin. Buning uchun $W(j\omega)$ AFX ning har bir modul vektori $A(\omega_i)$ ni soat strelkasi yo‘nalishi bo‘yicha $\omega_i\tau$ burchakka burish kerak. ω chastotani oshishi bilan $\omega\tau$ burchak tez oshib boradi, $A(\omega)$ moduli esa odatda kamayadi, shuning uchun ham kechikishli ochiq tizimlarning AFX si $W_{\tau}(j\omega)$ koordinata boshini o‘rab oluvchi spiral ko‘rinishiga ega bo‘ladi (18.4-rasm). AFXni “o‘rab olish” da qo‘shimcha $\omega\tau$ fazaviy siljishning borligi, umuman aytganda, turg‘unlikni yomonlashtiradi, xuddi shunday AFX kritik nuqta $(-1; j0)$ ga yaqinlashib keladi. Biroq ba’zida murakkab formadagi $W(j\omega)$ AFX ga doimiy kechikishni 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 $W_{\tau}(j\omega)$ xarakteristika $(-1; j0)$ nuqta orqali o‘tadi.



18.4-rasm.



18.5-rasm.

Kechikish vaqti τ_{kr} va unga mos keluvchi $W_{\tau}(j\omega)$ ni $(-1; j0)$ nuqta orqali o‘tuvchi chastotasi ω_{kr} qiymati kritik deb ataladi.

Agar $W(j\omega)$ gadografning birlik radiusli aylana bilan bir nechta nuqtalarda kesishishga ega bo'lsa, masalan, ω_{1kr} , ω_{2kr} va ω_{3kr} (18.5-rasm) larda, unda tizim bir qancha kritik chegaraviy kechikish vaqtlariga ega bo'ladi:

$$\tau_{1kr} = \varphi(\omega_{1kr})/\omega_{1kr}; \tau_{2kr} = \varphi(\omega_{2kr})/\omega_{2kr}; \tau_{3kr} = \varphi(\omega_{3kr})/\omega_{3kr},$$

chunki minimal kechikish vaqti $\tau_{kr \min} = \tau_{1kr}$. Tizim $\tau < \tau_{1kr}$ da, shuningdek, $\tau_{2kr} < \tau < \tau_{3kr}$ da turg'un bo'ladi. Tizim $\tau_{1kr} < \tau < \tau_{2kr}$ da, shuningdek, $\tau > \tau_{3kr}$ larda noturg'un bo'ladi.

Ushbu holatni kuzatib, tizimning turg'unlik va noturg'unlik uchastkalarini τ ning uzluksiz (shuningdek, tizimning boshqa parametrlarida ham) almashish holati doimiy kechikishli ko'pgina tizimlarning xarakterli xususiyati hisoblanadi. Odatda, tizimni tezkorligi va aniqligini oshirish maqsadida kechikish vaqti τ ni kamaytirishga harakat qilinadi, shuning uchun ham turg'unlik mezonlari faqatgina minimal kechikish vaqtlari uchun ifodalanadi.

Agar kechikish vaqti τ minimal kritik kechikish vaqti $\tau_{kr \min}$ dan kichik bo'lsa, avtomatik boshqaruv tizimi turg'un bo'ladi:

$$\tau < \tau_{kr \min}.$$

Nazorat va muhokama savollari

1. ABTning turg'unligi deganda nimani tushunasiz?
2. Chiziqli ABTning turg'unligini yetarli va zaruriy shartlarini tushuntiring.
3. Turg'unlik mezonlari deb nimaga aytiladi?
4. Ya.Z.Sipkin taklif etgan «o'tish qoidasi»ni tushuntirib bering.
5. Astatik tizim uchun Naykvist mezonni qanday qo'llaniladi?
6. Turg'unlikning logarifmik mezonini tushuntirib bering.
7. D-bo'linishi deb nimaga aytiladi?
8. Kechikuvchi tizimlar deb nimaga aytiladi? Kechikishli va irratsional zvenoli tizimlarning turg'unligi to'g'risida tushuncha bering.

BARQAROR REJIMLARDA ROSTLASH SIFATINI BAHOLASH.

Reja:

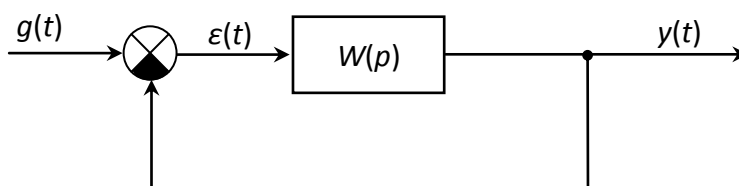
1. Umumiy tushunchalar
2. Barqaror rejimlarda rostlash sifatini baholash (xatolik koefitsientlari)

1. Umumiy tushunchalar

Avtomatik rostlash tizimlarini tadqiq etishda o'tish jarayonini talab etilgan sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash: o'tkinchi jarayon tezkorligi, tebranuvchanlik, o'tarostlash, jarayon kechishini tavsiflovchi aniqligi va ravonligi muammosini hal qilish kerak. Avtomatik rostlash tizimi oldingi boblarda ko'rganimizdek, barqaror koefitsientlarga ega chiziqli differensial tenglamalar tizimi bilan tavsiflanadi. Tizimning kirishida $g(t)$ ning ta'siri o'zgarganda $y(t)$ ning chiqish qiymati quyidagicha yozilishi mumkin (4.1-rasm):

$$y(t) = y_e(t) + y_m(t), \quad (19.1)$$

bu yerda $y(t)$ – tizimni tavsiflovchi differensial tenglamaning yechimi; $y_e(t)$ – bir xil differensial tenglamaning mos umumiy yechimi bo'lib, o'tkinchi jarayonning erkin tashkil etuvchisi.



19.1-rasm.

Agar $y_e(t)$ karrali ildizga ega bo'lmasa, u holda quyidagicha bo'ladi:

$$y_e(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}, \quad (19.2)$$

bu yerda, C_i – doimiy integrirlashgan qiymat, uning qiymati tizim parametrlari va dastlabki shartlar bilan belgilanadi; p_i – berk tizim xarakteristik tenglamasi

$D(p)=0$ ning ildizlari. $y_m(t)$ – o‘zgarish qonuni $g(t)$ ga bog‘liq holda, o‘tkinchi jarayonning majburiy tashkil etuvchisi.

(4.1) tenglamadan ko‘rinib turibdiki, o‘tkinchi jarayonning sifatini uning $y_e(t)$ va $y_m(t)$ tashkil etuvchilari yordamida aniqlash mumkin ekan. Shu nuqtayi nazardan qaraganda rostdlash jarayonining sifatini aniqlash yoki baholash ikki guruhga bo‘linadi: birinchisi – o‘tkinchi jarayonning $y_e(t)$ ifodalovchi sifat ko‘rsatkichi; ikkinchisi – tizimning aniqligini belgilovchi, o‘tkinchi jarayonning majburiy tashkil etuvchisini $y_m(t)$ tavsiflovchi sifat ko‘rsatkichlari.

O‘tkinchi jarayon egri chizig‘i bo‘yicha bevosita aniqlanadigan sifat ko‘rsatkichlarini sifatini baholashni *bevosita 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.

2. Barqaror rejimda rostdlash sifatini baholash

Tizimni majburiy tashkil etuvchisining xatoligi $\varepsilon_m(t)$ ni tavsiflovchi sifat ko‘rsatkichini ko‘rib chiqamiz. Agat tizimning kirishiga $g(t)$ signal ta’sir qilsa, u holda rostdlash tiziminig barqaror xatoligi $\varepsilon_m(t) = g(t) - y_m(t)$, bu yerda $y_m(t)$ – rostlanuvchi kattalikning majburiy tashkil etuvchisi (4.1).

Agar $g(t)$ $0 \leq t \leq \infty$ ning barcha oralig‘ida differensiallanuvchi bo‘lsa, u holda tizim xatoligi $\varepsilon_m(t)$ ni quyidagi qator ko‘rinishida tasvirlash mumkin:

$$\varepsilon_m(t) = C_0 g(t) + C_1 dg(t)/dt + \frac{1}{2!} C_2 d^2 g(t)/dt^2 + \dots + \frac{1}{m!} C_m d^m g(t)/dt^m, \quad (19.3)$$

bu yerda $C_0, C_1, C_2, \dots$ koefitsiyentlar xatolik koefitsiyentlari deb qabul qilingan.

Nisbiy xatolik bo‘yicha berk tizimning uzatish funksiyasi (19.1-rasm)

$$W_{g\varepsilon}(p) = 1/(1 + W(p)) = E_m(p)/G(p). \quad (19.4)$$

(4.4) ifodadan xatolikni tasvirlash uchun quyidagi tenglamani topish mumkin:

$$E_m(p) = G(p)/(1 + W(p)). \quad (19.5)$$

Xatolik bo‘yicha uzatish funksiyasi $W_{g\varepsilon}(p)$ ni $\varepsilon = 0$ nuqta atrofida p ni darajasi o‘sish tartibida (vaqtning $(t \rightarrow \infty)$ katta qiymatlariga mos) qatorga yoyamiz, ya’ni, berilgan boshqarish ta’sirida o‘rnatilgan xatolik qiymatlari.

(19.5) ga mos ravishda quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$E_m(p) = \left[C_0 + C_1 p + \frac{1}{2!} C_2 p^2 + \frac{1}{3!} C_3 p^3 + \dots + \frac{1}{m!} C_m p^m \right] G(p). \quad (19.6)$$

Agar uzatish funksiyasi $W_{g\varepsilon}(p)$ ratsional kasrli funksiya bo'lsa

$$W_{g\varepsilon}(p) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n},$$

u holda $W_{g\varepsilon}(p)$ ni, darajasi oshish tartibida ko'phad hadlarini joylashtirib, suratini maxrajiga bo'lish ko'rinishidagi qatorga yoyamiz. (19.6) dagi tasvirdan originalga o'tib, $\varepsilon_m(t)$ uchun (19.3) ifodani olish mumkin.

$C_0, C_1, C_2, \dots$ xatolik koefitsiyentlarini $W_{g\varepsilon}(p)$ funksiyani Teylor qatoriga yoyish formulasi bo'yicha aniqlanadi.

$$\begin{aligned} C_0 &= [W_{g\varepsilon}(p)]_{p=0}; \quad C_1 = \left[\frac{\partial W_{g\varepsilon}(p)}{\partial p} \right]_{p=0}; \\ C_2 &= \left[\frac{\partial^2 W_{g\varepsilon}(p)}{\partial p^2} \right]_{p=0}; \quad \dots; \quad C_m = \left[\frac{\partial^m W_{g\varepsilon}(p)}{\partial p^m} \right]_{p=0}. \end{aligned} \quad (19.7)$$

Agar $g(t) = 1(t)$ bo'lsa, u holda barcha hosilalar $dg(t)/dt = d^2g(t)/dt^2 = \dots = d^m g(t)/dt^m = 0$, unda

$$C_0 = W_{ge}(0), \quad C_1 \frac{dg(t)}{dt} = \frac{C_2}{2!} \frac{d^2g(t)}{dt^2} = \dots = \frac{C_m}{m!} \frac{d^m g(t)}{dt^m} = 0.$$

Ushbu holatda $C_0 = W_{ge}(0)$ berk tizimda o'rnatilgan xatolik qiymati.

Agar $g(t) = t$ bo'lsa, u holda $dg(t)/dt = 1, d^2g(t)/dt^2 = \dots, \dots = d^m g(t)/dt^m = 0$ koefitsiyenlar esa

$$C_0 = W_{ge}(0), \quad C_1 \left[\frac{\partial W_{g\varepsilon}(p)}{\partial p} \right]_{p=0}, \quad C_2 \frac{d^2g(t)}{dt^2} = \dots = C_m \frac{d^m g(t)}{dt^m} = 0,$$

va hakoza.

C_0 koefitsiyenti statik yoki pozitsion xatolik koefitsiyenti, C_1 – tezlik bo'yicha xatolik koefitsiyenti, C_2 – tezlanish bo'yicha xatolik koefitsiyenti deyiladi.

Statik tizimlarda C_0 koefitsiyenti noldan farqli. Birinchi tartibli astatizmli tizimlarda $C_0 = 0; C_1 \neq 0$. Ikkinchi tartibli astatizmli tizimlarda $C_0 = 0; C_1 = 0; C_2 \neq 0$. Integral zvenolarning soni oshishi, tizimni astatizm darajasini oshi-shiga olib keladi, ya'ni xatolik koefitsiyentlarining nolli qiymati tizimning turg'unlik ta'minotini qiyinlashtiradi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Avtomatik boshqarish tizimlarining sifat ko'rsatkichlarini bevosita baholash usulini tushuntirib bering.
2. Sifat ko'rsatkichlarini baholashning bilvosita usuli, deb nimaga aytiladi?
3. Barqaror rejimda rostlash sifatini baholashda xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi qanday aniqlanadi?

XATOLIK KOEFFITSIENTLARI USULI.

Reja:

1. Umumiy tushunchalar
2. Xatolik Koeffitsientlari usuli.

1. Umumiy tushunchalar

Obyektning g'alayonlanish paydo bo'lganidan so'ng odam yoki avtomat rostlagich yordamisiz yana muvozanat holatiga qaytish xususiyati *o'z-o'zidan to'g'rilanish* deyiladi. o'z-o'zidan to'g'rilanishning sonli qiymati o'z-o'zidan to'g'rilanish darajasi (koeffitsiyenti) va tarqalish tezligi orqali baholanadi.

O'z-o'zidan to'g'rilanish darajasi ρ g'alayonlovchi ta'sirning shu ta'sir natijasida sodir bo'ladigan rostlanuvchi kattalikning chetga chiqishiga bo'lgan nisbatiga teng:

$$\rho = \frac{d(g_1 - g_2)}{d\Delta\alpha} = \frac{d\Delta g}{d\Delta\alpha};$$

bu yerda, g_1 -obyektdagi modda yoki energiyaning nisbiy qo'shilishi; g_2 -obyektdagi modda yoki energiyaning nisbiy ayirmasi sarfi; $g\Delta$ - rostlanuvchi obyektdagi ko'rilyotgan vaqt mobaynida yoki energiyaning qo'shilishi va sarfining nisbiy ayirmasi; $\Delta\alpha$ – rostlanuvchi obyektning nisbiy chetga chiqishi; ρ – o'z-o'zidan to'g'rilanish darajasi o'lchovsiz kattalik.

2. Xatolik koeffitsientlari usuli.

Chiziqli obyektlar uchun $\rho = const$ o'z-o'zidan to'g'rilanish koeffitsiyenti kirish signalining ko'rilyotgan o'tish kanali bo'yicha obyektning kuchayish koeffitsiyentiga teskari kattalikdir. Shuning uchun, ρ qancha katta bo'lsa, rostlanuvchi obyektning bir qiymatli g'alayonlovchi ta'sir kuchidagi qoldiqli chetga chiqishi shuncha kichik bo'ladi.

O'z-o'zidan to'g'rilanish qobiliyatiga ega bo'lmagan ($\rho = 0$) obyektlar neytral yoki astatik deyiladi. G'alayonlovchi ta'sir bo'lmasa, bunday obyektlar rostlanuvchi kattalikning istalgan qiymatida muvozanat holatda bo'ladi. Agar muvozanat holati buzilsa, rostlanuvchi kattalikning o'zgarish tezligi g'alayonlanish kattaligiga to'g'ri mutanosib bo'ladi. o'z-o'zidan to'g'rilanish rostlanuvchi obyektning kirishida ham,

chiqishida ham mavjud bo'lishi mumkin. Nollik qiymatidan tashqari, u musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin.

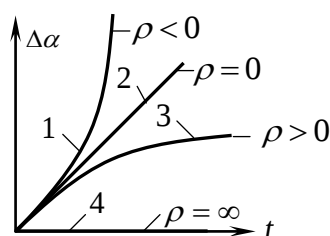
o'z-o'zidan to'g'rilanishi ma'lum ($\rho < 0$) qiymatga ega bo'lgan obyektlar modda yoki energiyaning berilishi va iste'moli o'rtasidagi tenglikni tiklash qobiliyatiga ega. Bunday obyektlar *turg'un* yoki *statik* deyiladi.

Agar o'z-o'zidan to'g'rilanish darajasi $\rho = \infty$ bo'lsa, obyekt *ideal* o'z-o'zidan to'g'rilanishiga ega bo'ladi. Bu demak, obyekt o'zining muvozanat holati va rostlanuvchi kattaligining o'zgarish qiymatini har qanday g'alayonlovchi ta'sirlar qiymatida ham saqlab qoladi.

o'z-o'zidan to'g'rilanish ($\rho < 0$) bo'lmagan obyektlarning statsionar rejimi muvozanat holati bo'zilganda qayta tiklanmaydi. Bunday obyektlar *noturg'un* deyiladi.

Ichki energiya manbaiga ega bo'lmagan sodda obyektlar, odatda, *turg'un* bo'ladi. Bunday manbalari bo'lgan fizik tizimlar (masalan, tizimda o'tayotgan jarayon ekzotermik reaksiya bilan birgalikda ketishi mumkin) *noturg'un* bo'lishi mumkin. Bu kabi obyektlarni rostlash qiyinlashadi, ayrim hollarda esa ular avtomatlashtirish imkonini umuman bo'lmaydi.

20.1-rasmda statik, astatik, *noturg'un* obyektlar va ideal o'z-o'zidan obyektlarning tarqalish egri chiziqlari keltirilgan. Shuni ham aytish kerakki, o'z-o'zidan to'g'rilanishli obyektlar uchun avtomat rostlagichning-hojati yo'q. Lekin, ideal o'z-o'zidan to'g'rilanish anish qobiliyatiga ega bo'lgan asosiy kattalikni obyektدا texnologik jarayonni rostlash uchun rostlanuvchi kattalik sifatida rostlash talablariga to'g'ri keladigan yordamchi kattalikni tanlash kerak. Masalan bir komponentli suyuqlikning doimiy bosimda qaynash jarayonini rostlash kerak.



20.1-rasm. Rostlash obyektlarining yugurish egri chiziqlari.

1-noturg'un obyekt; 2 - neytral obyekt; 3 - *turg'un* obyekt; 4 - ideal, o'z-o'zidan to'g'rilanadigan obyekt $\Delta\alpha$ - rostlanuvchi kattalikning nisbiy chetga chiqishi.

Apparatning moddani qaynatish uchun yetarli bo'lgan issiqligi har qanday qiymatda bo'lsa ham, suyuqlikning qaynash temperaturasi doimiy bo'lgani uchun asosiy kattalik hisoblangan qaynash temperaturasining rostlagichidan foydalanmaslikka to'g'ri keladi. Bir komponentli suyuqlikning qaynash intensivligini boshqarish uchun yordamchi rostlanuvchi kattalik sifatida (agar apparatning gidravlik qarshiligidan o'tadigan bug' tezligining o'zgarishi natijasida bosim deyarli o'zgarsa)

bug‘lanuvchi suyuqlikning bug‘ bosimi (agar suyuqlik bug‘lanish tezligining doimiy kerak bo‘lsa), issiqlik tashuvchining apparatga uzatish temperaturasi tezligi yoki (o‘zgaruvchi yukli bug‘lalatgichning ishini ta‘minlash kerak bo‘lsa) issiqlik tashuvchining uzatish tezligi va qayta ishlanayotgan suyuqlik o‘rtasidagi munosabatlari tanlanadi.

Turli obyektlar uchun o‘z-o‘zidan to‘g‘rilanish jarayonining o‘tish vaqti turlicha bo‘ladi. Bu vaqt rostlanuvchi kattalikning o‘zgarish tezligining g‘alayonlovchi ta‘siri qiymatiga bo‘lgan nisbatidan iborat tarqalish tezligi orqali ta‘riflanadi. Tarqalish tezligini ba‘zan rostlanuvchi obyektning sezgirligi deyiladi. Bu ko‘rsatkichlarning fizik ma‘nosi shundaki, u tarqalish vaqtiga teskari qiymatli kattalikdir. *Tarqalish vaqti* deb, chiqish kattaligining modda yoki energiyaning kirishi va chiqishi o‘rtasidagi maksimal nobalanslik holatidagi noldan o‘zining nominal qiymatiga yetguncha o‘zgarish vaqtiga aytiladi. Nazariy jihatdan cheksizlikka teng tarqalish tezligi kirish parametrining o‘zgarish vaqtidagi chiqish parametrining o‘zgarishi bir onda sodir bo‘lishini bildiradi.

Muxandislik amaliyotida ABS larning turg‘unligini tahlil etishda ochiq sistemaning logarifmik chastotaviy xarakteristikasi (LCHX) dan keng foydalaniladi. Chunki ochiq sistemaning asimptotik LACHXsini qurish AFXni qurishdan ancha oson va qulaydir.

Sistemaning turg‘unligi ochiq sistema $W(j\omega)$ AFXsining $[-\infty; -1]$ kesmada manfiy haqiqiy yarim o‘qni kesib o‘tishlar soni bilan bog‘liqdir. SHuning uchun ochiq sistemaning AFXsi $W(j\omega)$ bilan LCHXsi orasidagi bog‘liqlikni aniqlab olamiz.

Ochiq sistemaning AFXsi $W(j\omega)$ manfiy haqiqiy o‘qni kesib o‘tganda, LFCHX $-\pi(2l+1)$ chiziqlarning birini kesib o‘tadi. $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ sistemaning turg‘unligi nuqtai 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 LACHX ordinatalari manfiy $L(\omega) = 20\lg|W(j\omega)| < 0$ bo‘lganda sodir etilsa, unda bu o‘tishlar sistemaning turg‘unligiga hech qanday xavf tug‘dirmaydi.

Shu sababli $L(\omega) = 20\lg|W(j\omega)| < 0$ bo‘lagi sistemaning turg‘unligini tekshirilayotganda unchalik ahamiyat kasb 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.

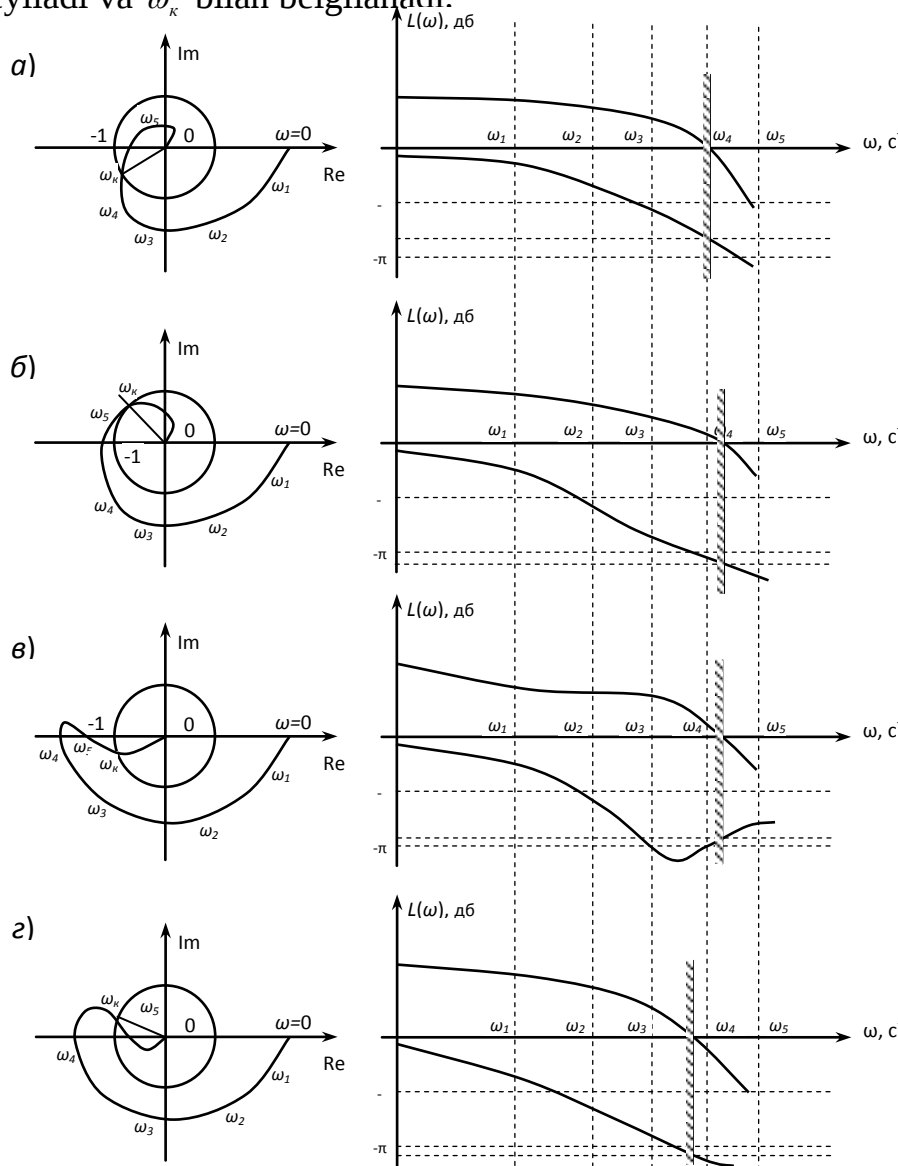
YUqorida aytilganlarni hisobga olib, turg‘unlikning logarifmik mezonini qo‘yidagicha ta‘riflash mumkin:

Agar ochiq sistemaning 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 sistema turg'un bo'ladi. Bunda l – ochiq sistema xarakteristik tenglamasining o'ng ildizlari soni.

20.2-rasmda ochiq sistema turg'un bo'lgan holda, berk sistema turg'un yoki noturg'un holatlariga to'g'ri keladigan logarifmik xarakteristikalaridan misollar keltirilgan.

Berk sistemaning turg'unligini tekshirish LACHX ning musbat ordinatasiga to'g'ri kelgan bo'lagida tekshirilgan, rasmda u shrixlangan chiziq bilan ko'rsatilgan. Logarifmik xarakteristikalar bilan birga ularga mos tushadigan ochiq sistemaning AFX $W(j\omega)$ xarakteristikalar 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_k bilan belgilanadi.



20.2-rasm.

$W(j\omega)$ 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_y o'tish chastotasi deyiladi.

Agar ochiq sistema turg'un ($l=2$) bo'lsa, unda berk sistema turg'un bo'lishi uchun $\omega_\kappa < \omega_y$ sharti bajarilishi kerak. Aks holda berk sistema noturg'un bo'ladi.

$1a, \nu$ – rasmlarda keltirilgan xarakteristikalar berk sistemaning turg'un holatiga to'g'ri keladi, $1a, \nu$ – rasmlarda keltirilgan xarakteristikalar esa berk sistemaning noturg'un holatiga to'g'ri keladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Barqaror rejimda rostlash sifatini baholashda xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi qanday aniqlanadi?
2. Xatolik bo'yicha uzatish funksiyasi asosida xatolik koeffitsiyentlari qaysi formula orqali hisoblanadi?
3. Qanday ta'sirlada xatolik koeffitsiyentlari usulini qo'llash maqsadga muvofiq?
4. O'tkinchi xarakteristika bo'yicha tizimning qanday sifat ko'rsatkichlarini aniqlash mumkin?

**POG'ONALI SIGNALLAR TA'SIRI ORQALI O'TISH JARAYONI SIFATINI
BAHOLASH.**

Reja:

1. Umumiy tushunchalar
2. Pog'anali signal ta'siri orqali o'tish jarayonning sifat ko'rsatkichlari

1. Umumiy tushunchalar

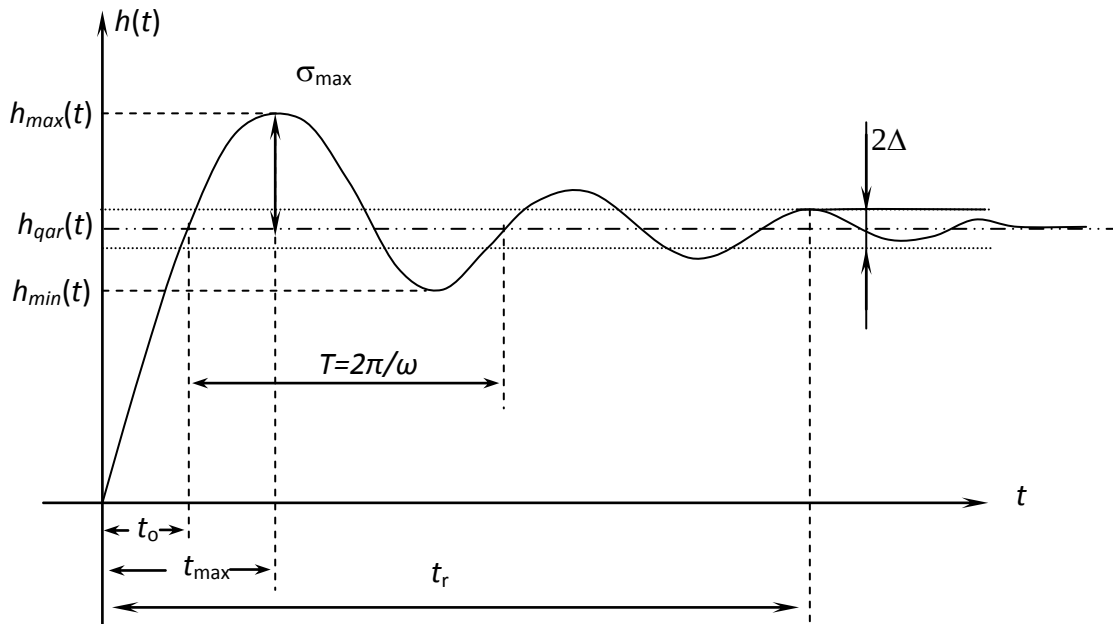
Tizimda o'tkinchi jarayon nafaqat ABT ning xossasiga, balkim umumiy holda murakkab vaqt funksiyasi bo'lgan tashqi ta'sirlarning tavsifiga ham bog'liqdir. Tizim xarakterini quyidagi tipik ta'sirlar orqali o'rganiladi: birlik pog'anali funksiya $1(t)$, impulsli $\delta(t)$ va garmonik funksiyalar.

**2. Pog'anali signal ta'siri orqali o'tish jarayonning
sifat ko'rsatkichlari**

Sifatni bevosita baholash o'tkinchi xarakteristika $h(t)$ egri chizig'i bo'yicha olinadi, ya'ni boshlang'ich shartlar nolga teng bo'lganda birlik pog'anali funksiya orqali

$$g(t) = 1(t) = \begin{cases} 1, & \text{agar } t > 0, \\ 0, & \text{agar } t \leq 0. \end{cases}$$

Bu xarakteristikalarini chiqish kattaliklari yoki og'ish $\varepsilon_e(t)$ uchun qurish mumkin (21.1-rasm). Tizimning o'tkinchi xarakteristikasi bo'yicha quyidagi sifat ko'rsatkichlarini aniqlash mumkin:



21.1-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

$$|h(t) - h_{qar}(t)| \leq \Delta,$$

bu yerda, Δ – doimiy kattalik bo'lib, chiqish kattaligi h_{qar} ning o'rnatilgan qiymatidan foiz ulushida beriluvchi kattalik, odatda $\Delta = h_{qar} \cdot (1 \div 5)\%$.

2) O'ta rostlash – σ , o'tkinchi xarakteristikani qaror qiymatdan qanchaga o'zgarganligini (maksimal og'ganligini) bildirib, nisbiy yoki foizda beriladi:

$$\sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{qar}}{h_{qar}} \cdot 100\%,$$

bu yerda $h_{\max 1}$ – birinchi maksimum qiymati yoki

$$\sigma = \frac{|\varepsilon_e(t)|_{\max 1}}{h_{qar}} \cdot 100\% = \frac{|\varepsilon_e(t)|_{\max 1}}{|\varepsilon_e(0)|} \cdot 100\%.$$

Har bir aniq holatda ruxsat etilgan o'ta rostlash qiymati tizimdan foydalanish tajribasidan aytiladi.

Har bir holatda ruxsat etilgan o'ta rostlash qiymati tizimni boshqarish tajribasidan kelib chiqadi, odatda $\sigma = 10 \div 30\%$, lekin ayrim hollarda 70% gacha ruxsat beriladi. Ba'zan o'ta rostlash umuman yo'l qo'yilmaydi.

3) Tebranish chastotasi (davri) – $\omega = \frac{2\pi}{T}$ yoki $T = \frac{2\pi}{\omega}$, bu yerda T – tebranuvchan o‘tkinchi xarakteristika uchun tebranish davri.

4) Tebranishlar soni – μ . Rostlanish vaqti (t_r) dagi o‘tkinchi xarakteristika $h(t)$ yoki $\varepsilon_e(t)$ ga ega bo‘lgan tebranishlar soni. Odatda $\mu \leq (1 \div 2)$ gacha, ayrim hollarda $\mu \leq (3 \div 4)$ gacha, ba’zan esa umuman ruxsat etilmaydi.

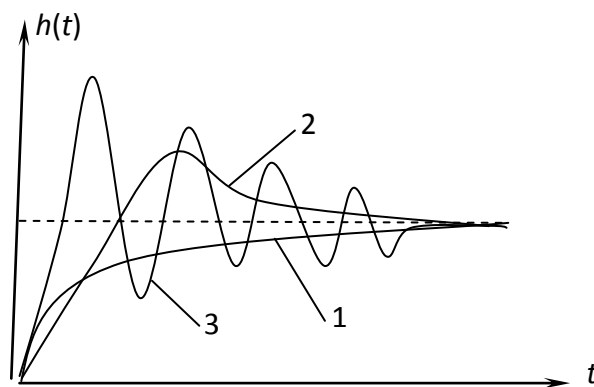
5) $h(t)$ xarakteristikaning maksimal qiymatga erishishga ketgan vaqt – $t_{\max}$.

6) Oshish vaqti – t_o , bu $h(t)$ ni h_{qar} qiymatining birinchi uchrashgan nuqtasidir.

7) So‘nish dekrementi – χ , buning fizik ma’nosi o‘tkinchi xarakteristikaning so‘nish tezligini bildiradi

$$\chi = |h_{\max 1} - h_{qar}| / |h_{\max 2} - h_{qar}|.$$

Tizimni pog‘onali ta’sirdan olgan reaksisuga qarab o‘tkinchi xarakteristikalarni uch guruhga bo‘lish mumkin, bular: monoton, aperiodik, tebranuvchi.



21.2-rasm.

Monoton jarayonda chiqish kattaligining birinchi tartibli hosilasi $\dot{y}(t)$ qiymatini o‘zgartirmaydi (21.2-rasm (1)). Aperiodik jarayonlarda $\dot{y}(t)$ qiymatini bir martadan ortiq o‘zgartirmaydi (21.2-rasm (2)), tebranuvchan jarayonda esa $\dot{y}(t)$ o‘z qiymatini davriy o‘zgartiradi (21.2-rasm (3)).

Nazorat va muhokama savollari

1. Sifat ko‘rsatkichlarini baholashning bilvosita usuli, deb nimaga aytiladi?
2. O‘tkinchi xarakteristika bo‘yicha tizimning qanday sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash mumkin?
3. Rostlash sifatini baholashning ildiz usuli qaysi chegaralar orasidagi bog‘liqlikni aniqlashga asoslangan?

GARMONIK TA'SIRLAR ORQALI ROSTLASH SIFATINI BAHOLASH.

Reja:

1. Umumiy tushunchalar
2. Rostlash sifatini baholashning chastotaviy usullari h

1. Umumiy tushunchalar

Boshqarish tizimlarini tadqiq etishning chastotaviy usullari muhandislik amaliyotida keng qo'llanilmoqda. Ular muhandislar uchun odatiy bo'lgan tizimlarning dinamik xarakteristikalarini grafik tasviriga asoslangani sababli avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarini hisoblashda keng qo'llanilib, avtomatlashtirilgan rostdash tizimlarini tahlil qilish va sintezlashning qator qulay muhandislik usullarini ishlab chiqish imkonini beradi. Chastotaviy usullarning targ'iboti va rivojlanishida V.V.Solodovnikov ishlari katta rol o'ynagan. Ularda sifatni haqiqiy chastotaviy xarakteristikalar bo'yicha baholash usuli, pog'onali ta'sirda haqiqiy trapetsiyasimon xarakteristikalar bo'yicha o'tish jarayonlarini qurish usuli hamda korreksiyalovchi qurilmalarni sintezlash usuli keltirilgan. Ishlarda chastotaviy usullarni taqsimlangan parametrlil va kechikishga ega turli tizimlarda qo'llash mumkinligi isbotlangan. Ushbu usullarning qo'llanilishi tezkorlik, qayta rostdash, jarayon tebranuvchanligi kabi sifatning muhim ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini beradi. Ushbu masalalar adabiyotda keng yoritilgan bo'lib, muhandislik hisob-kitoblarini ancha soddalashtiradigan ko'p miqdordagi yordamchi jadval va grafiklar mavjud.

2. Rostlash sifatini baholashning chastotaviy usullari

Eng avvalo tizimning o'tish xarakteristikasi va chastotaviy xarakteristikalarini o'rtasidagi analitik bog'liqlikka to'xtalib o'tamiz. Chiziqli tizimga garmonik signal ta'sir qilganida chiqish kattaligining o'rnatilgan qiymati ham garmonik bo'ladi:

$$X(j\omega) = W_{gx}(j\omega)G(j\omega), \quad (22.1)$$

bu yerda $X(j\omega)$ – Fure bo'yicha chiqish kattaligi $x(t)$ ning tasviri; $G(j\omega)$ – Fure bo'yicha chiqish kattaligi $g(t)$ ning tasviri; $W_{gx}(j\omega)$ – berk tizimning kompleks kuchaytirish koeffitsienti.

Tizimga bir pogʻonali funksiya $g(t)=1(t)$ taʼsir qilganida, tizimning oʻtish xarakteristikasi boʻlmish chiqish kattaligi $h(t)$ berk tizimning haqiqiy yoki mavhum chastotaviy xarakteristikasi orqali aniqlanadi:

$$x(t) = h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega. \quad (22.2)$$

bu yerda $P(\omega)$ – berk ABTning haqiqiy chastotaviy xarakteristikasi;

$$x(t) = h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{Q(\omega)}{\omega} \cos \omega t d\omega + P(0). \quad (22.3)$$

bu yerda $Q(\omega)$ – berk tizimning mavhum chastotaviy xarakteristikasi.

(22.2), (22.3) boʻyicha oʻtish xarakteristikasini aniqlash faqat EHMni qoʻllagan holda raqamli usullar yordamida amalga oshirish mumkin. Lekin chiziqli-boʻlakli funksiyalar bilan haqiqiy va mavhum chastotaviy xarakteristikalarining approssimasiyalash bilan bogʻliq boshqa yoʻl ham bor. Bu taxminan oʻtish xarakteristikasini shakllantirish uchun bizga qulay ifodalarni olish imkonini beradi.

Tizimga ixtiyoriy gʻalayon taʼsir qilganida oʻtish jarayoni umumlashgan haqiqiy va mavhum xarakteristikalar boʻyicha aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} P_{o\bar{o}}(\omega) &= \operatorname{Re}[W_{gx}(j\omega)G(j\omega)]; \\ Q_{o\bar{o}}(\omega) &= \operatorname{Im}[W_{gx}(j\omega)G(j\omega)]. \end{aligned} \right\} \quad (22.4)$$

bu yerda $G(j\omega) = \int_0^{\infty} g(t)e^{-j\omega t} dt$ – Fure boʻyicha chiqish kattaligi $g(t)$ ning tasviri.

Bu yerda funksiya qutblari mavhum oʻqning chap tomonida boʻlishlari kerak.

Haqiqiy chastotaviy xarakteristikalar va ularga tegishli oʻtish jarayonlarning asosiy hossalari koʻrib chiqamiz. (22.2)dan $P(\omega)$ va $h(t)$ ning quyidagi asosiy hossalari kelib chiqadi. Ularni isbotsiz keltiramiz.

1. Chiziqlilik hossasi: agar haqiqiy chastotaviy xarakteristikani quyidagi yigʻindi sifatida keltirish mumkin boʻlsa

$$\left. \begin{aligned} P(\omega) &= \sum_{i=1}^{\infty} P_i(\omega); \\ h_i(t) &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P_i(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega, \end{aligned} \right\} \quad (22.5)$$

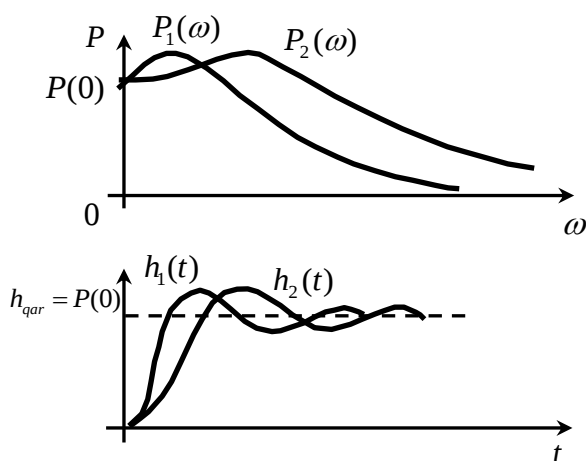
oʻtish jarayoni $h(t)$ ni ham tarkibiy qismlar yigʻindisi sifatida koʻrsatish mumkin:

$$h(t) = \sum_{i=1}^n h_i(t). \quad (22.6)$$

2. $P(\omega)$ va $h(t)$ uchun ordinatalar o'qi bo'yicha masshtablarning mosligi. Agar $P(\omega)$ ni doimiy ko'paytiruvchi a ga ko'paytirsak, $h(t)$ ning tegishli qiymatlari ham ushbu ko'paytiruvchiga ko'paytiriladi.

3. $P(\omega)$ va $h(t)$ uchun absissalar o'qi bo'yicha masshtablarning mosligi. Agar chastotaviy xarakteristikaning tegishli ifodasida argument ω ni doimiy songa ko'raytirsak (22.1,*a*-rasm), o'tish jarayonining tegishli ifodasida argumenti ushbu songa bo'linadi (22.1,*b*-rasm), ya'ni

$$h(t/a) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(a\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega. \quad (22.7)$$



22.1-rasm.

4. Haqiqiy chastotaviy xarakteristikaning boshlang'ich qiymati o'tish xarakteristikaning oxirgi qiymatiga teng:

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} P(\omega) = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t).$$

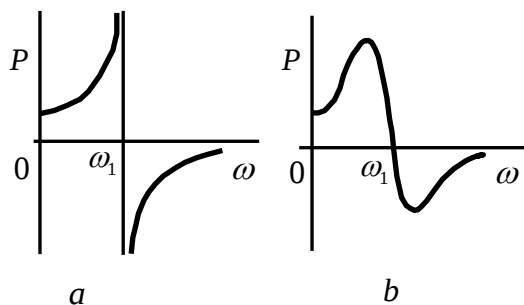
Mavhum chastotaviy xarakteristikaning boshlang'ich qiymati nolga teng $Q(0) = 0$.

5. Haqiqiy chastotaviy xarakteristikaning oxirgi qiymati o'tish xarakteristika aslining boshlang'ich qiymatiga teng

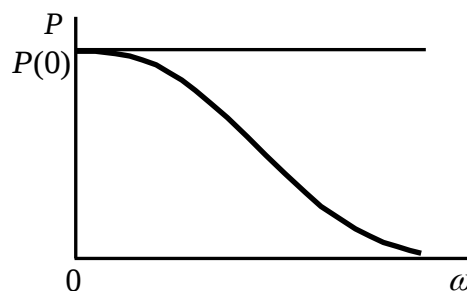
$$\lim_{\omega \rightarrow 0} P(\omega) = \lim_{t \rightarrow 0} x(t) = \lim_{t \rightarrow 0} h(t).$$

Haqiqiy chastotaviy xarakteristikada uzluksizlikning uzilishlari va cho'qqilari qiziqish uyg'otadi. Faraz qilaylik, $\omega = \omega_1$ da haqiqiy chastotaviy xarakteristikasida uzilishi mavjud $P(\omega_1) = \infty$, bunda tizimning xarakteristik tenglamasi mavhum ildizga ega bo'ladi $s_i = \pm j\omega_1$, ya'ni qolgan ildizlar chap ildizlar bo'lsa, tizimda so'nmaydigan garmonik tebranishlar o'rnatiladi. Ushbu holat uchun xarakteristika 22.2,*a*-rasmida keltirilgan. Chamasi chastotasi ω_1 chastotaga yaqinlashganda $P(\omega)$

noldan oshib ketadigan chastotaviy xarakteristikaning yuqori va qirra cho‘qqisi sekin so‘nib borayotgan tebranishlarga to‘g‘ri keladi (22.2,b-rasm).



22.2-rasm.



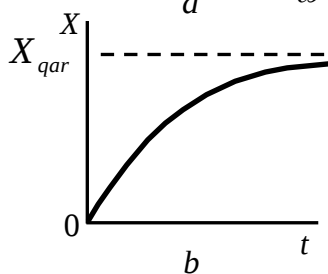
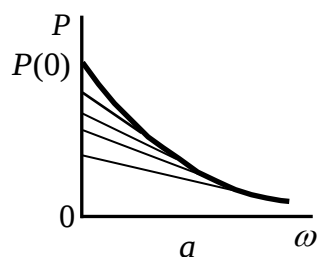
22.3-rasm.

6. Tizimning o‘tish xarakteristikasida 18% ($\sigma \leq 18\%$) dan oshmaydigan qayta rostlash mavjud bo‘lishi uchun haqiqiy chastotaviy xarakteristika chastotaning musbat qiymatidan oshmaydigan funksiyasi bo‘lishi kerak (22.3-rasm), ya’ni $P(\omega) > 0$, $dP(\omega)/d\omega \leq 0$.

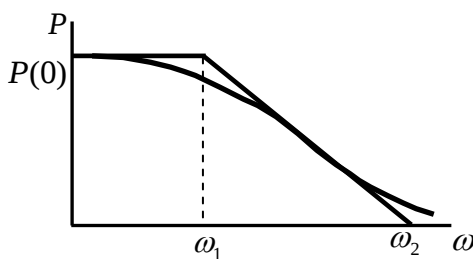
7. O‘tish jarayoni bir xil o‘tishining sharti. O‘tish jarayoni monoton xarakterga ega bo‘lishi uchun unga mos mutloq qiymat bo‘yicha kamayadigan manfiy hosilaga ega haqiqiy chastotaviy xarakteristika $P(\omega)$ si chastotaning musbat uzluksiz funksiyasi bo‘lishi etarlidir (22.4,a,b-rasm.), ya’ni

$$P(\omega) > 0, [dP(\omega)/d\omega] < 0.$$

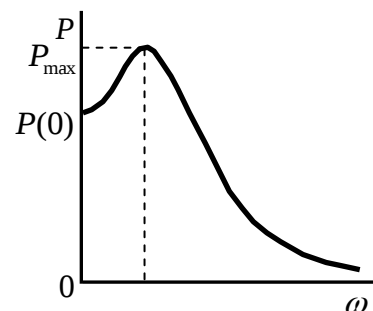
8. O‘tish jarayoni qayta rostlashining eng katta qiymati $\sigma_{\max}$ ni haqiqiy chastotaviy xarakteristika $P(\omega)$ ning maksimumi bo‘yicha aniqlash (22.5-rasm):



22.4-rasm.



22.5-rasm.



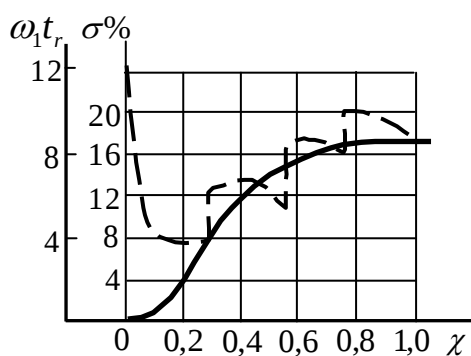
22.6-rasm.

$$\sigma_{\max} = [1,18P_{\max} - P(0)] / P(0). \quad (22.8)$$

bu yerda $P_{\max} - P(\omega)$ ning maksimal qiymati; $P(\omega) - P(\omega = 0)$ ning boshlang'ich qiymati.

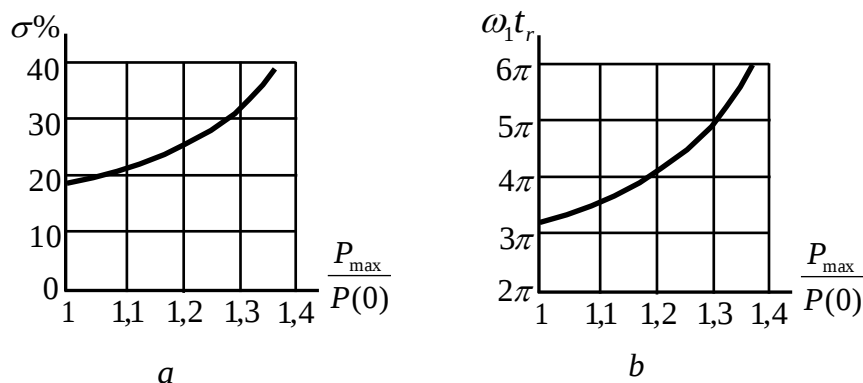
9. Agar haqiqiy chastotaviy xarakteristika trapetsiya ko'rinishiga yaqin bo'lsa, ya'ni chastotalar diapazoni ω_2 va qiyalik koeffitsienti $\chi = \omega_1 / \omega_2$ bilan approksimasiyalangan (22.6-rasm) bo'lsa, demak tizim o'tish jarayoni qayta rostlash vaqti $\pi / \omega_2 < t_r < 4\pi / \omega_2$ chegaralarda qamrab olingan.

Rostlash t_p va qayta rostlash vaqtini 22.7-rasmda keltirilgan egri chiziqlar bo'yicha baholash mumkin. Buni oshmaydigan haqiqiy chastotaviy xarakteristikaga ega tizimlar uchun qo'llash mumkin.



22.7-rasm.

Haqiqiy chastotaviy xarakteristika $P(\omega)$ maksimum $P_{\max}$ ga ega bo'lsa, qayta rostlash σ va rostlash vaqti $P_{\max}/P(0)$ nisbatga ko'ra 22.8,a,b-rasmdagi egri chiziqlar bo'yicha baholanadi. Bunda qayta rostlash vaqti $3\pi / \omega_2 < t_r < 8\pi / \omega_2$ chegarada qamrab olingan.



22.8-rasm.

Nazorat va muhokama savollari

1. O'tkinchi xarakteristika bo'yicha tizimning qanday sifat ko'rsatkichlarini aniqlash mumkin?
2. Rostlash sifatini baholashning ildiz usuli qaysi chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga asoslangan?
3. Rostlash sifatini baholashning ildiz usulida so'nish koeffitsiyenti nimaga bog'liq?
4. O'tish jarayoni sifatining integral baholash usuli asosida nima yotadi?
5. Eng ko'p qo'llaniladigan integral baholash usuli ifodalarini keltiring.
6. Rostlash sifatini baholashning chastotaviy usulida haqiqiy chastota tavsifi va ularga mos keladigan o'tish jarayonining asosiy xossalarini tushuntirib bering.
7. Rostlash sifatini baholashning chastotaviy usulining afzalligi va qo'llanilishi to'g'risida nimalar deyish mumkin?

ROSTLASH SIFATINI BAHOLASHNING ILDIZLI USULLARI.

Reja:

1. Rostlash sifatini baholashning ildizli usullari
2. O'tish jarayoni sifatining integral baholari.

1. Rostlash sifatini baholashning ildizli usullari

Ma'lumki tizimda o'tish jarayonining tavsifini uning birlik pog'onali ta'sirga reaksiyasi bo'yicha aniqlanadi. Tizimning o'tish xarakteristikasi $h(t)$ Laplasning teskari almashtirishi (Xevisaydning ajratish formulalari) yordamida hisoblanishi mumkin:

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{1}{p} W_{gx}(p) \right] = L^{-1} \frac{P(p)}{pD(p)}.$$

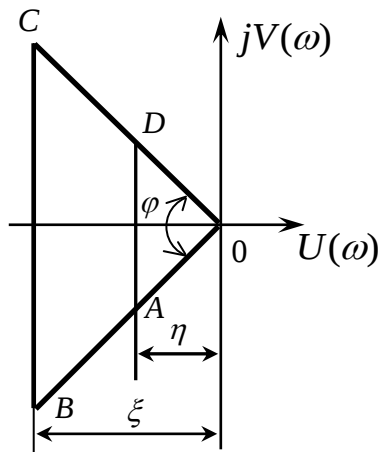
Agar $D(p)$ karrali ildizlarga ega bo'lmasa, demak

$$h(t) = \frac{P(0)}{D(0)} + \sum_{i=1}^n \frac{P(p_i)}{p_i D'(p_i)} e^{p_i t}, \quad (23.1)$$

bu yerda p_i – berk tizim xarakteristik polinomi $D(p)=0$ ning ildizlari; $D'(p_i) = dD(p)/dp|_{p=p_i}$ – xarakteristik polinom $D(p)$ ning $p = p_i$ bo'lganda p bo'yicha birinchi hosilasi.

(4.8) dan o'tish jarayonining xarakteriga berk tizimning uzatish funksiyasi $W_{gx}(p)$ ning ham sur'ati ham mahraji ta'sir ko'rsatishini ko'rish mumkin. Agar $W_{gx}(p)$ ning sur'ati nollarga ega bo'lsa, ya'ni doimiy kattalikni tashkil etsa, o'tish jarayonining xarakterini uning qutblari, ya'ni berk ABT ning xarakteristik tenglamasining ildizlari $D(p)=0$ bo'yicha aniqlash mumkin.

Tizimda o'tish jarayonining sifatini taxminan baholash uchun ildizlar tekisligi p da uning xarakteristik tenglamasining ildizlari joylashgan sohani ajratish kerak. Odatda ushbu soha trapetsiya ko'rinishda belgilanadi (23.1-rasm).



23.1-rasm.

Xarakteristik tenglamaning ildizlari ushbu $ABCD$ trapetsiyaning ichida joylashsin, uning tomonlari va asoslarida hech bo‘lmasa bittadan ildiz, tashqarisida esa – bitta ham ildiz bo‘lmasin. Ildizlar tekisligida ushbu sohani belgilash uchun quyidagi parametrlar hisoblanadi: turg‘unlik darajasi η , tebranuvchanlik μ va mavhum o‘qdan maksimal uzoqlashgan ildizning haqiqiy qiymati ξ .

Turg‘unlik darajasi η deb mavhum o‘qdan eng yaqin ildizgacha yoki eng yaqin kompleks birlashgan ildizlar juftligigacha bo‘lgan oraliqqa aytiladi. Turg‘unlik darajasi η mavhum o‘qqa eng yaqin bo‘lgan trapetsiyaning asosi AD ni aniqlaydi (23.1-rasm).

Tizim differensial tenglamasining umumiy yechimi quyidagicha bo‘lsin

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}, \quad (23.2)$$

bu yerda $p_i - D(p) = 0$ xarakteristik tenglamaning ildizlari.

Turg‘unlik darajasi bilan aniqlanadigan ushbu yechimning tashkil etuvchilarini quyidagicha yozib olamiz:
haqiqiy ildizli holat uchun

$$x_{\eta}(t) = C_{\eta} e^{-\eta t}, \quad (23.3)$$

yoki ildizlar orasida kompleks birlashgan ildizlar juftligi mavjud bo‘lgan holat uchun

$$x_{\eta}(t) = C_{\eta} e^{-\eta t} \sin \beta t. \quad (23.4)$$

Ko‘plab holatlarda turg‘unlik darajasi bilan aniqlanadigan o‘tish jarayonining tashkil etuvchisi so‘nganida o‘tish jarayonini tugallangan deb hisoblash, ya’ni jarayon so‘nish vaqti qiymatining darajasini eng sekin so‘nadigan qismiga $x_{\eta}(t)$ ko‘ra baholash [(23.3), (23.4) ifodalarga qarang] mumkin. Haqiqiy ildizlar mavhum

o'qqa eng yaqin bo'lgan holatda (23.3) ifodadan quyidagi bog'liqlikni olish mumkin:

$t_\eta \approx \frac{1}{\eta} \ln \frac{1}{\Delta}$. Agar, masalan $\Delta = 0,05$ qabul qilsak, o'tish jarayonining vaqti

$t_\eta = \frac{1}{\eta} \ln \frac{1}{0,05} \approx 3/\eta$ bo'ladi. Ushbu holatda, mavhum o'qqa eng yaqini kompleks

ildizlar juftligi bo'lgan holatda (23.4) dan o'tish jarayonining yuqori chegarasini aniqlash mumkin: $t_\eta \leq \frac{1}{\eta} \ln \frac{1}{\Delta}$.

Agar mavhum o'qni η kattalik chapga siljitganimizda bir ildiz mavhum o'qda bo'lsa, tizim turg'unlik chegarasida bo'ladi. Bu Gurvitsning katta aniqlovchisini nolga aylanishiga mos keladi: $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1} = 0$. Ushbu shart koeffitsientlarni berib turib η ni aniqlash yoki teskari masalani yechish mumkin bo'lgan tenglamani beradi.

Tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagicha bo'lsin

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

Yangi o'zgaruvchini kiritamiz $z = p + \eta$. $p = z - \eta$ qiymatni $D(p) = 0$ tenglamaga qo'yib, yangi siljigan tenglamaga ega bo'lamiz:

$$A_0 z^n + A_1 z^{n-1} + \dots + A_{n-1} z + A_n = 0, \quad (23.5)$$

bu yerda

$$A_i = \frac{1}{(n-i)!} \left[\frac{d^{n-i} D}{dp^{n-i}} \right]_{p=-\eta}. \quad (23.6)$$

Agar siljigan tenglamada $A_n = 0$ bo'lsa, u holda mavhum o'qqa eng yaqin ildizi nolinci ildiz, agar $A_n \neq 0$ bo'lsa, u holda bog'langan kompleks ildizlar juftligi bo'lib qoladi.

(23.5) tenglama bilan ifodalangan tizim uchun turg'unlik chegarasi sharti Gurvitsning boshqa barcha turg'unlik shartlariga rioya qilib, Gurvits mezoni bo'yicha $\Delta_{n-1} = 0$ bo'ladi.

Tizimning tebranuvchanligi μ deb manfiy haqiqiy yarim o'q va koordinata boshidan mavhum qismining haqiqiy maksimal ildizigacha bo'lgan nur yordamida hosil bo'lgan burchak tangensiga aytiladi (23.1-rasm):

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi = (\beta / \alpha)_{\max}, \quad (23.7)$$

bu yerda β – $D(p)$ ildizlarining mavhum qismining qiymati; α – haqiqiy qism.

Tizimning parametrlari ma'lum bo'lganida tebranuvchanlik μ qiymatini (tebranuvchanlik tahlili masalasi) aniqlash yoki teskari masalani, ya'ni berilgan tebranuvchanlik bo'yicha ABTni sintezlash masalasini yechish mumkin. Buning

uchun tizimning xarakteristik tenglamasiga mavhum o'qni $(\pi/2 - \varphi_M)$ burchakka burilishiga teng bo'lgan $p = jze^{-j\varphi_M}$ qiymat kiritiladi, bu yerda bog'langan kompleks ildizlar juftligi mavhum o'qda, soxta tizim esa turg'unlik chegarasida bo'ladi. Tebranuvchanlik μ o'tish jarayonining bahosi hisoblanib, μ ortganda rostlanish vaqtida tebranishlar soni n oshadi va qayta rostlanish (o'tarostlash) ham oshadi. Real o'tish jarayoni ancha yaxshiroq sifatga ega bo'lishi mumkin.

Siljish xarakteristik tenglamasini yozib olamiz:

$$B_0 z^n + B_1 z^{n-1} + \dots + B_{n-1} z + B_n = 0, \quad (23.8)$$

bu yerda

$$B_i = j^{n-i} e^{-j(n-i)\varphi_M} a_i. \quad (23.9)$$

(23.6) da koeffitsientlarning bir qismi – kompleks sonlar.

Soxta tizim turg'unlik chegarasida bo'lgani sababli, (23.8) ifoda bir juft bog'langan mavhum ildizlarga ega bo'ladi: $p_i = \pm j\beta_i = \pm j\omega_i$.

Agar (23.8) ifodadagi z o'rniga $j\omega$ qo'ysak va birikkan xarakteristik polinomni mavhum va haqiqiy qismlarga ajratsak, ularni ketma-ket nolga tenglashtirib ikki tenglamadan iborat tizimga ega bo'lamiz

$$u(\varphi_M, \omega_i) = 0; \quad v(\varphi_M, \omega_i) = 0.$$

Ushbu tizimdan ω_i olib tashlab, qidirilayotgan φ_M va $\mu = \tan \varphi_M$ qiymatlarni aniqlaymiz.

Ushbu masalani Viet tenglamalari orqali algebraik tenglama ildizlarining xususiyatlaridan foydalangan holda yechish mumkin.

2. O'tish jarayoni sifatining integral baholari

Sifatni integral baholari bu – o'tish jarayoni chiqish kattaligining erkin tashkil etuvchilari $x_e(t)$ ni yoki xatosi $\varepsilon_e(t)$ ni ba'zi funksiyalarining vaqt bo'yicha integralidir. Ushbu mezonlardan foydalanishdan maqsad rostlanadigan kattalikning belgilangan qiymatdan og'ishini va tezkorligini umumiy bahosini olishdan iborat. Chiziqli va kvadratik integral baholardan keng foydalaniladi.

Chiziqli baholar quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$J_0 = \int_0^{\infty} e^{-\alpha t} t^n \varepsilon_e \quad (23.10)$$

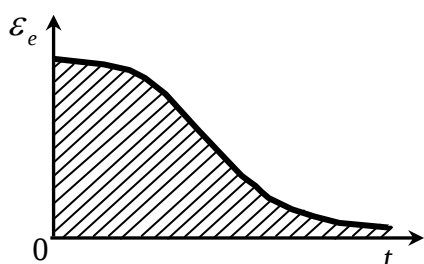
Ammo ko'proq i -chi tartibli onlardan, ya'ni quyidagi ko'rinishdagi baholardan foydalanilmoqda

$$J_{00} = \int_0^{\infty} \varepsilon_e(t) dt; \quad (23.11)$$

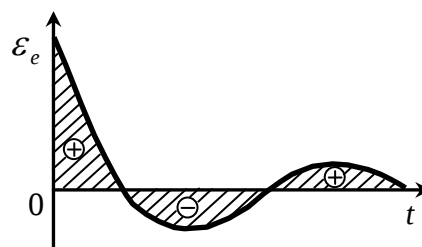
$$J_{01} = \int_0^{\infty} t \varepsilon_e(t) dt; \quad (23.12)$$

$$J_{0n} = \int_0^{\infty} t^n \varepsilon_e(t) dt. \quad (23.13)$$

Ushbu baholarning eng soddasi J_{00} (4.18) ifodadir. Agar tizim turg'un bo'lsa, u hoda $\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_e(t) = 0$, integral J_{00} egrilik $\varepsilon_e(t)$ ostidagi maydonga teng bo'lgan chekli qiymatga intiladi (23.2-rasm). Tizimning tezkorligi qancha yuqori bo'lsa, kattalik J_{00} qiymati shunchalik kichik bo'ladi, shuning uchun tizim parametrlarini J_{00} minimumga intilgan holatda tanlash lozim, ya'ni $dJ_{00}/dA = 0$, bu yerda A – tizimning o'zgaruvchan parametri. Ushbu bahoning kamchiligi uni faqat monoton yoki aperiodik jarayonlarda qo'llash mumkinligi hisoblanadi. Tebranuvchan jarayonda (23.3-rasm) $\varepsilon_e(t)$ bilan chegaralangan yuzalar algebraik qo'shiladi va minimum J_{00} ga tebranishlar soni n ko'p jarayon mos kelishi mumkin, ya'ni kichik tezkorlik va hattoki so'nmaydigan tebranishlarga ega jarayon.



23.2-rasm.



23.3-rasm.

$\varepsilon_e(p)$ ning Laplas bo'yicha tasviri

$$E(p) = \int_0^{\infty} e^{-st} \varepsilon_e(t) dt.$$

Ushbu ifodani (4.18) bilan taqqoslaganda J_{00} uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$J_{00} = \int_0^{\infty} \varepsilon_e(t) dt = E_e(0). \quad (23.14)$$

e^{-pt} ni pt darajalari bo'yicha qatorga yoyib chiqamiz:

$$e^{-pt} = 1 - pt + 0,5p^2t^2 \dots \quad (23.15)$$

$E_e(p)$ ni aniqlash uchun ifodaga (4.22) ni qo'yamiz, ya'ni

$$E_e(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} \varepsilon_e(t) dt = \int_0^{\infty} \varepsilon_e(t) dt - p \int_0^{\infty} t \varepsilon_e(t) dt + \\ + 0,5 p^2 \int_0^{\infty} t^2 \varepsilon_e(t) dt - \dots = J_{00} - p J_{01} + 0,5 p^2 J_{02} - \dots \quad (23.16)$$

Agar $E_e(p)$ ni p darajalari bo'yicha qatorga yoyib chiqqanimizda:

$$E_e(p) = E_e(0) + \left(\frac{\partial E_e}{\partial p} \right)_{p=0} p - 0,5 \left(\frac{\partial^2 E_e}{\partial p^2} \right)_{p=0} p^2 + \dots, \quad (23.17)$$

(23.16) va (23.17) ni taqqoslaganda, p darajalar bo'yicha ifodalarni tenglashtirganda quyidagicha xulosa qilish mumkin:

$$J_{00} = \int_0^{\infty} E_e(0); \quad J_{01} = - \left(\frac{\partial E_e}{\partial p} \right)_{p=0}; \quad (23.18)$$

$$J_{01} = \left(\frac{\partial^2 E_e}{\partial p^2} \right)_{p=0}; \quad (23.19)$$

.....

$$J_{0n} = (-1)^n \left(\frac{\partial^n E_e}{\partial p^n} \right)_{p=0}. \quad (23.20)$$

Agar (23.14), (23.18)-(23.20) natijalarini §4.2 da keltirilgan xatolik koefitsientlari bilan taqqoslaganda $J_{00} = C_0$; $J_{01} = (-1)C_1$;; $J_{0n} = (-1)^n C_n$ bo'ladi, bu yerda $C_0, C_1, \dots, C_n$ – xatolik koefitsientlari.

Kvadratik integral baholar quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$J_{20} = \int_0^{\infty} \varepsilon_e^2(t) dt; \quad (23.21)$$

$$J_{21} = \int_0^{\infty} [\varepsilon_e^2(t) + \tau_1^2 \varepsilon_e^2(t)] dt; \quad (23.22)$$

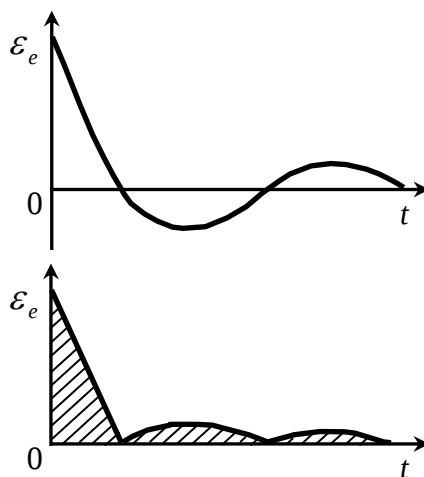
.....

$$J_{2n} = \int_0^{\infty} [\varepsilon_e^2(t) + \tau_1^2 \varepsilon_e^2(t) + \dots + \tau_n^2 \varepsilon_e^{(n)^2}(t)] dt, \quad (23.23)$$

bu yerda $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – doimiy kattaliklar.

$J_{21}, \dots, J_{2n}$ baholarni *umumlashtirilgan kvadratik baholar* deb ataladi.

Kvadratik integral baholarning geometrik mazmuniga 23.4-rasmda tushuntirish berilgan. Kvadratik integral bahoning minimumi J_{20} bo'yicha tizim parametrlarini tanlashda $\varepsilon_e(t)$ egri chiziqli ε_e va t o'qlariga yaqinlashtiramiz.



23.4-rasm

Ushbu baholarni hisoblash usullari A.I.Mandelshtam va N.D.Papaleksi tomonidan 1909 yilda taklif etilgan. 1937 yilda akad.A.A.Xarkevich ushbu bahoni kuchaytirgichning ishlash rejimlarini tadqiq etishda qo'llagan, 1948 yilda A.A.Krasovskiy va A.A.Feldbaum undan chiziqli avtomatik rostlash tizimlarini sifatini tadqiq etishda foydalangan.

Kvadratik integral baholarni $\varepsilon_e(t) = h_{qar} - h(t)$ hisoblash usullarini ko'rib chiqamiz. Ta'rif bo'yicha,

$$L\{h(t)\} = H(p) = \frac{1}{p} W_{gh}(p).$$

Chekli o'tishlar to'g'risidagi teorema bo'yicha,

$$h_{qar} = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} pH(p) = W_{gh}(0);$$

demak,

$$E_e(p) = W_{gh}(0) - \frac{1}{p} W_{gh}(p).$$

Modomiki $W_{gh}(p)$ – kasr-ratsional funksiya ekan, u holda $H(p)$ ni ham kasr-ratsional funksiya ko'rinishida yozish mumkin:

$$H(p) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n}. \quad (23.24)$$

$m < n$ da baho J_{20} ni (23.18) quyida ko'rsatilgan formulalar bo'yicha $b_0, \dots, b_m$, va $a_0, \dots, a_n$ koeffitsientlardan (23.21) foydalangan holda hisoblash mumkin:

$$J_{20} = \int_0^{\infty} \varepsilon_e^2(t) dt = \frac{1}{2a_n^2 \Delta} (B_0 \Delta_0 + B_1 \Delta_1 + \dots$$

$$\dots + B_{m-2} \Delta_{m-2} + B_{m-1} \Delta_{m-1} + B_m \Delta_m) - \frac{b_m b_{m-1}}{a_n^2},$$
(23.25)

bu yerda Δ – Gurvits aniqlovchisi bo‘lib, quyidagi koeffitsientlardan tuzilgan:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_n & -a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & 0 \\ 0 & a_{n-1} & -a_{n-3} & \dots & 0 \\ 0 & -a_n & a_{n-2} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -a_{n-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_1 \end{vmatrix},$$
(23.26)

bu yerda indeksi 0 dan kichik va n dan katta barcha koeffitsientlarni nolga almashtiriladi. (23.26) ifodadan $\Delta_0, \dots, \Delta_m$ aniqlovchilarni olish uchun $(v+1)$ ustunni $a_{n-1}, a_n 0, \dots, 0$ ustun bilan almashtirish yo‘li bilan hisoblanadi, bu yerda $v = 0, 1, \dots, m$.

$B_0, B_1, \dots, B_{m-1}, B_m$ koeffitsientlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= b_m^2; B_1 = b_{m-1}^2 - 2b_m b_{m-2}; \\ B_v &= b_{m-v}^2 - 2b_{m-v+1} 2b_{m-v-1} + \dots + 2(-1)^v b_m b_{m-2v}; \\ b_m &= b_0^2. \end{aligned} \right\}$$
(23.27)

Kvadratik integral baho J_{20} ni berk tizimning berilgan chastota xarakteristikasi bo‘yicha aniqlash mumkin.

$E(j\omega)$ – funksiya $\varepsilon_{\tilde{n}\tilde{a}}(t)$ uchun Fure tasviri bo‘lsin, o‘tkazib yuborish teoremasi asosida kompleks sohada $L\{\varepsilon_e(t)\varepsilon_e(t)\}$ uchun $p=0$ yozish mumkin

$$J_{20} = \int_0^{\infty} \varepsilon_e^2(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |E_e(j\omega)|^2 d\omega;$$
(23.28)

$$\varepsilon_e(t) = h_{qar} - h(t) = E_e(j\omega) = \frac{1}{j\omega} [j\omega W_{gh}(0) - W_{gh}(j\omega)],$$
(23.29)

bu yerda $W_{gh}(j\omega)$ – berk tizimning kompleks kuchaytirish koeffitsienti.

Shunday qilib, (23.28) va (23.29) bo‘yicha J_{20} ni hisoblash mumkin. (23.28) ifoda Reley formulasi deb nomlanadi (bu formula Parseval tomonidan olinganligi sababli adabiyotlarda uni Parseval formulasi deb ham nomlanadi).

Funksiyada J_{20} integral koeffitsientlar $b_0, \dots, b_m$ va $a_0, \dots, a_n$ ni $m = n - 1$ va $n = 10$ gacha hisoblash uchun xato $E_e(p)$ signalining Laplas tasviriga o'tkazish jadvallari mavjud. 4.1-jadvalda $n = 1 \div 5$ da J_{20} uchun formulalar keltirilgan.

Baho J_{20} ni minimumi bo'yicha tizim parametrlari tanlaganda tez-tez maqul bo'lmagan jarayon tebranuvchanligiga ega bo'ladi, chunki jarayon $h(t)$ ning ideal o'zgarishi dastlabki tezlikning keskin oshishi, bu esa o'z navbatida yuqori qayta rostdlashga va turg'unlik zahirasini kamaytirishga olib keladi. Umumlashtirilgan kvadratik baholarda $J_{21}, \dots, J_{2n}$ nafaqat J_{21} dagi og'ish kattaligi $\varepsilon(t)$ ni, balki og'ish tezligi $\dot{\varepsilon}(t)$ ga ham ta'sir qiladi, shuningdek $J_{22}, \dots, J_{2n}$ da ikkinchi, uchinchi va yuqori darajali xosilalarga ham ta'sir qiladi. Bu esa egri chiziqning pog'onali funksiyaga emas J_{21} holatida eksponentaga $J_{22}, \dots, J_{2n}$ foydalanilganda nisbatan silliq, ammo murakkab egri chiziqga olib keladi. $J_{21}, \dots, J_{2n}$ minimumi bo'yicha ABT parametrlarini tanlaganda umumlashtirilgan kvadratik baholar (4.29), (4.30) da hosilalar vaznini aniqlovchi doimiylar $\tau_1, \dots, \tau_n$ ni tanlash maqsadga muvofiq. $\tau_1, \dots, \tau_n$ ning sezilarli oshishi qayta rostlanishni yo'qotib, rostlanish vaqtini oshiradi. Kichik $\tau_1, \dots, \tau_n$ da tebranuvchanlikning oshishi sezilmas bo'ladi. $\tau_1, \dots, \tau_n$ ni tanlash jarayonga yaqinlashtirish tavsiya etilib, ekstremalning vaqt doimiysini inobatga olgan holda amalga oshiriladi.

23.1-jadval

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

$$n = 1. \quad J_{20} = b_0^2 / (2a_0 a_1).$$

$$n = 2. \quad J_{20} = (b_0^2 a_0 + b_0^2 a_2) / (2a_0 a_1 a_2).$$

$$n = 3. \quad J_{20} = \frac{b_0^2 a_3 a_2 + (b_1^2 - 2b_0 b_2) a_3 a_0 + b_2^2 a_1 a_0}{2a_0 a_3 (a_1 a_2 - a_0 a_3)}.$$

$$n = 4. \quad J_{20} = \frac{b_0^2 (-a_4^2 a_1 + a_4 a_3 a_2) + (b_1^2 - 2b_2 b_0) a_4 a_3 a_0 + (b_2^2 - 2b_3 b_1) a_4 a_1 a_0 + b_3^2 (-a_3 a_0^2 + a_2 a_1 a_0)}{2a_4 a_0 (-a_4 a_1^2 - a_3^2 a_0 + a_1 a_2 a_3)}.$$

$$n = 5 \quad J_{20} = \frac{1}{2\Delta_5} [b_0^2 m_0 + (b_1^2 - 2b_2 b_0) m_1 + (b_2^2 - 2b_3 b_1 + 2b_4 b_0) m_2 + (b_3^2 - 2b_4 b_2) m_3 + b_4^2 m_4].$$

bu yerda

$$m_0 = \frac{1}{a_0} (a_2 m_1 - a_4 m_2); \quad m_3 = \frac{1}{a_5} (a_3 m_2 - a_1 m_1);$$

$$\begin{aligned} m_1 &= -a_5 a_2 + a_4 a_3; & m_4 &= \frac{1}{a_5} (a_3 m_3 - a_1 m_2); \\ m_2 &= -a_5 a_0 + a_4 a_1; & \Delta_5 &= a_5 (a_4 m_4 - a_2 m_3 + a_0 m_2). \end{aligned}$$

Keling, umumlashtirilgan kvadratik baho minimumi bo'yicha tizimni hisoblash uslubi ustida to'xtalamiz:

$$J_{21} = \int_0^{\infty} [\varepsilon_e^2(t) + \tau_1^2 \dot{\varepsilon}_e^2(t)] dt.$$

Ushbu integral ikkita integral yig'indisi sifatida ifodalanishi mumkin:

$$\begin{aligned} J_{21} &= \int_0^{\infty} [\varepsilon_e(t) + \tau_1 \dot{\varepsilon}_e(t)]^2 dt - 2\tau_1 \int_0^{\infty} \varepsilon_e(t) \dot{\varepsilon}_e(t) dt = \\ &= \int_0^{\infty} [\varepsilon_e(t) + \tau_1 \dot{\varepsilon}_e(t)]^2 dt - 2\tau_1 \int_0^{\infty} \dot{\varepsilon}_e(t) \varepsilon_e(t) dt. \end{aligned}$$

Agar tizim turg'un bo'lsa, $\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_e(t) = 0$ teng, u holda

$$2\tau_1 \int_0^{\infty} \varepsilon_e(t) d\varepsilon_e(t) = \tau_1 \varepsilon_e^2(t) \Big|_0^{\infty} = \tau_1 \varepsilon_e^2(0).$$

Bundan tashqari, integral J_{21} imkon qadar minimal qiymatga ega bo'ladi

$$J_{21\min}^* = \tau_1 \varepsilon_e^2(0), \quad (23.30)$$

quyidagicha bo'lganida

$$\varepsilon_e(t) + \tau_1 \dot{\varepsilon}_e(t) = 0. \quad (23.31)$$

Agar

$$\tau_1 d\varepsilon_e(t)/dt + \varepsilon_e(t) = 0 \quad (23.32)$$

bo'lsa, differensial tenglama (23.32)ning yechimi

$$\varepsilon_e(t) = \varepsilon_e(0) e^{-t/\tau_1}. \quad (23.33)$$

minimum bo'yicha optimal (ekstremal) o'tish jarayoni bo'ladi (bu yerda τ_1 – ushbu jarayonning vaqt doimiysi).

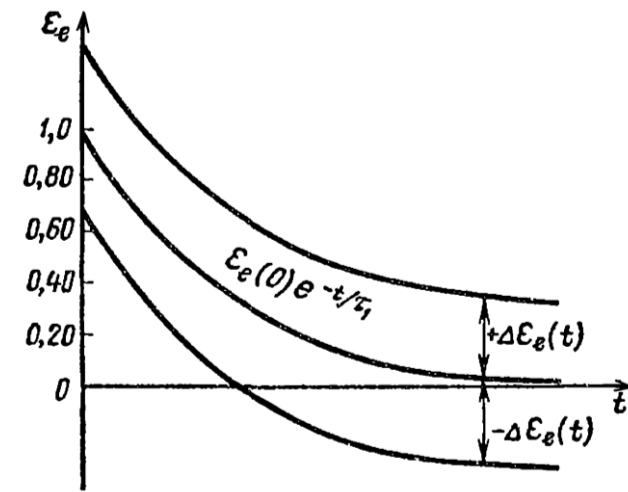
J_{21} minimumi bo'yicha tizim parametrlarini tanlaganda odatda eng kichik qiymat $J_{21\min}$ dan og'ish $J_{21\min}^*$ o'z o'rniga ega bo'ladi, ya'ni $J_{21\min}^* - J_{21\min} = \delta > 0$.

A.A.Feldbaumga ko'ra o'tish jarayoni ekstremaldan kichik bo'lgan kattalik $\sqrt{\delta/\tau_1}$ ga farqlanadi, ya'ni

$$|\Delta \varepsilon_e(t)| \leq \sqrt{\delta / \tau_1}. \quad (23.34)$$

Kattalik δ bo'yicha haqiqiy o'tish jarayonining ekstremaldan og'ishi $\varepsilon_e(t)$ ni baholash mumkin (23.5-rasm). Tizim darajasi oshganida, soha $\pm \sqrt{\delta / \tau_1}$ ni kengligi ham oshadi, bunda tizim sifatini baholash aniqligi kamayadi (o'tish jarayonining ekstremalga yaqinlashishi); buning oldini olish uchun (4.30) ko'rinishdagi baholardan foydalaniladi. Kattalik τ_1 qiymatini talab qilingan rostlash vaqti t_p bo'yicha belgilanadi, ya'ni $t_p / 6 < \tau_1 < t_p / 3$.

Ta'kidlash joizki, J_{20} yoki J_{21} minimumi bo'yicha parametrlarni tanlash masalasi ABTning kichik darajalari uchun murakkab bo'lmagan holda analitik usul bilan echiladi. Aks holda hisoblash ancha murakkablashadi va masalani EHMda raqamli yechish kerak bo'ladi.



23.5-rasm

Nazorat va muhokama savollari

1. O'tish jarayoni sifatining integral baholash usuli asosida nima yotadi?
2. Rostlash sifatini baholashning ildiz usuli qaysi chegaralar orasidagi bog'liqlikni aniqlashga asoslangan?
3. Rostlash sifatini baholashning ildiz usulida so'nish koeffitsiyenti nimaga bog'liq?
4. Eng ko'p qo'llaniladigan integral baholash usuli ifodalarini keltiring.
5. Rostlash sifatini baholashning chastotaviy usulida haqiqiy chastota tavsifi va ularga mos keladigan o'tish jarayonining asosiy xossalarini tushuntirib bering.
6. Rostlash sifatini baholashning chastotaviy usulining afzalligi va qo'llanilishi to'g'risida nimalar deyish mumkin?

MA'RUZA №24

KORREKTLOVCHI QURILMA

Reja:

1. Sintezlash masalasining qo'llanilishi
2. Logarifmik chastota xarakteristikolari usuli yordamida sintezlash

BARQAROR REJIMDA ANIQLIKNI OSHIRISH.

Reja:

1. Sintezlash masalasining qo'llanilishi
2. Logarifmik chastota xarakteristikalarini usuli yordamida sintezlash

1. Sintezlash masalasining qo'llanilishi

ABTni sintezlash deganda, uning struktura sxemasini va alohida zvenolarning parametrlari qiymatini shunday tanlash tushuniladiki, bunda barqarorlashgan tartibda berilgan aniqlik va o'tish jarayonlarining maqbul xarakteristikasi ta'minlanadi.

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 ta'minlanadi. Ikkinchidan, sintezlash muhandislik masalasi kabi talqin etilib, ABT shunday quriladiki, unga qo'yilgan texnik talablar ta'minlanadi. Sintezlashda ABT dagi istalgan dinamik sifatlarni ta'minlash maqsadida uning biror o'zgarmaydigan qismiga qo'shilishi lozim bo'lgan korreksiyalovchi vositalarning ko'rinishi va parametrlar aniqlanadi.

Avtomatik boshqarish tizimini muhandislik sintezlarida, birinchidan, istalgan aniqlikni va ikkinchidan, o'tish jarayonlarining maqbul xarakterlarini ta'minlashi lozim.

Birinchi masalaning yechilishi ko'p hollarda tizimning istalgan umumiy kuchaytirish koeffitsiyentini va zarur bo'lganda tizim aniqligini oshiruvchi korreksiyalovchi vositalar ko'rinishini aniqlashga keltiriladi. Qiymatlarni parametrlarning katta bo'lmagan soniga nisbatan o'rnatilishi zarurligi natijasida yechim nisbatan sodda bo'ladi. Eng oddiy holda tizimining faqat umumiy kuchaytirish koeffitsiyentini topish zarur.

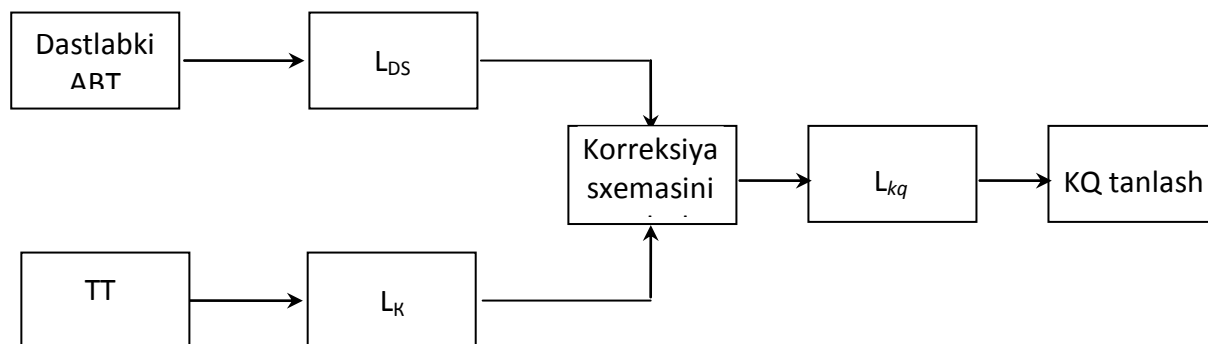
Ikkinchi masalaning yechilishi – o'tish jarayonlarining maqbul xarakterini ta'minlash – katta sonli parametrlarning variatsiyalanishi va tizimni dempferlash masalasi yechimining ko'p ma'noligi natijasida deyarli har doim qiyinroq bo'ladi. Shuning uchun mavjud muhandislik usullari faqat ikkinchi masalani yechish bilan chegaralanadi.

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 korreksiya 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 LACHX ni qo'llash kifoyadir (5.1-rasm).



5.1-rasm. *ABTni korreksiyalash.*

Texnik topshiriq asosida korreksiyalangan tizim LACHX $L_k(\omega)$ si quriladi. Shu bilan birga dastlabki tizim ma'lum xarakteristikalar bo'yicha $L_D(\omega)$ quriladi. Ikkala LACHX ni taqqoslash asosida hamda keyingi texnik amalga oshirishning soddaligi nuqtayi nazaridan korreksiya sxemasi (ketma-ket, teskari bog'lanishli, kombinatsiyalashgan) tanlanadi. Undan keyin korreksiyalovchi qurilma LACHXsi $L_{kq}(\omega)$ topiladi va tanlanadi. Turli korreksiya sxemalari va mos KQ larni ko'rib, ulardan eng yaxshisi tanlanadi.

Texnik topshiriqda tizimga quyidagi shartlar qo'yiladi:

1) *aniqlik sharti*: a) y_{0t} maksimal amplituda va ω_t chastotali y_0 topshiruvchi garmonik ta'sirning (odatda kuzatuvchi tizimlar uchun) yoki y_{0t} 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 ishlashdagi rostlash vaqti t_s yoki tizimning kesishish chastotasi ω_k ;

3) *barqarorlik ko'lam sharti*: faza bo'yicha $\Delta\varphi$ va modul bo'yicha ΔL ko'lam, yoki pog'onali ta'sirni ishlashdagi joiz ortiqcha rostlash h_t yoki tebranish koeffitsiyenti M_m (odatda kuzatuvchi tizimlar uchun).

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?

TURG'UNLIKNI TA'MINLASH VA TURGUNLIK ZAXIRASINI OSHIRISH

Reja:

1. Texnik topshiriq bo'yicha LACHX ni qurish
2. ABT korreksiyasining ketma-ket sxemasi

1. Texnik topshiriq bo'yicha LACHX ni qurish

Amalda barcha sifatli ABT lar chastota xarakteristikalarda namunaviy xususiyatlarga yoki namunaviy LACHX larga ega. Namunaviy LACHX lar uchun ularning parametrlari va texnik topshiriqlardagi parametrlar orasida bir ma'noli bog'lanishni barqarorlashtiruvchi nomogrammlar hisoblangan. Korreksiya qilingan LACHX qurish past chastotali sohadan boshlanadi.

1. Past chastotalar sohasida tizimning aniq ishlash shartidan ω_m, L_m koordinatalari nazorat nuqta K ning holati aniqlanadi, bu yerda ω_m – topshiruvchi ta'sirning maksimal chastotasi

$$L_m = L(\omega_m) = 20 \lg |W_k(j\omega_m)| = 20 \lg \frac{y_{0t}}{e_{joiz}}, \quad (1.1)$$

bu yerda, L_m – 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:

$$y_0(t) = y_{0m} \cdot \sin \omega_m t, .$$

ABT xatoligi amplitudasi quyidagicha aniqlanadi:

$$e_m = y_{0m} \left| W_{eo}(j\omega_m) \right| = \frac{y_{0m}}{|1 + W_{uz}(j\omega)|} \cong \frac{y_{0m}}{|W_{uz}(j\omega)|}, \quad (1.2)$$

chunki ish chastotasi diapazonida odatda $W_{uz}(j\omega) \geq 1, e_m \leq e_{joiz}$ shartidan (1.1) ni olamiz. Agar texnik topshiriqda topshiruvchi ta'sirning maksimal tezligi $\dot{y}_{0m}$ va maksimal tezlanishi $\ddot{y}_{0m}$ berilgan bo'lsa, uni quyidagi chastota va amplitudaga ega bo'lgan ekvivalent garmonik ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\omega_m = \ddot{y}_{0m} (\dot{y}_{0m})^{-1}; y_{0m} = \dot{y}_{0m}^2 (\ddot{y}_{0m})^{-1}.$$

K nuqta orqali $L_k(\omega)$ kirishi mumkin bo'lmagan taqiqlangan zonani aniqlovchi ikkita asimptota o'tkaziladi (1.2-rasm). Birinchi asimptota ($\omega \leq \omega_m$ uchun) $(-\nu \cdot 20)$ db/dek og'ish bilan o'tkaziladi, bu yerda ν – texnik topshiriqda berilgan tizim astatizmi tartibi. Ikkinchi asimptota ($\omega > \omega_m$) uchun og'ish bilan o'tkaziladi. Agar ν kattalik berilmagan bo'lsa, ammo texnik topshiriqda statik e_{st} yoki kinetik e_{kin} xatolikning mumkinligi yoki yo'qligi shartlari izohlangan bo'lsa, ν kattalik quyidagi sxema bo'yicha tanlanadi:

$$e_{st} \neq 0 \rightarrow \nu = 0;$$

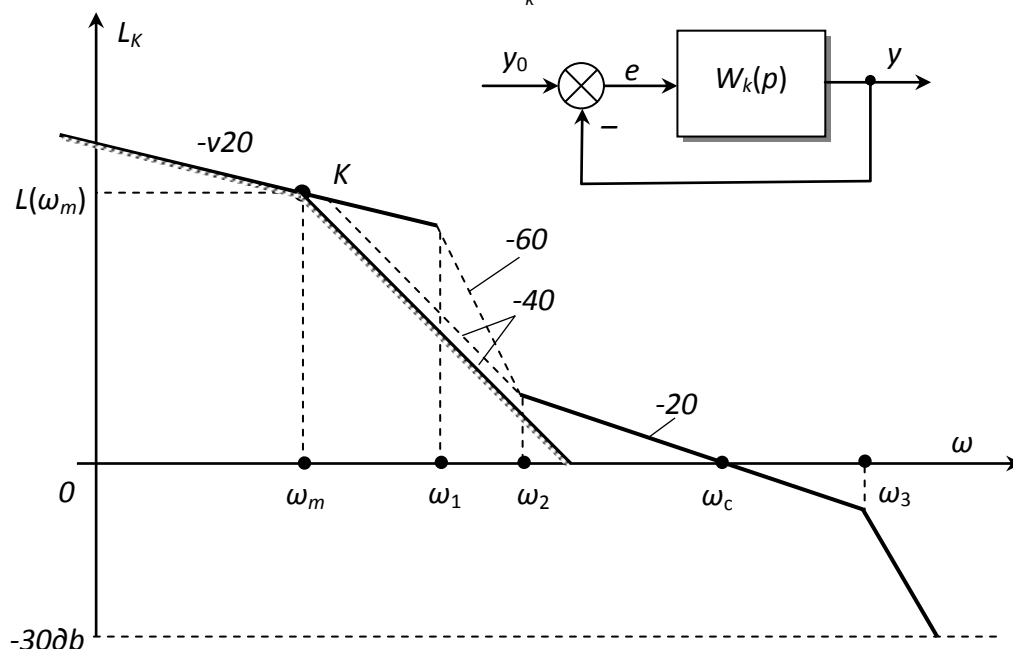
$$e_{st} = 0, e_{kin} \neq 0 \rightarrow \nu = 1;$$

$$e_{st} = 0, e_{kin} = 0 \rightarrow \nu \geq 2.$$

Shuni aytish lozimki, ABT narxi va murakkabligi odatda astatizm tartibi oshishi bilan oshadi. Korreksiyalangan tizim LACHX si $[\omega_1 \geq \omega_m]$ chastotagacha kuchaytirish kaskadlarining minimal soni bilan kifoyalanish uchun odatda joiz soha chegarasi bo'yicha o'tkaziladi.

2. O'rtacha chastotalar sohasida $[\omega_2, \omega_3]$ istalgan tezkorlikni ta'minlagan holda ω_k nuqta orqali (-20) db/dek og'ish bilan asimptota o'tkaziladi (5.2-rasm). ω_k nuqta texnik topshiriqda beriladi yoki berilgan rostlash vaqti kattaligi bo'yicha topiladi:

$$\omega_k \cong k_k \cdot \frac{\pi}{t_k}, k_k = 2 \div 4.$$



1.2-rasm. Korrektsiyalangan 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 zaxira shunchalik katta va tebranish shuncha kichik bo'ladi (tizimning kuchliroq dempferlanishi). Odatda, bu chegaralar uzunligini ω_k dan ikki tomonga qarab (0,2-0,9) dek ga teng qilib olinadi.

Agar tebranish ko'rsatkichi M_k berilgan bo'lsa (odatda kuzatuvchi tizimlar uchun), taqriban quyidagilarni topish mumkin:

$$\omega_2 \leq \omega_k \frac{M_m - 1}{M_m}; \quad \omega_3 \geq \omega_k \frac{M_m + 1}{M_m}. \quad (1.5)$$

$M_m=1,1-1,3$ 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) $L_k(\omega)$ iloji boricha $h_d(\omega)$ og'ishi bilan o'tkaziladi. LACHX ning bu qismini odatda $L = -30$ db qiymatgacha quriladi.

5. Nomogrammlar va texnik topshiriq bo'yicha $\omega_2, \omega_k, \omega_3$ qiymatlari aniqlanadi.

Keyin korreksiya sxemasini tanlashga o'tiladi. Shuni aytish lozimki, agar kesilish chastotasi ω_k topshiruvchi ta'sir maksimal chastotasidan ikkidan ortiq tartibga katta bo'lsa, korreksiya masalasi nisbatan osonlashadi. Trakselga binoan korreksiya masalasini

$$L(\omega_m) < 33\eta \text{ [db]} \text{ bo'lsa oddiy deb, agar } L(\omega_k) > 33 \cdot n \text{ (db),}$$

(bu yerda $n = \lg \frac{\omega_k}{\omega_m}$) bo'lsa murakkab deb hisoblash mumkin.

2. ABT korreksiyasining ketma-ket sxemasi

Ketma-ket korrektsiyalash sxemasida (1.3-rasm) KQ tizimda boshqa elementlar bilan injenerlik nuqtayi nazaridan mumkin bo'lgan joyda ketma-ket ulanadi.

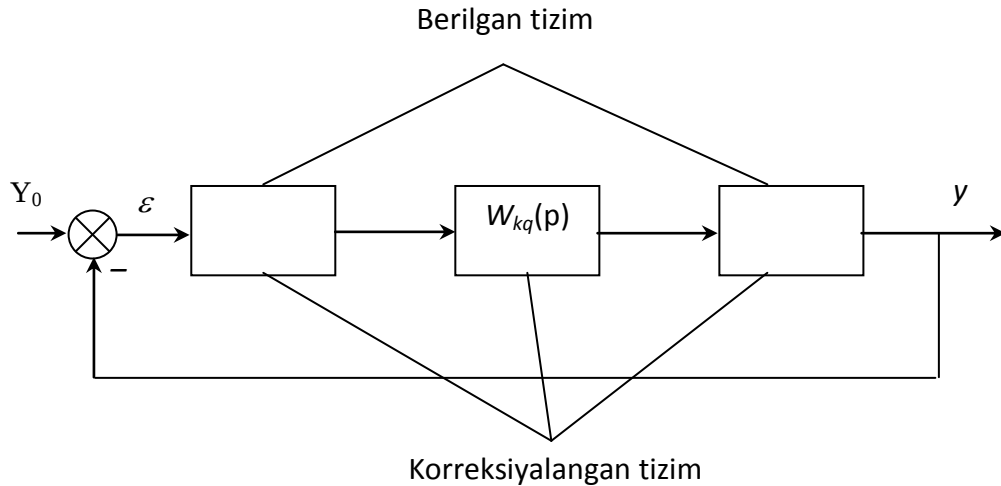
$$W_k(p) = W_d(p) \cdot W_{kq}(p).$$

Shuning uchun

$$L_k(\omega) = L_d(\omega) \cdot L_{kq}(\omega),$$

bundan KQ ning qidirilayotgan LACHX si quyidagicha topiladi:

$$L_{kq}(\omega) = L_k(\omega) - L_d(\omega). \quad (1.6)$$



1.3-rasm. ABTni ketma-ket korreksiyalash.

Agar korreksiyaning ketma-ket sxemasi tanlangan bo'lsa KQ LACHXsi (1.6) 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 $L_{kq}(\omega)$ bo'yicha KQ uzatish funksiyasi topiladi va KQ munosib elementlardan yig'iladi.

1-misol. Kuzatuvchi tizimning struktura sxemasi 1.4-rasmda keltirilgan. Tizimning chastota xarakteristikasi quyidagicha:

$$W_d(j\omega) = \frac{k}{j\omega(1+j\omega T_1)(1+j\omega T_2)},$$

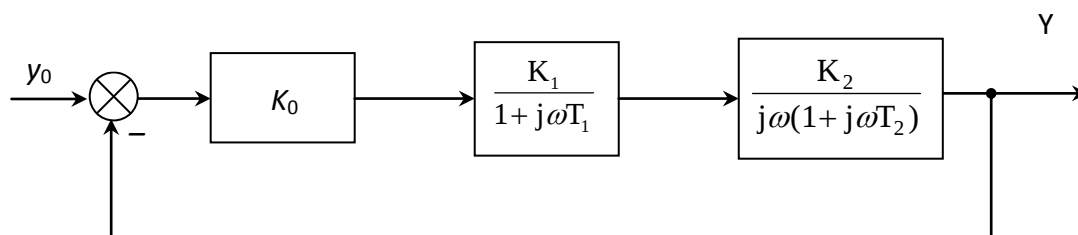
bu yerda $k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 0,4$; $T_1 = 0,0625$ sek; $T_2 = 0,25$ sek.

1. Korreksiya usuliga binoan $L_d(\omega), \varphi_d(\omega)$ ni quramiz (1.5-rasm). $L_d(\omega)$ quyidagi tartibda quriladi:

a) tutash chastotalarni topamiz $T_2^{-1} = 4 \text{ c}^{-1}$, $T_1^{-1} = 16 \text{ c}^{-1}$;

b) ($\omega = 1 \text{ c}^{-1}$, $L_d(1) = 20 \lg k = -8 \text{ db}$) 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.

$$\varphi_d(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \arctg \omega T_1 - \arctg \omega T_2.$$



1.4-rasm. Kuzatuvchi tizimning struktura sxemasi.

2. Texnik topshiriq bo'yicha $L_k(\omega)$ ni quramiz. Texnik topshiriqda quyidagilar ko'rsatilgan:

a) topshiruvchi garmonik ta'sirning maksimal chastotasi

$$\omega_m = 0,0 \text{ sek}^{-1}$$

va mumkin bo'lgan nisbiy xatolik $\frac{e_{\text{joiz}}}{y_{0m}} \leq 0,1\%$; tizim astatizmi $\nu = 1$;

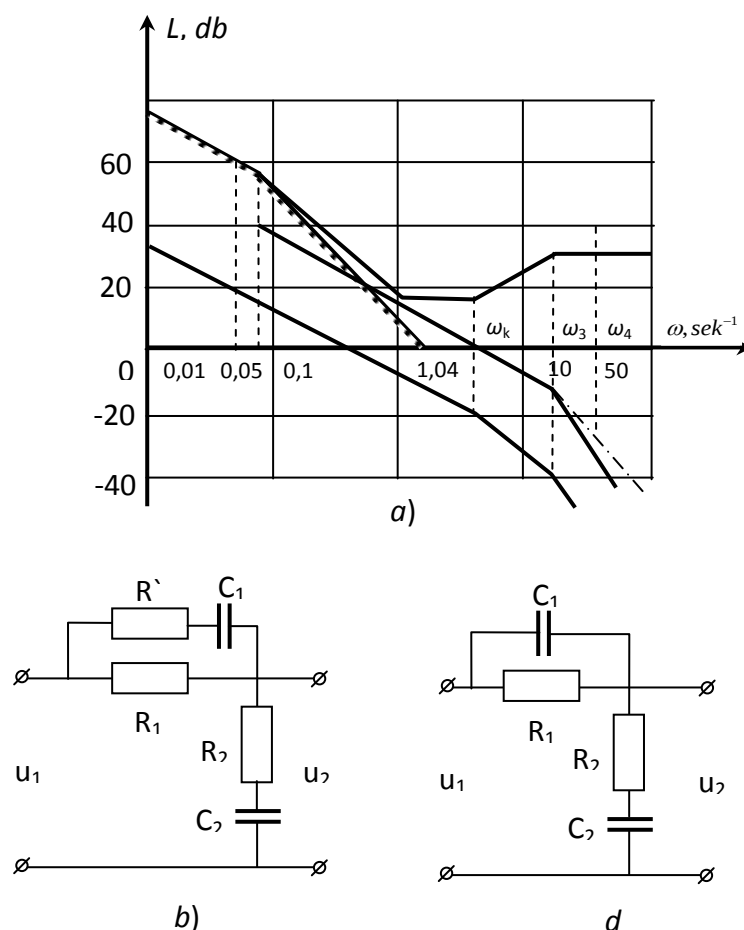
b) rostdash vaqti $t_s \leq 3c$.

Texnik topshiriqqa asosan nazorat nuqta koordinatalarini topamiz $\omega_m = 0,05 \text{ sek}^{-1}$, $L_m = 20 \lg 1000 = 60 \text{ db}$.

Taqiqlangan zonani quramiz. Korreksiyalangan tizim kesilish chastotasini topamiz $\omega_k \cong 4 \frac{\pi}{t_s} \cong 4 \text{ c}^{-1}$ va $(-20) \text{ db/dek}$ og'ish bilan asimptota o'tkazamiz.

$[\omega_2, \omega_k]$, $[\omega_k, \omega_3] \cong 0,6$ kesmalarni shunday tanlaymizki, bunda $\omega_3 = 16 \text{ c}^{-1}$ va $\omega_2 = 1,0 \text{ c}^{-1}$ bo'lsin.

Past chastotali asimptotani o'rta chastotali asimptota bilan tutashtirishni $(-40) \text{ db/dek}$ og'ish bilan amalga oshiramiz (1.5-rasm, a). Yuqori chastotali asimptotani $L_d(\omega)$ dagidek $(-60) \text{ db/dek}$ og'ish bilan o'tkazamiz.



1.5-rasm. **Logarifmik chastotaviy xarakteristika (a) va korrektlovchi zanjirlar (b,d).**

3. Ketma-ket korrektsiyalash sxemasini tanlaymiz. (1.6) dan $L_{kq}(\omega)$ ni topamiz. Bunday KQ ni RC – zanjir ko‘rinishida (1.5-rasm, b) va kuchaytirish koeffitsiyenti 100 ga teng bo‘lgan kuchaytirgichni amalga oshirish yetarlicha oson bo‘lsa-da, KQ ni (1.5-rasm, d) $L_{kq_2}(\omega)$ bo‘yicha amalga oshirish undan ham osonligini ko‘rish qiyin emas. $L_{kq}(\omega)$ ni olish uchun $L_k(\omega)\omega > \omega_3$ 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. $L_{kq}(\omega)$ bo‘yicha quyidagini topamiz:

$$W_{kq_2}(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{100(1 + p\omega_2^{-1})(1 + p\omega_1^{-1})}{(1 + p\omega_1^{-1})(1 + p\omega_4^{-1})}.$$

bu yerda $\omega_1 = 0,08 \text{ c}^{-1}$; $\omega_2 = 1 \text{ c}^{-1}$; $\omega_k = 4 \text{ c}^{-1}$; $\omega_4 = 50,0 \text{ c}^{-1}$.

Korreksiyaovchi qurilmalar jadvalidan kuchaytirgichsiz uzatish funksiyalari uchun nazariy yo‘l bilan aniqlangan (analitik) ifodani topamiz:

$$W_{kq}(p) = \frac{(1 + pR_1C_1)(1 + pR_2C_2)}{R_1R_2C_1C_2p^2 + [R_1C_1(1 + R_2R_1^{-1})R_2C_2] + 1};$$

Uzatish funksiyalarini solishtirib quyidagini topamiz:

$$R_1 C_1 = \omega_2^{-1} = 1 \text{ c}; \quad R_2 C_2 = \omega_c^{-1} = 0,25 \text{ c};$$

$$R_1 R_2 C_1 C_2 = \omega_2^{-1} \omega_4^{-1} = 0,25 \text{ c}^2.$$

$$R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1 = \omega_1^{-1} + \omega_4^{-1} = 12,52 \text{ c}.$$

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 ($R_{to'r} \leq 0,5 \text{ Mom}$); $R_1=0,5 \text{ Mom}$ 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 korrektsiyalovchi qurilmadir, shuningdek, masalan $L_d(\omega)$ si xuddi shunday o'zgaruvchan tokli kuzatuvchi tizimni korrektsiyalash uchun sxemasi boshqacha bo'lgan (ko'priqli RC – zanjir asosida) o'zgaruvchan tokli KQ talab qilingan bo'lar edi.

Nazorat va muhokama savollari

11. Texnik topshiriqda tizimga qanday shartlar qo'yiladi?
12. Texnik topshiriq bo'yicha LACHX nechta sohaga ajratiladi?
13. Zaruriy LFChXsi qanday quriladi?
14. LACHXda kesishish chastotasi qanday hisoblanadi?

**LOGARIFMIK AMPLITUDA-CHASTOTAVIY XARAKTERISTIKA BO'YICHA
KORREKTLOVCHI QURILMALARNI SINTEZ QILISH**

Reja:

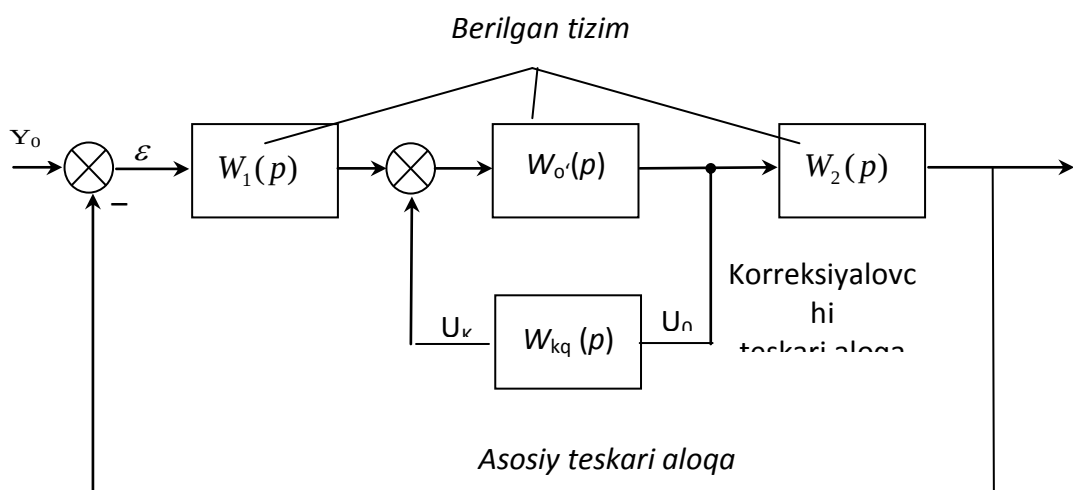
1. Teskari bog'lanish yordamida korreksiyalash
2. Korreksiyalash usullarini qiyosiy baholash

1. Teskari bog'lanish yordamida korreksiyalash

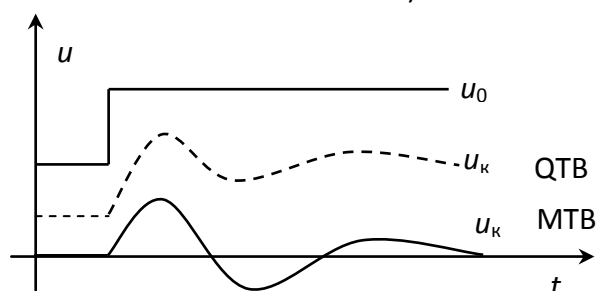
Teskari bog'lanishli korreksiyalash sxemasida (5.6-rasm, *a*) KQ tizimga tizimning $W_{\text{qam}}(p)$ uzatish funksiyali qismini qamrab olish bilan kiritiladi. Manfiy korrektirlovchi teskari bog'lanish qamrab olingan qismning tizim xarakteristikasiga ta'sirini kamaytirish sababli, xarakteristikalarining barqarorligi kichik bo'lgan elementlarni (elektron kuchaytirgichlar, kollektorli dvigatellar va sh.o'.) teskari bog'lanish orqali qamrab olishga intiladi.

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.



a)



b)

1.6-rasm. *Teskari bog‘lanishli korreksiylash sxemasi.*

KQ ni topish usulini ko‘raylik. Korreksiya sxemasidan (1.6-rasm, a) quyidagini olamiz:

$$W_k(p) = W_1(p) \frac{W_{qam}(p)}{1 + W_{qam}(p)W_{kq}(p)} W_2(p) = \frac{W_d(p)}{1 + W_{qam}(p)W_{kq}(p)}.$$

Oxirgi ifoda LChX dan foydalanishga noqulay. Ammo agar chastotaning biror oralig‘ida quyidagini ta’minlash talab etilsa,

$$W_k(j\omega) \cong W_d(j\omega), \quad (1.7)$$

agar quyidagi shart bajarilsa,

$$|W_{qam}(j\omega) \cdot W_{kq}(j\omega)| \ll 1, \quad \text{yoki} \quad L_{qam}(\omega) + L_{kq}(\omega) < 0. \quad (1.8)$$

Chastota boshqa oralig‘ida

$$|W_{qam}(j\omega)W_{kq}(j\omega)| \gg 1, \quad \text{yoki} \quad L_{qam}(\omega) + L_{kq}(\omega) > 0 \quad (1.9)$$

bo'lsa,

$$W_k(j\omega) \cong \frac{W_d(j\omega)}{W_{qam}(j\omega)W_{kq}(j\omega)} = \frac{W_1(j\omega)W_2(j\omega)}{W_{kq}(j\omega)} \quad (1.10)$$

bo'ladi.

Shunday qilib, haqiqatan ham, yuqoridagi ma'lum shartlarda korreksiyalangan tizim xarakteristikalarini tizimning qamrab olingan qismiga bog'liq bo'lmaydi. (1.10) dan $L_{kq}(\omega)$ ni topishga harakat qilamiz.

$$L_{qam}(\omega) + L_{kq}(\omega) = 0 \text{ dagi } \omega', \omega''$$

chastotalar, ya'ni (1.8) yoki (1.9) bajariladigan chastotalar oralig'ining chegaralari teskari bog'lanishli korreksiyadagi tutash chastotalar deb ataladi. $L_{kq}(\omega)$ ni quyidagi tartibda qurish qulay:

1. Dastlabki tizim (LACHX) $L_d(\omega)$ si quriladi.
2. Texnik topshiriq bo'yicha korreksiyalangan tizim LACHX si quriladi.
3. (1.10) ga mos holda, ya'ni $[\omega', \omega'']$ biror chastota oralig'i uchun (1.9) shartidan jamlangan LACHX topiladi:

$$L_{\Sigma}(\omega) = L_{qam}(\omega) + L_{kq}(\omega) - L_k(\omega).$$

4. Texnik imkoniyatlar va xarakteristikalarining beqarorligi asosida tizimdagi qamrab olinuvchi qism belgilanadi.

5. $[\omega', \omega'']$ chastotalar oralig'i uchun

$$L_{kq}(\omega) = L_{\Sigma}(\omega) - L_{qam}(\omega)$$

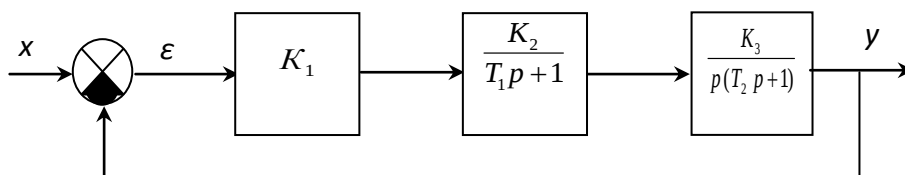
topiladi.

6. $L_{kq}(\omega)$ bo'yicha KQ tanlanadi. Agar uni amalga oshirish qiyin bo'lsa, tizimda qamrab olinuvchi qismning boshqa varianti tanlanadi.

2-misol.

Hisoblash uchun berilgan:

- a) strukturaviy sxemasi



1.7- 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:

$$v = \frac{dx}{dl} = 30 \text{ grad/s};$$

e) sintez qilinayotgan tizimga talablar:

– tezlik xatoligi $\varepsilon_t \leq 0,25 \text{ grad/s};$

– o'tarostlash qiymati $\delta \leq 23 \text{ } \%$;

– o'tkinchi jarayon vaqti $t_o \leq 0,6 \text{ s}.$

Berilgan aniqlik asosida tizimning va oldingi kuchaytirgichning zaruriy uzatish koeffitsiyentlarini aniqlaymiz.

Sistemaning zaruriy uzatish koeffitsiyenti K_z berilgan strukturaviy sxema uchun quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$K_z \geq \frac{v}{\varepsilon_t}.$$

Statik tizimlar uchun:

$$K_z \geq \frac{x - \varepsilon_{st}}{\varepsilon_{st}}, \quad (1.11)$$

bunda, x – kirish ta'sir miqdori, ε_{st} – statik xatolik qiymati. Berilgan son qiymatlarini qo'yib, $K_z \geq 120$ ni topamiz.

Kuchaytirish elementining uzatish koeffitsiyenti quyidagicha topiladi:

$$K_1 = \frac{K_z}{\prod K} = \frac{K_z}{K_2 \cdot K_3}. \quad (1.12)$$

Son qiymatlarni qo'yib, $K_1=1,33$ ni topamiz.

Sistemaning uzatish funksiyalarini topish.

Berilgan tizimning uzatish funksiyalari quyidagi formulalardan topiladi:

$$W_o(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p) = \frac{K_1 K_2 K_3}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (1.13)$$

$$W_b(p) = \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p)} = \frac{K}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + K}, \quad (1.14)$$

bu yerda $K = K_1 K_2 K_3$.

Berilgan tizimning logarifmik chastota xarakteristikasini qurish.

Berilgan tizim ketma-ket ulangan tipik dinamik zvenolardan tashkil topgan. Berilgan ochiq tizimning LACHXsi $L_{bn}(\omega)$ quyidagicha chiziladi: Koordinatalari $\omega=1$ va $20 \lg K = 20 \lg 120 = 41,6 \text{ db}$ nuqtadan -20 db/dek og'malikda $\omega_2 = 1/T_2$

chastotagacha to'g'ri chiziq o'tkazamiz. Keyin ω_2 dan $\omega_1 = 1/T_1$ gacha $L(\omega)$ ning og'maligi -40 db/dek, ω_1 dan boshlab -60 db/dek bo'ladi. Sistemaning LFChXsi $\varphi(\omega)$ alohida zvenolarning $\varphi(\omega)$ lari yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\varphi_{bn}(\omega) = -90^\circ - \arctg \omega T_1 - \arctg \omega T_2. \quad (1.15)$$

Chastota ω ga 0 dan ∞ gacha qiymatlar berib, $\varphi_{bn}(\omega)$ ni hisoblaymiz (1.1-jadval).

Chastotani 0 dan ∞ gacha o'zgarganda $\varphi_{bn}(\omega)$ ning qiymatlari

Chastota, ω	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,00	1,58
$\varphi_{bn}(\omega)$, 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
$\varphi_{bn}(\omega)$, 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
$\varphi_{bn}(\omega)$, grad	- 249,9	- 257,1	- 261,9	- 264,9	- 266,8	- 268,0	- 268,8

Turg'unlik logarifmik mezoniga binoan tizim noturg'unidir, chunki $\omega_{KB} > \omega_{SB}$, bu yerda: ω_{KB} , ω_{SB} berilgan tizimning kesishish va so'nish chastotalari (1.8-rasm).

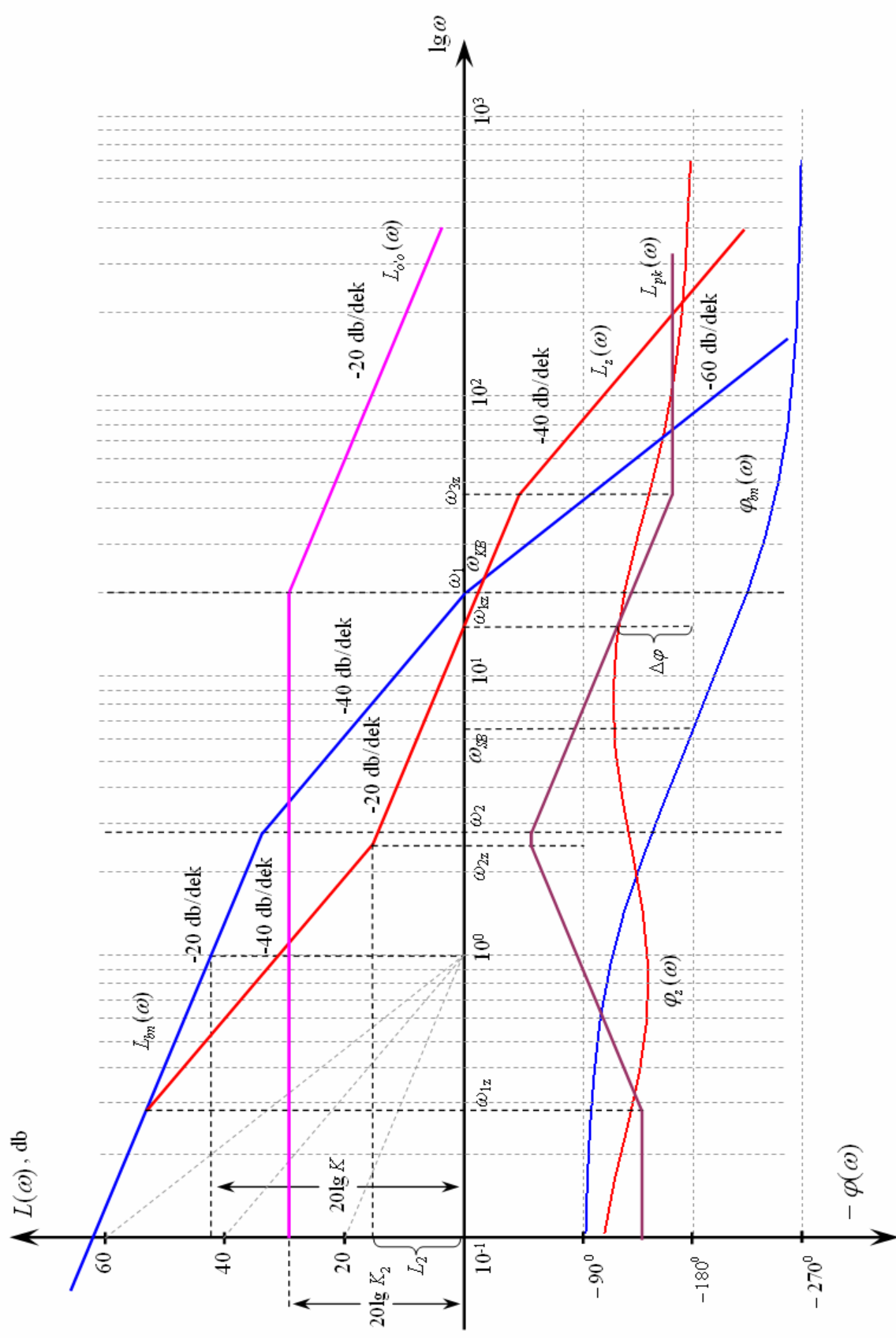
Zaruriy tizimning LACHX va LFChX sini qurish.

Ochiq tizimning zaruriy logarifmik xarakteristkalari loyihalashtirilayotgan tizimga qo'yilgan quyidagi talablar orqali quriladi: kerakli kuchaytirish ko'effitsiyenti, tizimning astatizmi darajasi, o'tkinchi jarayon vaqti, o'ta roslash qiymati.

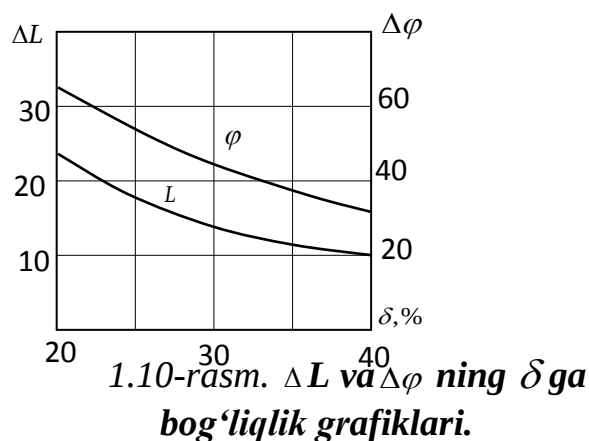
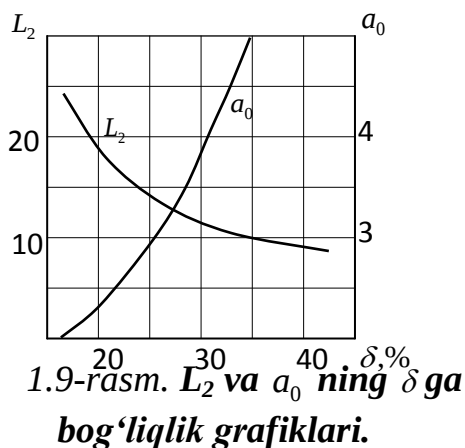
LACHX ning past chastotali qismi ochiq tizimning kuchaytirish ko'effitsiyenti va astatizmi γ darajasi bilan aniqlanadi. Bu qism og'maligi -20γ db/dek ga teng bo'lib, ordinatasi $20lgK$ va abssissasi $\omega=1$ nuqtadan o'tadi, bunda: γ -astatizm tartibi, K -tizimning kerakli kuchaytirish ko'effitsiyenti. Korrektlovchi element sodda bo'lishligi uchun bu qism iloji boricha berilgan tizim LACHXsi bilan ustma-ust tushishi kerak.

Amplitudaviy xarakteristikaning o'rta chastotali qismi eng ahamiyatga ega qismidir, chunki tizimning o'tkinchi jarayon sifati asosan shu qism xakteri bilan aniqlanadi. Kesishish chastotasi ω_{kz} da LACHXning og'maligi -20 db/dek bo'lishi shart. Kesishish chastotasi o'tkinchi jarayon vaqti $t_{o'}$ va o'ta roslash qiymati δ bilan

aniqlanadi: $\omega_{kz} \geq \frac{a_0 \pi}{t_{o'}}$, bunda a_0 ko'effitsiyent δ ga asosan tanlanadi (1.9-rasm).



1.8-rasm. Berilgan va zaruriy sistemaning logarifmik xarakteristikalari.



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 (1.9-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 tizimning 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_o , $L_{bn}(\omega)$): $L_z \rightarrow W_z(p) \rightarrow \varphi_z(\omega) \rightarrow \Delta L, \Delta\varphi \rightarrow$ sifatni baholash.

Qurilayotgan misol uchun $\omega_{kz} = \frac{a_0 \pi}{t_o} = \frac{2,8 \cdot 3,14}{0,6} \approx 15 \text{ c}^{-1} (\lg \omega_{kz} = 1,13)$ 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 $L_1 = L_2 = 12 \div 15 \text{ db}$) L_z ning boshqa qismlarini chizish 5.8-rasmga ko'rsatilgan. $L_z(\omega)$ ga asosan uzatish funksiyasini yozamiz:

$$W_z(p) = \frac{K(T_{2z}p + 1)}{p(T_{1z}p + 1)(T_{3z}p + 1)}. \quad (1.16)$$

Zaruriy tizimning LFChXsi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\varphi_z(\omega) = -90^\circ - \arctg T_{1z} \omega + \arctg T_{2z} \omega - \arctg T_{3z} \omega \quad (1.17)$$

Chastota 0 dan ∞ gacha o'zgarganda $\varphi_z(\omega)$ ning qiymatlari

Chastota, ω	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,00	1,58
$\varphi_z(\omega)$, 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
$\varphi_z(\omega)$, 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
$\varphi_z(\omega)$, grad	-146,2	-156,8	-164,8	-170,3	-173,8	-176,1	-177,6

$L_z(\omega)$ va $\varphi_z(\omega)$ larga asosan amplituda va faza bo'yicha imkoniyatlar ΔL va $\Delta\varphi$ ni topamiz; $\Delta L=\infty$, $\Delta\varphi=65^\circ$ grafikdan aniqlanishicha (1.10-rasm) berilgan $\delta\leq 23\%$ bajarilishi uchun $\Delta L\geq 19\text{db}$, $\Delta\varphi\geq 55^\circ$ bo'lishi kerak. Demak, qurilgan $L_z(\omega)$ tizimga qo'yilgan talablarni qanoatlantiradi.

LChXlar asosida korrektlovchi qurilmani qurish.

Parallel korreksiyaning hisoblash tartibi:

1. Berilgan tizim LACHXsi $L_{bn}(\omega)$ quriladi.
2. Sistemaga qo'yilgan talablar asosida zaruriy tizim 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:

$$L_{pk}(\omega) = L_{bn}(\omega) - L_z(\omega) - L_{o'o}(\omega). \quad (1.18)$$

6. Topilgan $L_{pk}(\omega)$ ga asosan eng sodda korrektlovchi qurilma sxemasi tanlanadi.

Korrektlovchi qurilma ketma-ket ulanganda uning LACHXsi (4 va 5 punktlar o'rniga) quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$L_k(\omega) = L_z(\omega) - L_{bn}(\omega). \quad (1.19)$$

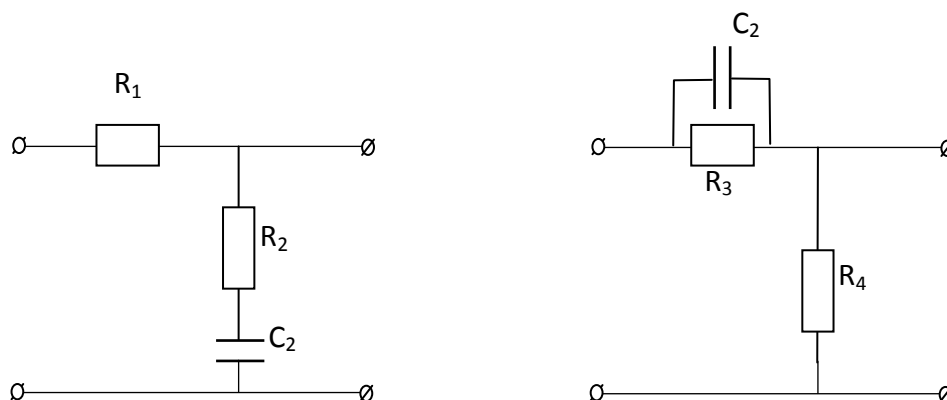
Qaysi xil korreksiyaning tanlash berilgan tizim xususiyatlari va unga qo'yilgan talablarga bog'liq. Ba'zan aralash korreksiya ham qo'llanadi.

Ko'rsatilayotgan misol uchun korrektlovchi elementni uzatish funksiyasi $W_{o'o}(p) = K_2 / (pT_1 + 1)$ bo'lgan zvenoga parallel ulaymiz.

1–6 punktlarni bajarib va o'zgarmas tok korrektlovchi zvenolari jadvallaridan korrektlovchi element LACHXsi va sxemasini topamiz.

$$W_{pk}(p) = \frac{G_o(T_{1z}p + 1)(T_{3z}p + 1)}{(T_{2z}p + 1)(T_2p + 1)}. \quad (1.20)$$

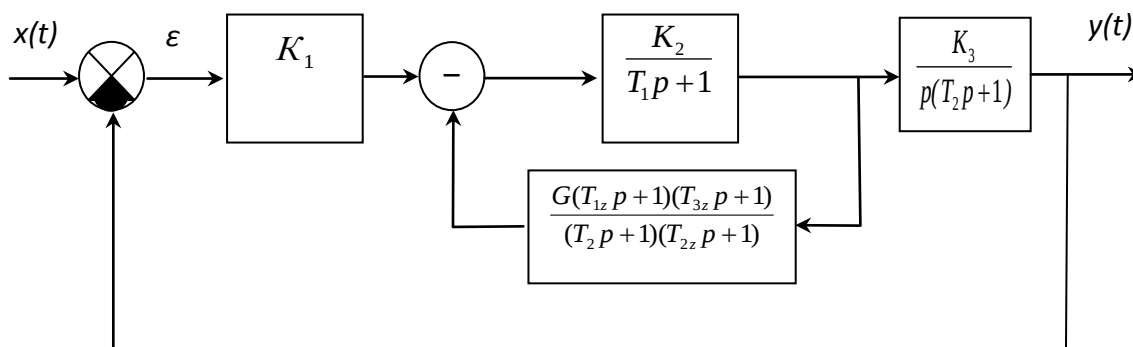
Bu korrektlovchi qurilmani ikkita korrektlovchi tipik zvenolarni, ya'ni differensiallovchi va integrallovchi zvenolarni ketma-ket ulab hosil qilish mumkin (1.11-rasm). Rezistorlar va kondensatorlar qiymati jadvallarda berilgan formulalar va LACHXdan topilgan quyidagi kattaliklar orqali topiladi: $T_{1z}=3,5$ s; $T_2=0,35$ s; $T_{3z}=0,022$ s; $T_{2z}=0,41$ s.



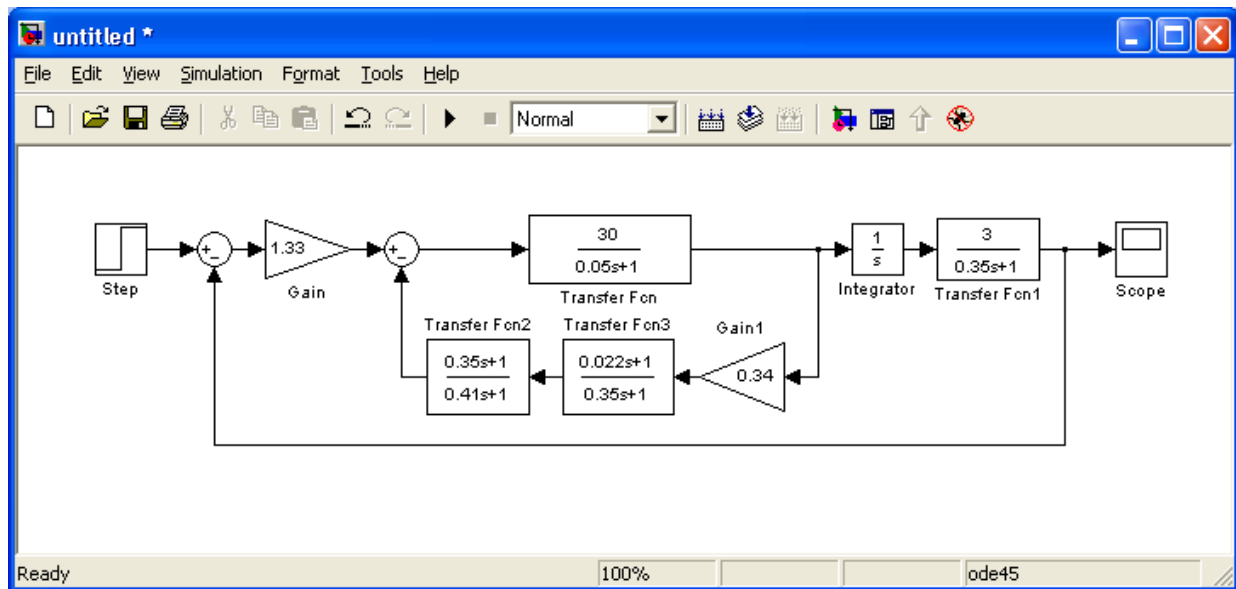
1.11-rasm. Korrektlovchi qurilmaning sxemasi.

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 $W_{ks}(p)$ topiladi. Ko'rilayotgan misolda $W_{ks}(p) = W_z(p)$, shuning uchun keyingi hisoblarda $W_z(p)$ ni ishlatish mumkin. Korrektlangan tizimning strukturaviy sxemasi (1.12-rasm) da berilgan.



1.12-rasm. Korrektlangan tizimning strukturaviy sxemasi.

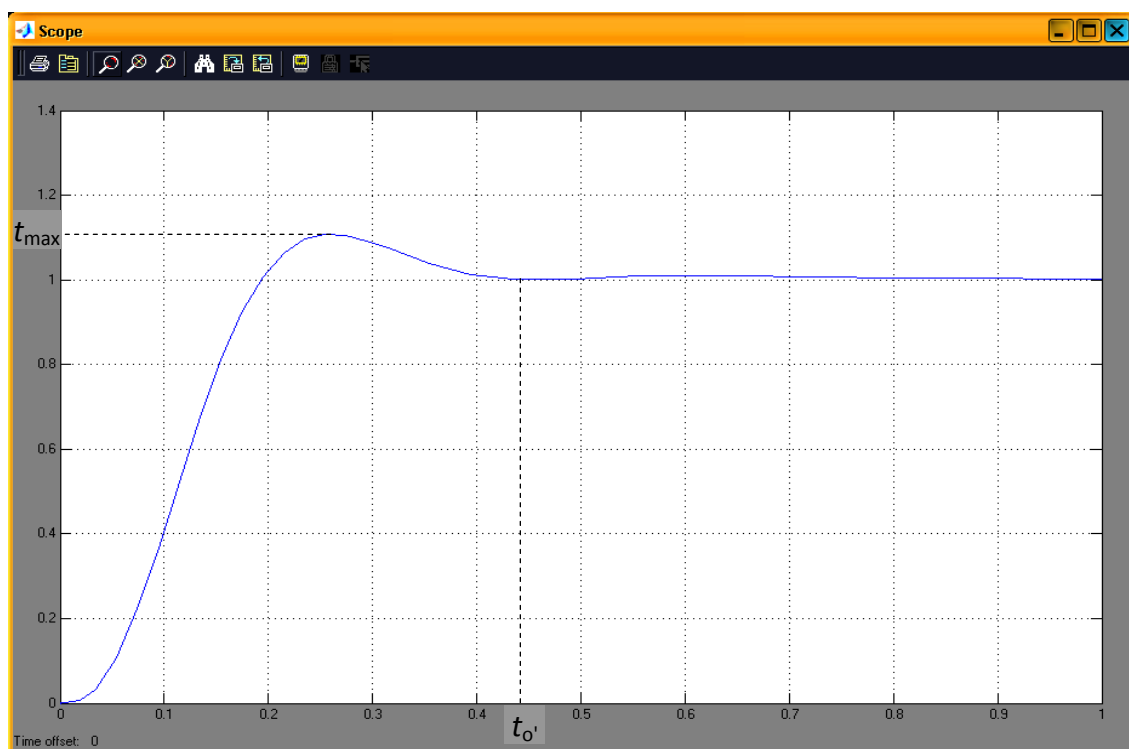


1.13-rasm. **MatLAB** dasturida korrektilangan tizimning strukturaviy sxemasi.

O'tkinchi jarayonni EHMda hisoblash.

O'tkinchi jarayonni har xil usullar yordamida hisoblash mumkin. Kurs ishida korrektilangan tizim o'tkinchi jarayonini EHMda hisoblash uchun tizimni **MatLAB** amaliy dasturi orqali ifodalaymiz. Strukturaga qiymatlarni kiritib (1.13-rasm), o'tkinchi jarayon $h(t)$ xarakteristikasini olamiz.

O'tkinchi jarayon grafigi 1.14-rasmida ko'rsatilgan.



ta'siridagi o'tkinchi jarayon grafigi.

Grafikdan o'ta rostlash qiymatini va o'tkinchi jarayon vaqti $t_0'=0,43$ s ni topamiz.

$$\delta = \frac{h_{\max} - h_{\infty}}{h_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,1 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 10\%$$

Korrektlangan tizimning bu qiymatlari loyihalananayotgan tizimga qo'yilgan talablarni qanoatlantiradi. Aks holda zaruriy tizim LChXsi qaytadan qurilib, yangi korrektlovchi qurilma topilishi lozim.

3. Korreksiyalash usullarini qiyosiy baholash

Ketma-ket korreksiyalashning afzalligi uni amalga oshirishdagi soddaligi va ayniqsa KQ ni RC – zanjiri ko'rinishida bo'lishidadir. 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 ilgarilashni 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 korreksiya amalga oshirish uchun katta datchiklar zarur. Bunday datchiklar qo'pol va qimmat bo'ladi.

Nazorat va muhokama savollari

15. ABTni sintezlash deganda nimani tushunasiz?
16. Sintezlash masalasiga nisbatan qanday fikrlar mavjud?
17. LChXda kesishish chastotasi qanday hisoblanadi?
18. LChXlar asosida korrektlovchi qurilma qanday quriladi?
19. ABT korreksiyasining ketma-ket sxemasini tushuntiring?
20. Teskari bog'lanish yordamida korreksiyalash qanday amalga oshiriladi?