

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMINI
RJVOJLANTIRISH INSTITUTI**

*R.T.Gaziyeva, Z.S.Iskandarov, A.X.Vohidov,
A.S.Majidov, O.J.Pirimov*

AVTOMATIKA ASOSLARI VA VOSITALARI

(AMALIY MASHG'ULOTLAR TO'PLAMI)

*Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari
uchun o'quv qo'llanma*

Taqrizchilar: **TDU** «Elektronika va avtomatika» fakulteti dekani, t. f. d., professor **X.Z.Egamberdiyev**, **TOAI** „Nazariy elektrotexnika" kafedrasining mudiri, t.f.d., professor **M.Ibodullayev**, TIQXMII „Elektrotexnikaning nazariy asoslari" kafedrasining mudiri, t.f.d., professor **S.F. Amirov**

Ushbu o'quv qo'llanma 060013 - „Qishloq xo'jaligini elektrlashtirish va avtomatlashtirish" ta'limi yo'nalishidagi, elektromexanik uskunalarni ta'mirlash va ularga texnik xizmat ko'rsatish yo'nalishidagi 010011, 110002 ixtisosliklari hamda 017008, 017007, 017001, 019013 ixtisoslik yo'nalishlari bo'yicha ta'lim oluvchi kasbhunar kollejlarning talabalari uchun mo'ljallangan. Unda qishloq xo'jaligi sohasida qo'llaniluvchi avtomatlashtirish vositalari, ularni tanlash, hisoblash, avtomatik sistemalarda qo'llash usullari haqida umumiy ma'lumotlar hamda amaliy mashg'ulotlar uchun misol va topshiriqlar keltirilgan.

O'quv qo'llanmadan shu sohadagi bakala'vr va injener-magistrilar ham foydalanishlari mumkin.

SO'ZBOSHI

„Qishloq xo'jaligini elektrlashtirish va avtomatlashtirish" yo'nalishidagi talabalarga mo'ljallangan ushbu o'quv qo'llanmada avtomatlashtirish vositalari va ularning avtomatik boshqarish sistemalarida qo'llanishiga doir amaliy mashg'ulotlar uchun masalalar keltirilgan. Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida avtomatlashtirish elementlari va ularni tanlash, talabga javob beradigan uskunalardan foydalanish haqidagi ma'lumotlarni olish har bir texnik xodim uchun zarur. Mazkur o'quv qo'llanma o'rta maxsus kasb-hunar ta'limi uchun ushbu yo'nalishda o'qitiladigan „Avtomatika asoslari va vositalari" kursiga mo'ljallangan dastur asosida yozildi.

Iqtisodiyotdagi eng asosiy e'tibor, awalo, qishloq xo'jalik xomashyosi va mineral zaxiralarni yana qayta jiddiy ko'rib chiqishga, texnologik jarayonning tugallanganlik darajasini oshirishga qaratilishi lozim. Bunda ilg'or texnologiyalarga, ishlab chiqarishning zamonaviy tuzilmasiga o'tishni ta'min-lash, xomashyo zaxiralarini kompleks qayta ishlovchi tar-moqlarining o'zaro aloqasi sistemasini shakllantirishni ta'minlash muhimdir.

Bugungi kunda texnika taraqqiyoti qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini yuqori sifatli mahsulot yetishtirish uchun zamonaviy agregatlar, asbob-uskunalar bilan ta'minlanishini taqozo etmoqda. Bunday sharoitda ushbu masalalar texnologik jarayonlarda avtomatik boshqarish sistemalarini qo'llash, ularni ishlab chiqarishga joriy etish yo'li bilan hal qilinadi.

Xalq xo'jaligining yetakchi sohalaridan biri bo'lgan qishloq xo'jaligi sohasida ham texnologik jarayonlarning avtomatlashtirilgan boshqarish sistemalari asosiy o'rinni egallaydi. Qishloq xo'jaligi texnologik jarayonlarini avtomatlashtirishdan maqsad og'ir jismoniy mehnatni yengil-lashtirish, ish unumdorligini oshirish, mahsulot tan-narxini kamaytirib yuqori sifatli mahsulot olishdir. Bu sohada joriy etilayotgan avtomatik nazorat, rostdash, masofadan turib boshqarish, blokirovka va signallash vosi-talarini qo'llash mazkur texnologik jarayonda ishtirok etuvchi har bir avtomatlashtirish vositasining texnik-iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini aniqlashni talab qiladi.

Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishidagi texnologik ja-rayonlarni avtomatlashtirishda muhandislar, texnologlar, asosiy ishlab chiqarish bo'linmalarining texniklari, iqti-sodchilari va boshqa mutaxassislar ishtirok etadi. Shu maqsadda ular texnologik jarayonlardagi boshqarish

sis-temalarini analiz va sintez qilish xususiyatlaridan xabardor bo'lishlari muhimdir.

Ushbu qo'llanma o'zbek tilida birinchi bor nashr etilayotgani uchun ayrim xato va kamchiliklardan xoli bo'lmasligi mumkin. Shuning uchun kitobni yaxshilashga qaratilgan o'z fikr va mulohazalaringizni quyidagi manzilga yuborishingizni so'raymiz.

*Toshkent, Navoiy ko'chasi,
30-uy, „O'qituvchi“ nashriyoti.*

***I BOB* | AVTOMATLASHTIRISH VOSITALARINI TANLASH VA HISOBLASH**

Har qanday avtomatlashtirish qurilmasi fizik kattalik-larning sifat va miqdor o'zgarishlarini amalga oshiruvchi, bir-biri bilan bog'langan alohida elementlardan tashkil topgan. Avtomatika elementlari sanoatda seriyali ishlab chiqarilishiga qaramasdan, ko'p hollarda ularni tekshirish talab qilinadi. Qishloq xo'jaligiga xos bo'lgan turli kattalik-larni nazorat qilish uchun birlamchi o'zgartkichlar, datchiklar ishlab chiqilgan. Qishloq xo'jalik mahsulot-larining sifat ko'rsatkichlari yoki texnologik jarayonlarni xarakterlovchi turli noelektrik kattaliklar (masalan, sut mahsulotlari tarkibidagi yog'lar, oqsil, kislota va tuzlar miqdori, meva va sabzavotlarning fizik tarkibi, namlik miqdori, don mahsulotlaridagi oqsil va kraxmal miqdori va hokazo) ana shunday kattaliklardan hisoblanadi. Bundan tashqari qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida dehqonchilik va chorvachilikda texnologik jarayonlarni nazorat qilish va boshqarish uchun katta miqdordagi maxsus datchiklar va o'zgartkichlar kerak bo'ladi. Datchikning asosiy qismi undagi birlamchi o'zgartkich bo'lib, qabul qiluvchi organ hisoblanadi. Bu elementga faqat nazorat qilinayotgan kattalik ta'sir ko'rsatadi va uni kerakli ko'rinishdagi signalga aylantirib beradi. Qabul qiluvchi organlar atrof-muhitning turli ta'sirlariga (namlik va temperaturaning katta oraliqda o'zgarishi, agressiv gazlar, abraziv chang, quyosh radiatsiyasi va boshqalar) hamda avtomatlashtirish obyektini tarafidan ko'rsatiladigan zararli ta'sirlarga (tebranishlar, termik va mexanik yuklamalar, elektromagnit maydon va boshqalar) nisbatan sezuvchan bo'ladi.

Avtomatik rostlash sistemalarining sifatli ishlashi barcha elementlarning to'g'ri tanlanishi va rostlanishiga bog'liq. Buning uchun rostlanuvchi obyekt va ushbu tizimdagi barcha elementlarning xarakteristikalarini bilish zarur.

Tekshiriluvchi obyektlar xilma-xil xususiyatga ega bo'lgani sababli ular bir-biridan tubdan farq qiladi. Ammo ularni tahlil qilishda obyektlar va avtomatik rostlash sistemalaridagi elementlarning bir-biriga o'xshash bo'lgan xususiyatlarini aniqlash va shu xususiyatlar bo'yicha elementar

bo'g'inlarga ajratish maqsadga muvofiq bo'ladi. Namunali bo'g'inlarga ajratilgan obyektlar yoki elementlarning xossalari bilish konkret texnologik jarayonlarni tahlil qilishni yengillashtiradi.

1.1. Avtomatika elementlarining statik va dinamik xarakteristikalarini aniqlash

Ishning maqsadi

1. Elementlarning statik xarakteristikalarini analitik usulda aniqlash.
2. Bo'g'inlarning uzatish funksiyalarini aniqlashni o'r-ganish.

Umumiy ma'lumotlar

Avtomatik rostlash sistemalarining statik va dinamik xususiyatlari tizimdagi tarkibiy elementlarning xossalari orqali aniqlanadi.

Element yoki sistemaning statik xarakteristikasi deb o'atilgan rejim jarayonida chiqish va kirish parametrlarining nisbatiga aytiladi. Bu nisbat analitik va grafik usul bilan ifodalanib, hisoblash yoki tajriba usuli bilan aniqlanadi. Chiziqli va chiziqli bo'lmagan statik xarakteristikalar mavjud. Agar xarakteristika chiziqli tenglamalar orqali ifodalanib, to'g'ri chiziq bilan tasvirlansa, bu chiziqli statik xarakteristika hisoblanadi. Agar o'atilgan ish rejimida element tavsifi chiziqli bo'lmagan tenglama orqali berilsa va xarakteristikasi egri yoki siniq chiziqlar bilan tasvirlansa, bu chiziqli bo'lmagan xarakteristika deb yuritiladi. Lyuft va quruq ishqalanishlar statik xarakteristikalarini chiziqli bo'lmagan ko'rinishga olib keladi.

Sistemaning yoki elementning statik xarakteristikasini analitik usulda aniqlashda turg'unlashgan holat uchun energetik va moddiy balans tenglamalari tuziladi.

Sistema yoki ayrim zvenolarning statik xarakteristikasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$y = f(x), \quad (1.1)$$

bu yerda y —chiqish kattaligi; x —kirish kattaligi.

1-rasmda ABS statik xarakteristikalarining turlari tasvirlangan: 1-rasm a, b dagi statik xarakteristikalar chiziqli, qolganlari esa chiziqli bo'lmagan statik xarakteristikalaridir.

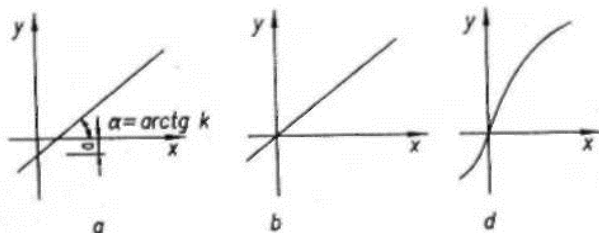
Chiziqli statik xarakteristika (1-rasm, a) analitik ravishda quyidagicha ifodalanadi:

$$y = a + rx, \quad (1.2)$$

bunda a —doimiy kattalik, $r = \text{tga}$ statik xarakteristikaning absissalar o'qi tomon og'ish burchagini ifodalovchi doimiy kattalik.

1-rasm, b ga muvofiq xarakteristika tenglamasi $y = rx$ shaklida yozilishi mumkin, bu yerda r — uzatish koeffitsienti, y sistemaning kuchaytirish koeffitsienti yoki statik xarakteristikaning tikligini ifodalaydi.

1-rasm, d da egri chiziqli xarakteristika, 1-rasm, e da esa uziladigan, chiziqli bo'lmagan statik xarakteristika tasvirlangan. „ a “ — sezgir xonali chiziqli bo'lmagan xarakteristika 1-rasmda keltirilgan. 1-rasmda, eto'yinishli nochiziqli

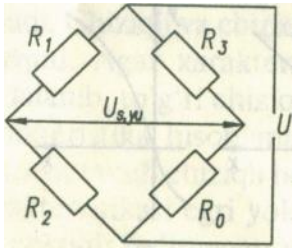


1-rasm. ABS statik xarakteristikalar: a, b - chiziqli statik xarakteristikalar. d — egri chiziqli xarakteristika.

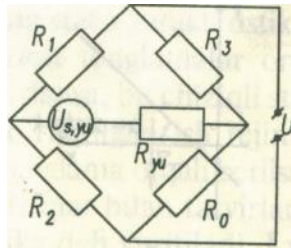
1-rasm Davomi. ABS statik xarakteristikalarini:
 e -eto'yinishli nochiziqli statik xarakteristika, f, g -sezgir xonali, nochiziqli statik xarakteristika, h -gisterzis siritmog'i shaklidagi nochiziqli statik xarakteristika

xarakteristika k'orsatilgan. Nosezgerlik zonasi, to'yinish va sistemaning turli ishlash kattaligiga ega bolgan, gisterezis sirtmo'gi shaklidagi chiziqli b'olmagan xarakteristika 1-rasm, d da keltirilgan.

1-misol. Ko`prik sxemaga ulangan misdan yasalgan temperatura datchigining statik xarakteristikasini hisoblang va uni qurib, to'g'ri chiziqli holga keltiring. Ish temperaturasi $\Theta_0 = 20^\circ\text{C}$. Temperaturaning ruxsat etilgan o'zgarish oralig'i 18 dan 22°C gacha. Ko'prikning hamma yelkasidagi qarshilik va yuklama 50Ω . Datchikning qarshiligi $R_0 = 50\Omega$. Ta'minlovchi kuchlanish $U = 24\text{V}$.



1.2-rasm. Salt ishlash rejimini hisoblash uchun sxema.



1.3-rasm. Qisqa tutashish tokini hisoblash uchun sxema.

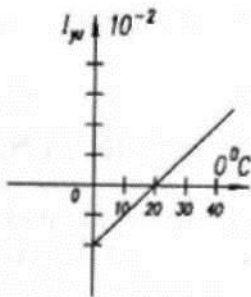
$$R_0 = R_0 [1 + a (0-0)] \tag{1.3}$$

Ifoda yordamida aniqlanadi, bu erda $a = 4 \cdot 10^{-3}$, $1/^\circ\text{C}$ – temperature koefitsienti.

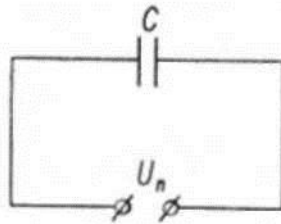
Almashtirish sxemasidan foydalanib, yuklamadagi tokning temperaturaga bog'liqligini aniqlaymiz: $I_n = f(t)$.

1.2-rasmga asosan, $U_{s,yu}$ – salt yurish kuchlanishini topamiz:

$U_{s,yu}$



1.4-rasm. Misdan ishlangan qarshilik termometrining hisobiy-statik xarakteristikasi.



1.5-rasm.

2-misol. Sig'im datchigining statik xarakteristikasini hisoblang, quring va to'g'ri chiziqli holga keltiring. Ish nuqtasi plastinalar orasida ($\delta=3$ mm) joylashgan. Oraliq masofani 1...5 mm chegarada o'zgartirish mumkin. $U_n=48\text{V}$, $f=50\text{Hz}$. Plastinalar yuzasi $S=20 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$. Ulanish sxemasi 1.5-rasmda keltirilgan.

Yechish. Datchikdagi tok quyidagi formuladan topiladi:

$$I_a = \frac{U_n}{X} = U_n \omega C. \quad (1.8)$$

(1.8) tenglamaga $\omega=2\pi f$, $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta}$ qiymatlar qo'yilsa,

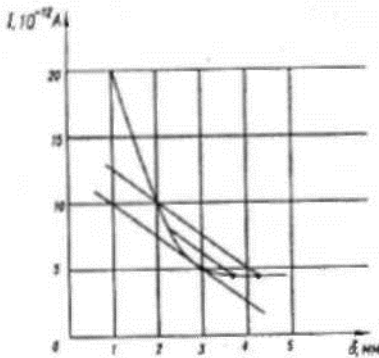
$$I_a = U_n 2\pi f \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{\delta},$$

bu yerda $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m—dielektrik doimiy; ϵ —muhitning dielektrik o'tkazuvchanligi, havo uchun $\epsilon=1$.

(1.9) tenglamaga $\delta=1 \dots 5$ mm qiymatlar qo'yilsa, I_a ning tegishli qiymatlari kelib chiqadi (1.2-jadval). Ushbu qiymatlar asosida sig'im datchigining statik xarakteristikasini quramiz va uni to'g'ri chiziqli holatga keltiramiz (1.6-rasm).

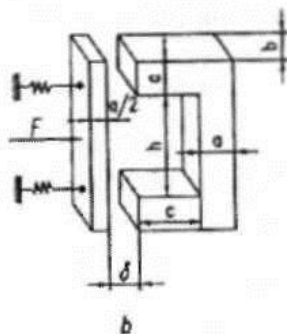
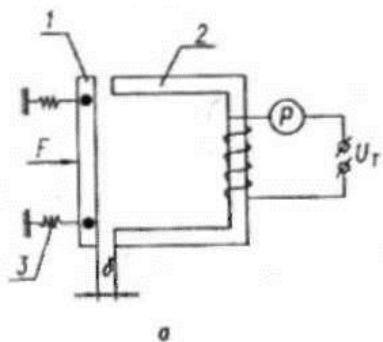
1.2-jadval

δ , mm	1	2	3	4	5
$I, 10^{-2}A$	17,7	9,85	5,9	4,43	3,54



1.6-rasm. Sig'im datchigining hisobiy-statik xarakteristikasi.

3-misol. Fkuch ta'sirida havo oralig'i $\delta=1$ mm dan 10 mm gacha o'zgaruvchi induktiv datchikning xarakteristikasi va ko'rsatkichlarini hisoblang. Datchik 1.7-rasm, a da keltirilgan.



1.7-rasm. Induktiv datchik:

a—datchik sxemasi; *b*—magnit o'tkazgich o'lchamlari.

Datchikni ta'minlovchi kuchlanish $U_T=24V$, magnet sistemaning o'lchamlari $a=b=c=1\text{sm}$, $h=2\text{sm}$.

Ikkilamchi uskuna sifatida o'zgaruvchan tok milliamper-mctridan foydalaniladi. Hisoblashda magnit o'tkazgichning magnit qarshiligi va milliampermetr qarshiligini hisobga olish mumkin.

Yechish. O'zagining qalinligi 0,1 sm ga teng bo'lgan chulg'am o'zagini hisobga olgan holdagi chulg'amlar yuzasi:

$$Q = h \cdot c - 0,1 \cdot (h + 2c) = 2 \cdot 1 - 0,1 \cdot (2 + 2) = 1,6 \text{ sm}^2.$$

Chulg'amdagi o'ramlar sonini aniqlaymiz: $d = 0,49 \text{ mm} = 0,049 \text{ sm}$ diametrlilik $\Pi\Theta$ markali o'tkazgichdan chulg'am uchun foydalanildi, deb qabul qilamiz hamda jadval va grafikdan to'ldirish koeffitsientini topamiz:

$$f_0 = 0,5 \div 0,6.$$

Chulg'amdagi o'ramlar soni

$$w = f_0 \cdot \frac{Q}{q} = 0,55 \cdot \frac{1,6}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,049^2} \approx 468,$$

bu yerda q —o'tkazgich ko'ndalang kesimi yuzasi, sm^2 . O'ramlari sonini $\omega = 460$ ta deb qabul qilamiz.

Chulg'amning aktiv qarshiligi

$$r = p \frac{l_{or} w}{q} = 0,0175 \frac{0,08 \cdot 460}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,49^2} = 34,2 \Omega,$$

bu yerda o'ramning o'rtacha uzunligi $l_{or} = 2(c+a) + 2(c+b) = 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 = 8 \text{ sm}$.

Datchikning induktivligi va induktiv qarshiligini aniqlaymiz.

$$L = \frac{2\pi w^2 S \cdot 10^{-5}}{\delta} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 460^2 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-5}}{8} = \frac{1,33}{8} \cdot 10^{-3} \text{ H};$$

$$X = \omega L = 3,14 \frac{1,33}{8} \cdot 10^{-3} = \frac{0,418}{8} \Omega,$$

bu yerda S — magnit o'tkazgich yuzasi, m^2 , $\omega = 2\pi f$ — burchak chastota ($f = 50 \text{ Hz}$, $\omega = 314$).

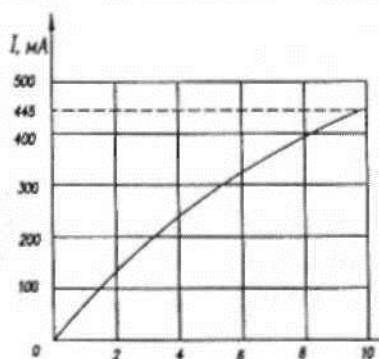
Tok I_n ning havo oralig'iga bog'liqligini topamiz:

$$I_n = \frac{U_t}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}} = \frac{24}{\sqrt{34,2^2 + \left(\frac{0,418}{8}\right)^2}} \text{ A}.$$

δ ga 0 dan 0,01 (har $\Delta \delta = 0,001$ m da) gacha qiymatlar qo'yib, I_n ning qiymatlarini topamiz va xarakteristikalarini quramiz.

1.3- jadval

δ, mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_n, mA	0	57,0	114	168	218	284	312	350	385	415	445



1.8-rasm. Induktiv datchikning statik xarakteristikasi.

Datchikning aktiv qarshiligini hisobga olmagan holdagi sezgirligi:

$$K = \frac{dI_n}{d\delta} = \frac{U \cdot 10^5}{2\pi \cdot \omega^2 \cdot \omega \cdot S} = \frac{24 \cdot 10^5}{6,28 \cdot 460^2 \cdot 314 \cdot 10^{-4}} = 57 \text{ A/m.}$$

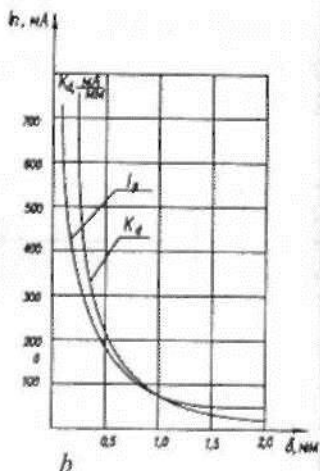
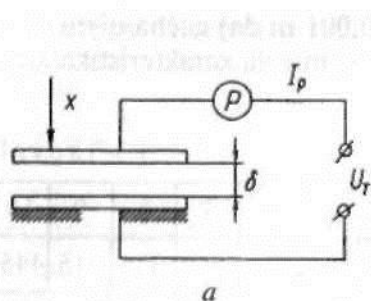
Datchik chulg'amidagi tokning maksimal zichligi:

$$\Delta = \frac{I_n}{q} = \frac{0,445}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,49^2} = 2,36 \text{ A/mm.}$$

Bundan ko'rinadiki, tokning zichligi ruxsat etilgan chegarada joylashgan.

4-misol. Yassi sig'imli siljish datchigining tok bo'yicha sezgirligini aniqlang.

Bunda $\delta = 1$ mm ga teng va u manba kuchlanishini $U = 220$ V ga, chastotani 50 kHz dan 500 kHz ga o'tkaz-



1.9-rasm. Yassi sig'imli siljish datchigi (a) va uning statik karakteristikasi (b).

ganda ortishi mumkin. Datchik toki va sezgirligining havo oralig'iga bog'liqlik grafigini quring.

Datchikning plastinalari orasidagi masofa o'zgaruvchan havo kondensatori ko'rinishida ishlangan bo'lib, plastinalar yuzasi $S=113 \text{ sm}^2$ ga teng.

Yechish. I_n tokni quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz:

$$I_n = \frac{U_t}{x} = \frac{U_t \omega \epsilon_0 S}{\delta},$$

bu yerda $x = \frac{1}{\omega C}$ — datchikning sig'im qarshiligi, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ — havoning dielektrik doimiysi.

a) $f=50 \text{ kHz}$ bo'lganda

$$I_n = \frac{220 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,0113}{\delta} = \frac{6,9}{\delta} \text{ mA};$$

b) $f=500$ bo'lganda

$$I_n = \frac{69}{\delta} \text{ mA}.$$

$\delta = 1 \text{ mm}$ bo'lganda datchikning sezgirligini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$K = \frac{dI_n}{d\delta} = \frac{U_t \omega \epsilon_0 S}{\delta^2};$$

a) $f=50$ kHz bo'lganda

$$K = \frac{69}{\delta^2} = -6,9 \text{ mA/mm};$$

b) $f=500$ kHz bo'lganda

$$K = -\frac{69}{\delta^2} = -69 \text{ mA/mm}.$$

I_n tok va K sezgirlikni δ siljishi kattaligiga ($f=500$ kHz bo'lganda) bog'liqlik grafigini quramiz.

Grafikdan ko'rinadiki, sig'im datchigining sezgirligi manba chastotasiga to'g'ri proporsional va plastinalar orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional.

5-misol. Havo dielektriklikli va yassi plastinali ikki taktli ko'prik sxemali sig'im datchigining ko'rsatkichlarini qabul qiling, datchikning toki va sezgirligini X siljishga bog'liqligini toping.

Kuchlanish $U_T=220$ V, chastota $f=50$ kHz, plastinka yuzasi $S=113$ sm², boshlang'ich havo oralig'i $\delta_0=1$ mm.

Yechish. Teng yelkalarining qabul sharti va uning reaktivligini to'liq tiklash sharti bilan sxema kattaliklarini qabul qilamiz:

$$X_c = X_L = r_{yu} = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2},$$

bu yerda $X_L = \omega L$ — drosselning induktiv qarshiligi; r_{yu} va r_1 , r_2 — yuklama va ko'prik yelkalari qarshiligi; X_c — datchikning sig'im qarshiligi:

$$X_c = \frac{1}{2\omega C_0} = \frac{1 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 2,28 \cdot 10^4 \cdot 100} = 15,9 \text{ k}\Omega,$$

C_0 —yelkaning boshlang'ich sig'imi:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{\delta_0} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,0113}{0,001} \text{ F} = 100 \text{ pF},$$

$r_{yu}=16$ k Ω ; $r_1=r_2=r=2$; $r_{yu}=32$ k Ω ko'rinishida qabul qilamiz, bu yerda minimal quvvat 1 W.

$$\text{Haqiqiy quvvat } \frac{U_1^2}{r_1} = \frac{U_2^2}{r_2} = \frac{\left(\frac{220}{2}\right)^2}{32 \cdot 10^3} = 0,38 \text{ W.}$$

$$\text{Induktivlik } L = \frac{16 \cdot 10^3}{\omega} = \frac{16 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^4} = 0,5 \text{ H.}$$

Chiqish kuchlanishini ikki taktli kondensator havo oralig'iga, ya'ni o'rta plastinali X siljishiga bog'liqligini aniqlaymiz, bu holda yuqori oraliqning sig'imi

$$C_{yuq} = -\frac{\epsilon_0 S}{\delta_0 - x},$$

$$\text{quyi oraliq sig'imi esa } C_{quy} = -\frac{\epsilon_0 S}{\delta_0 + x}.$$

Salt ishlash rejimidagi chiqish kuchlanishi ($r_{yu} = \infty$)

$$U_0 = U_T \frac{x_{quy}}{x_{quy} + x_{yuq}} - U_T \frac{r_1}{r_1 + r_2} \text{ yoki } U_0 = \frac{C_{yuq} - C_{quy}}{C_{yuq} + C_{quy}} \cdot \frac{U_T}{2}.$$

C_{yuq} va C_{quy} uchun formulalardan $U_0 = \frac{x}{2\delta_0} U_T$ ni olamiz, ya'ni $r_{yu} = \infty$ da statik tavsifnoma x ning $-\delta_0$ dan $+\delta_0$ gacha barcha oraliqlarida chiziqli hisoblanadi. Yuklama toki r_{yu} ni siljish x ga nisbatan bog'liqligi

$$I = \frac{U_0}{r_{yu} + Z_{ichki}};$$

bu yerda Z_{ichki} — sxemaning ichki qarshiligi:

$$Z_{ichki} = \frac{r}{2} + jx_L - \frac{1}{\omega(C_{yuq} + C_o)} = \frac{r}{2} + j \left(x_L - \frac{1-x^2/\delta_0^2}{2\omega C_0} \right),$$

bunda

$$I = \frac{x}{2\delta_0} \frac{U}{r_{yu} + \frac{r}{2} + j \left(x_L - \frac{1-x^2/\delta_0^2}{2\omega C_0} \right)}$$

$$\delta_0 = 1\text{mm}, x_c = r_{yu} = \frac{r}{2} = x_L = 16 \text{ k}\Omega$$

$$\text{bo'lganda } I = \frac{110x}{32 \cdot 10^3 + j16 \cdot 10^3 \cdot x^2} = \frac{0,11x}{\sqrt{32^2 + 16^2 x^4}} \text{ A.}$$

Datchik sezgirligi:

$$K = \frac{dI}{dx} = \frac{0,11(32 + j16x^2) - j0,11x^2 \cdot 2 \cdot 16}{(32 - j16x^2)^2} \text{ yoki}$$

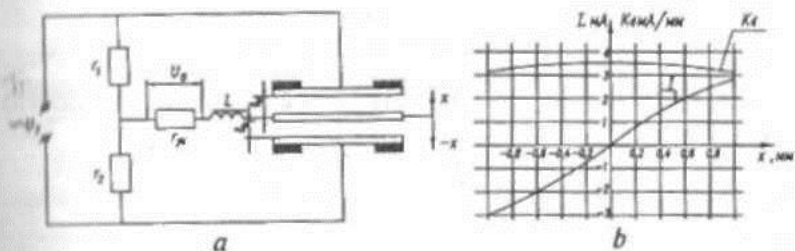
$$K = \frac{3,52 - j1,76x^2}{(32 + j16x^2)^2} = \frac{\sqrt{3,52^2 + 1,76x^4}}{32^2 + 16^2 x^4} \text{ A/mm.}$$

Yuklama toki I va datchik sezgirligi K ni x siljishga bog'liqlik grafiqi 1.11-rasm, b da ko'rsatilgan, sonli ko'rinishda esa quyidagi jadvalda keltirilgan.

1.4- jadval

x, mm	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1
I, mA	3,1	2,63	2,04	1,37	0,7	0	-0,7	-1,37	-2,02	-2,63	-3,1
$K, \frac{\text{mA}}{\text{mm}}$	3,1	3,27	3,35	3,4	3,43	3,44	3,43	3,4	3,31	3,27	3,1

1.10-rasm a, b larda xarakteristikalarini solishtirib quyidagi xulosaga kelsak bo'ladi, ya'ni ko'prik sxemali datchik ikkilamchi qurilmaning ko'rsatkichini tekis o'zgarishini ta'minlaydi, buni $I=f(x)$ bog'liqlikda ko'rish mumkin.

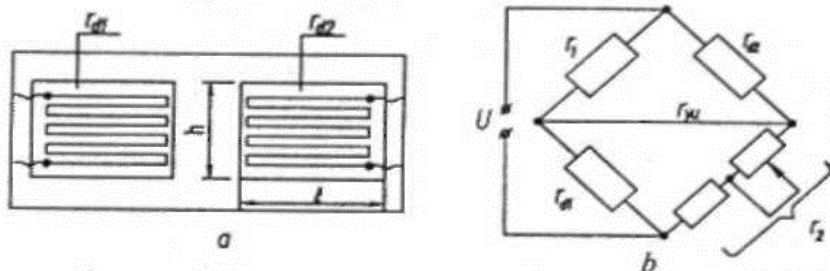


1.10-rasm. Yassi plastinkali ikki taktli ko'prik sxemali sig'im datchigi (a) va uning statik xarakteristikasi (b)

6-misol. Ikki qarama-qarshi yelkasida siqish va cho'zilishni tekshiruvchi konstantan tenzodatchikka ega bo'lgan elementning deformatsiyasini o'lchash uchun qo'llanuvchi ko'priksxemaning statik sezgirlik koeffitsientini aniqlang. Ko'priksyelkalari qiymati:

$$r_1 = r_2 = r_{d1} = r_{d2} = r_{yu} = 1,7 \text{ k}\Omega.$$

Tenzodatchikni metalga yopishtirishda ruxsat etilgan nisbiy sovish yuzasi : $\sigma_0 = 2 \text{ sm}^2/\text{W}$; $l = 2 \text{ sm}$ va $h = 1 \text{ sm}$.



1.11-rasm. Tenzodatchik r_{d1} va r_{d2} larni elementga yopishtirish sxemasi (a) va ularni ulashning ko'priksxemasi (b).

Yechish. Ko'priksni manba kuchlanishini quyidagi formuladan topamiz:

$$\sigma_0 = \frac{S}{P_d},$$

bu yerda $S = 2hl$ — datchikning sovish yuzasi, sm^2 ,

$P_d = \frac{U^2}{4r_d}$ — datchikda tarqaluvchi quvvat, W.

Yuqoridagi ko'rsatkichlarni asosiy formulaga qo'yib quyidagini olamiz:

$$U = \sqrt{\frac{8hl \cdot r_d}{\sigma_0}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 10^3}{2}} = 116 \text{ V},$$

$U = 110 \text{ V}$ deb qabul qilamiz, bu esa σ_0 ning o'sishiga nisbiy ta'sir qiladi.

Tenzodatchikning qisqa tomonlari qarshiliklarini hisobga ulinagan holdagi statik sezgirlik koeffitsienti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$K = \frac{1}{4} n \frac{r_{yu}}{r_{yu} + r_d} \bar{k} U,$$

bu yerda $\bar{k} = \frac{\Delta r / r_d}{\Delta l / l}$ — datchikning nisbiy sezgirlik koeffitsienti ($\bar{k} = 2,2$); n — ko‘prikning aktiv yelkalari soni ($n=1,2$ yoki 4); Δr va Δl — qarshiliklarning o‘zgarishi va datchik uzun tomonlarining egilishi.

Yuqoridagilardan kelib chiqib

$$K = \frac{1}{2} \cdot 2 \frac{1,7 \cdot 10^3}{(1,7 + 1,7) \cdot 10^3} \cdot 2,2 \cdot 110 = 60,5 \text{ V}$$

$\Delta l = 1$ gacha egilishida yoki $0,605 \text{ V}$ 1% nisbiy egilish. Ko‘prikning bitta yelkasidagi quvvat:

$$P_d = \frac{U^2}{4r_d} = \frac{110^2}{4 \cdot 1,7 \cdot 10^3} = 1,78 \text{ W},$$

barcha sxema uchun $P = 4P_d = 7,15 \text{ W}$.

Demak, r_1 va r_2 qarshiliklar quvvat bo‘yicha 2 W dan kam bo‘lmasligi kerak.

7-misol. $\theta_{\text{ber.}} = 600^\circ \text{C}$ li temperaturali avtomatik boshqarish sistemasi (ABS) uchun ikkita termojuftlikdan tashkil topgan temperatura datchigi va 0°C dan 700°C gacha bo‘lgan chegarada temperaturani masofadan o‘lchovchi bitta termojuftlikdan iborat bo‘lgan temperatura datchiklarining statik xarakteristikasini, datchiklarning statik sezgirlik koeffitsientini aniqlang.

Π (millivoltmetr) uskunasi qarshiligi ABS kirish qarshiligiga teng $r_{yu} = 100 \Omega$. Ulovchi simlarning uzunligi $L = 20 \text{ m}$. Kirish temperaturasi kattaligi $\theta_{\text{ber.}} = 500\text{--}700^\circ \text{C}$ oralig‘ida o‘zgarishi mumkin, xona temperaturasi $\theta_{\text{ber.}} = 20^\circ \text{C}$ ga teng.

Obyekt temperaturasi θ_{ob} , berilgan θ_{ber} temperaturadan chetga chiqqanda salt ishlash rejimida ($r_{yu} = \infty$) sxema chiqishida kuchlanish hosil bo'ladi:

$$U_0 = E_1 - E_2 = k(\theta_{ob} - \theta_0),$$

bu yerda E_1 va E_2 —termoelektr yurituvchi kuchlar, mos ravishda θ_{ob} va θ_0 temperaturalarga proporsional, k —termojuftliklar statik sezgirlik koeffitsienti, V/grad.

Sxema chiqishida yuklama kuchlanishi bo'lgan paytda:

$$U_{chiq} = I r_{yu} = \frac{U_0}{r_{yu} + r_{yu}}, \quad r_{yu} = \frac{E_1 - E_2}{1 + \frac{r_{\sigma'}}{r_{yu}}},$$

bu yerda $r_{\sigma'}$ — ulash o'tkazgichlarining qarshiligi.

Masofadan o'lchanayotganda qisqichlarga o'tkazgich simlar magnitoelektrik millivoltmetri Π yordamida ulanadi. $U_{chiq} = f(\theta_{ob})$ statik xarakteristikasiga mos ravishda, uning shkalasi θ_{ob} graduslarda ko'rsatilgan.

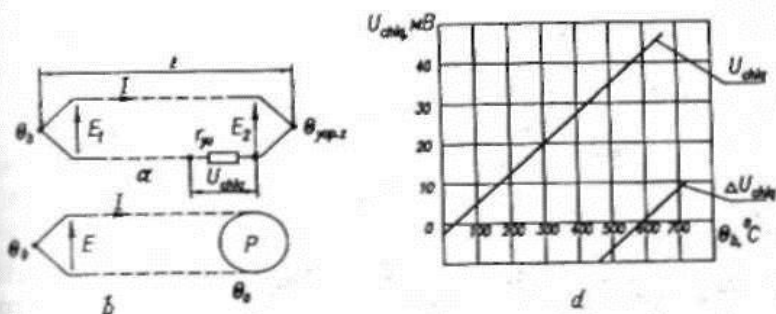
Yechish. $\theta_{ob, max} = 700^\circ\text{C}$ temperatura uchun adabiyotdan juda keng qo'llanuvchi 2 mm diametr o'tkazgichli (ko'ndalang kesim yuzasi $q = 3,14 \text{ mm}^2$) xromel-kopel termojuftlikni qabul qilamiz. Kopelning solishtirma qarshiligi $\rho_k = 0,504$, xromelniki esa $\rho_x = 0,61 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$. O'tkazgichlarning qarshiligi

$$r_{\sigma'} = \rho_k \frac{l_{\sigma'}}{q} + \rho_x \frac{l_x}{q} = (0,504 + 0,61) \frac{20}{3,14} = 7,1 \Omega.$$

Endi $\Delta\theta_{ob} = \pm 100^\circ\text{C}$ oraliq'ida o'zgarishda datchikning statik xarakteristikasini hisoblaymiz.

Yuqoridagi formuladan $\theta_{yop.z.} = 600^\circ\text{C}$, $E_2 = 49 \text{ mV}$ ekanligini hisobga olgan holda quyidagilarni topamiz.

$$\Delta U_{chiq} = \frac{E_1 - 49}{1 + \frac{7,1}{100}} = \frac{E_1 - 49}{1,07} \text{ mV}.$$



1.12-rasm. Termoelektrik temperatura datchigi:

a—temperaturani rostlash uchun termojuftlikning ulanish sxemasi;
b — temperaturani masofadan o'lchash sxemasi; *d* — datchikning statik xarakteristikasi.

1.12-rasm, *b* da keltirilgan datchik uchun $\theta_3 = \theta_0 = 20^\circ\text{C}$ va $E_2 = 1,31$ mV qiymatlarda

$$U_{chiq} = \frac{E_1 - 1,31}{1,07} \text{ mV}$$

bog'liqlik grafisini qurish kattaliklari quyida keltirilgan. Datchikning statik xarakteristikasi 1.12-rasm, *d* da ko'rsatilgan.

1.6- jadval

$\theta_{ob}, ^\circ\text{C}$	0	20	100	200	300	400	500	550	600	650	700
E_1, mV	0	1,31	6,95	14,65	22,9	31,48	40,15	44,5	49	53,4	57,7
ΔU_{mV}^{ob}							-8,3	-4,2	0	4,1	8,2
U_{mV}^{ob}	-1,22	0	5,27	12,20	20,15	28,1	36,2	40,4	44,5	48,7	52,7

Datchik sezgirligining statik koeffitsienti (1.13-rasm, *a*).

$$k = \frac{dU_{chiq}}{d\theta_{ob}} \approx \frac{\Delta U}{\Delta\theta_{ob}} = \frac{8,2+8,3}{700-500} = 8,25 \cdot 10^{-2} \text{ mV / grad}$$

$\theta_{ob} = 0 \rightarrow 20^\circ\text{C}$ da datchik sezgirligining minimal statik koeffitsienti:

$$k_{\min} = \frac{1,22}{20} = 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ mV / grad.}$$

$\theta_{\text{ob}} = 600 + 700^\circ\text{C}$ da maksimal statik koeffitsienti:

$$k_{\max} = \frac{8,3}{700 - 600} = 8,3 \cdot 10^{-2} \text{ mV / grad.}$$

8-misol. 323 K temperaturada qarshiligi 7,5 k Ω bo'lgan, nominal qarshiligi 30 k Ω li KMT-4 tipidagi yarim o'tkazgichli termorezistorning sezgirlikni va temperatura xarakteristikasini aniqlang.

Yechish. Termorezistor qarshiligini T temperaturaga bog'liqligi quyidagi tenglikda keltirilgan:

$$r_T = r_{\infty} e^{\frac{B}{T}},$$

bu yerda r_{∞} va B — doimiy koeffitsientlar.

Yuqoridagi bog'liqlikdan foydalanib, T_1, T_2, r_{293} va r_{323} ning aniq qiymatlari uchun tenglama tuzamiz:

$$r_{293} = r_{\infty} e^{\frac{B}{T_1}} \text{ va } r_{323} = r_{\infty} e^{\frac{B}{T_2}}.$$

Bu tenglamalarni hisoblab, B ning qiymatini aniqlaymiz:

$$B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{r_{293}}{r_{323}} = \frac{293 \cdot 323}{30} \ln \frac{30}{7,5} = 4400 \text{ K.}$$

Berilgan tenglamalardan biriga B ning qiymatini qo'yib, quyidagilarni topamiz:

$$r_{\infty} = r_{293} e^{-\frac{B}{293}} = 30 \cdot e^{-\frac{4400}{293}} = 9,2 \cdot 10^{-3} \Omega.$$

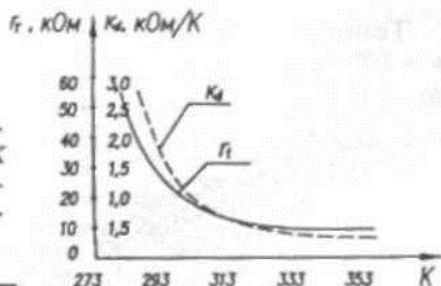
Yuqorida keltirilgan formuladan T ga qiymat berib r_{tef} ni hisoblaymiz va KMT-4 ni temperatura xarakteristikasini quramiz.

Termorezistorning sezgirlik koeffitsienti uchun analitik bog'liqlikdan foydalanib,

$$K = \frac{dr_T}{dT} = -\frac{B}{T^2} \cdot r_T = -\frac{4400}{T^2} \cdot 9,2 \cdot 10^{-3} e^{\frac{4400}{T}},$$

quyidagi rasmda $K=f(T)$ grafisini quramiz (1.13-rasm).

1.13-rasm. KMT-4 termorezistori sezgirlik koeffitsienti K va qarshiligi r_T ning T temperaturaga bog'liqlik xarakteristikasi.



9-misol. Temperaturani qabul qiluvchi organning ko'prik sxemasini hisoblang va ko'prik sxemasini manba kuchlanishi $U=12V$ va temperaturani o'zgarishi $20^\circ C$ dan boshlab ikki xil holat uchun: 1) misli qarshilik termometri datchik sifatida qo'llanganda; 2) KMT-4 yarim o'tkazgichli termorezistor datchigi sifatida qo'llanganda yuklamada kuchlanish va tokning temperaturaga bog'liqligini aniqlash (1.14-rasm *a, b*).

$\theta=0+100^\circ C$ oralig'ida misning qarshiligining temperaturaga bog'liqligini quyidagi tenglamadan hisoblanadi:

$$r_\theta = r_{\theta_0} [1 + \alpha(\theta - \theta_0)],$$

bu yerda $\alpha=42,8 \cdot 10^{-4} 1/^\circ C$ — mis qarshiligining temperatura koeffitsienti, r_{θ_0} — θ_0 da datchikning qarshiligi.

Yechish. Ko'prik sxemasining yelkadagi qarshiliklarining munosabatini uning chiqishidagi eng katta quvvatni olish sharti bo'yicha qabul qilamiz.

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_\theta = r_{yu}.$$

Datchikdan o'tayotgan tok kuchini $I=10+15$ mA oralig'ida qabul qilamiz.

Ko'prik yelkalari teng bo'lganda va $\theta=20^\circ C$ da r_θ quyidagiga teng:

$$r_\theta = \frac{U}{2I} = \frac{12}{2 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 500 \Omega.$$

Temperaturaning boshlang'ich qiymati $\Delta\theta = \theta - \theta_0 = \pm 10^\circ\text{C}$ ga o'zgartirganda misli qarshilik termometri bo'lgan ko'priklarni yuklamasi kuchlanishining bog'liqligini aniqlaymiz.

$$U_{yu} = \frac{U}{r_1 + r_2} r_1 - \frac{U}{r_3 + r_0} r_3 = 12 \left[\frac{500}{500 + 500} - \frac{500}{500 + 500(1 + 4,28 \times 10^{-4} \Delta\theta)} \right] = 6 \left(1 - \frac{1}{1 + 0,00214 \Delta\theta} \right) \text{V.}$$

Yuklama tokining bog'liqligi:

$$I_{yu} = \frac{U_{yu}}{r_{yu} + \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} + \frac{r_3 \cdot r_0}{r_3 + r_0}} = \frac{U_{yu}}{500 + 250 + \frac{500(4,28 \cdot 10^{-4} \Delta\theta)}{2 + 4,08 \cdot 10^{-4} \Delta\theta}} = \frac{U_{yu}(2 + 4,28 \cdot 10^{-4} \Delta\theta)}{2000 + 5,35 \cdot \Delta\theta} \text{A.}$$

Yuqoridagi nominal qarshilik uchun va qarshilik termometrini yarim o'tkazgichli termorezistorga almashtirganda xuddi ana shunday bog'liqlikni aniqlaymiz.

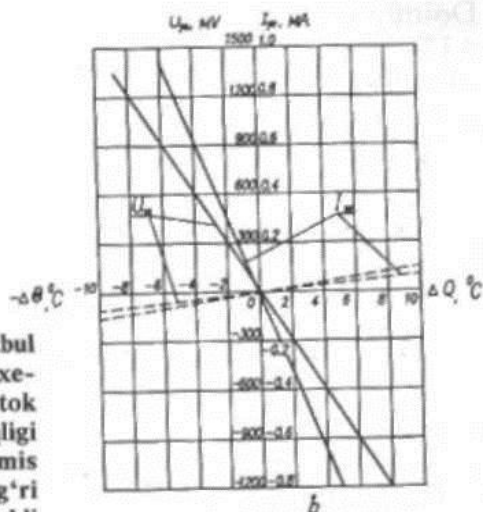
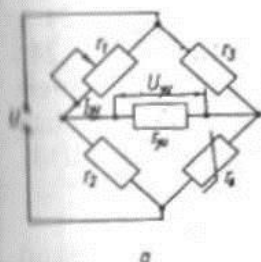
Termorezistorning temperaturaga oid bog'liqlik tenglamasi yuqoridagi misolda aniqlangan, koeffitsienti esa:

$$r_{\infty} = 9,2 \cdot 10^{-3} \frac{500}{30000} = 1,53 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$U_{yu} = 12 \left(\frac{1}{2} - \frac{500}{500 + 1,53 \cdot 10^{-4} e^{\frac{440}{293 + \Delta\theta}}} \right) = 6 - \frac{12}{1 + 0,3 \cdot 10^{-6} e^{\frac{440}{293 + \Delta\theta}}} \text{V.}$$

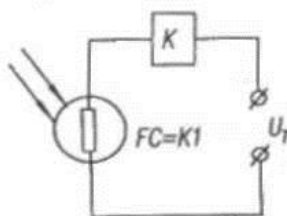
$$I_{yu} = \frac{U_{yu}}{750 + \frac{500 \cdot 1,53 \cdot 10^{-4} e^{\frac{440}{293 + \Delta\theta}}}{500 \cdot 1,53 \cdot 10^{-4} e^{\frac{440}{293 + \Delta\theta}}}} = \frac{\left(1 + 0,3 \cdot 10^{-6} e^{\frac{440}{293 + \Delta\theta}} \right) U_{yu}}{750 + 3,83 \cdot 10^{-4} e^{\frac{440}{293 + \Delta\theta}}} \text{A.}$$

Yuqoridagi formulada hisoblangan temperaturaviy bog'liqlikdan (grafik ko'rishda 1.14-rasm, *b* da ko'rsatilgan) shunday xulosaga kelish mumkin: kuchlanish va tok bo'yicha yarim o'tkazgichli termodatchik qabul qilish organi sezgirligi mis qarshilik termometri qabul qilish organi sezgirligidan 10—12 marta katta bo'lar ekan.



1.14-rasm. Haroratni qabul qiluvchi organning ko'prik sxemasi (a); kuchlanish U_m va tok I_m ning yuklamaga bog'liqligi (b) (punktir chiziq bilan mis qarshilik termometri, to'g'ri chiziq bilan yarim o'tkazgichli termodatchik ko'rsatilgan).

10-misol. $E=200$ lx li yoritilganlikda ishga tushishi zarur bo'lgan fotorelening U_T kuchlanish qaymatini toping (fotorele doimiy tok manbayida ishlaydi). Fotorele FC-K1 fotorezistori va PIIH tipidagi K releidan tashkil topgan (1.15-rasm).



1.15-rasm.

Texnik xarakteristika quyidagi ko'rsatkichlarda berilgan: PIIH chulg'am qarshiligi $r_{ch}=4$ k Ω ; ishga tushish toki $I_{it}=3$ mA; fotorezistor sezgirliigi $k_0=6$ mA/lmV; darcha yuzasi $S=28,8$ mm²; maksimal yoyilish quvvati $P_{max}=0,2$ W.

Yechish. PIIH relesining ishga tushish vaqtidagi kuchlanishi $U_{it}=I_{it} \cdot r_{ch}=3 \cdot 4=12$ W.

Fotorezistorga berilgan kuchlanish quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$I = k_0 \cdot U_f \cdot S \cdot E^\alpha, \alpha = 0,81 \text{ da } U_f = \frac{3}{6 \cdot 28,8 \cdot 10^{-6} \cdot 200^{0,81}} = 24 \text{ V.}$$

Doimiy kuchlanishning qidirilayotgan qiymati $U_T = 24 + 12 = 36$ V. Hisoblangan yoyilish quvvati $R_{\text{his}} = U \cdot I_{\text{it}} = 24 \times 0,003 = 0,072$ W, ya'ni $P_{\text{his}} < P_{\text{max}}$ shart bajarildi. Fotorele qiymatlari fotorezistorga ketma-ket ulangan o'zgaruvchan qarshilik yoki manba kuchlanishini o'zgartirib o'rnatiladi.

I-TOPSHIRIQ

a. Avtomatika elementining statik xarakteristikasini quring va uni chiziqli holatga keltiring.

b. Uzatish koeffitsientini hisoblang.

Vazifalar quyidagi jadvallardan variant bo'yicha tanlanadi.

1,2-jadvallar uchun ko'rsatma

Issqlik uzatish koeffitsienti ξ :

— silindrdan ko'ndalang ravishda o'tuvchi gazlar oqimi uchun:

$$\xi_{\text{gaz}} = C\lambda \left(\frac{v d}{\nu}\right)^n = \frac{C\lambda}{d} RE^n;$$

— silindrdan ko'ndalang ravishda o'tuvchi suyuqlik oqimi uchun:

$$\xi_{\text{suyuq}} = \frac{C\lambda}{d} RE^n Pr^{0,4}.$$

Prandtl mezoni: $P = \frac{\nu}{a}$.

Reynolds mezoni: $Re = \frac{v d}{\nu}$; $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$.

Harorat o'lchanayotgan vaqtda termorezistorlarning vaqt doimiysi $T = mc / \xi \Sigma$,

bu yerda $\xi = (Q_0 + \xi S)$ — issqlik uzatishning yig'indi koeffitsienti.

Silindr shaklidagi devorlar uchun:

$$G_0 = \lambda \frac{2\pi L}{\ln \frac{d_1}{d_2}}.$$

Va-riant	Muhit	Material	Doimiy koeffitsientlar			$\alpha, 1/K$	Ishlash sharoiti		Geometrik o'lchamlari, mm			Mas-sasi, g	Nisbiy issiqlik sig'imi $C, \text{kal/g} \cdot \text{grad}$
			A, $1/K$	B, $1/K^2$	C, $1/K^3$		Muhit temperaturasi, °C	l	d_1	d_2	m		
1	Havo	Platina	3,968 4710^{-3}	5,847 $\cdot 10^{-7}$	-4,22 $\cdot 10^{-13}$		500±20	1					
2							0±5	1	40	4	3,5	2,5	0,032
3							0,2	0,2					
4	Havo	Mis				0,0427	100±10	1	40	4	3,5	2,0	0,092
5	Suv						0,2	0,2					
6	Havo	Nikel				0,0063	200 ± 5	1	40	4	3,5	2,0	0,110
7	Suv					0,0069	60 ± 5	0,2					
8	Havo	Volfram				0,0062	200 ± 5	1	40	4	3,5	2,0	0,034
9	Suv					0,0048	80 ± 5	0,2					
10	Havo	Tantal				0,0035	200 ± 5	1	40	4	3,5	2,0	0,033

Barcha turdagi datchiklar uchun $t = 20^\circ\text{C}$ da $R_0 = 500 \Omega$ deb qabul qilish mumkin.

1.2-jadval

Va-riant	Muhit	Termistor turi	Doimiy kattalik A (nominal qarshilik), kΩ	Doimiy kattalik B, K · 10 ²	Ish temperaturasi oraliqi, °C	Ish temperaturasi, °C	Muhitning harakat tezligi, v, m/s	Siralayotgan material o'lchamlari, mm		Masa, g	Nisbiy issiqlik sig'imi C, kal/g·grad	
								l, d ₁	d ₂			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Havo	KMT-1	22	36	-60... +180	100 ± 10 100 ± 10	0,3 ± 0,05 0,5 ± 0,05	12	2,8	2,3	1,5	0,11
2												
3	Havo	MMT-1	1	43		100 ± 5 0 ± 5	0,3 ± 0,03 0,5 ± 0,05	12	2,8	2,3	1,5	0,10
4												
5	Havo	KMT-4	22	36	-60... +125	20 ± 5 0 ± 5	0,3 ± 0,05 0,5 ± 0,05	24	4	3,5	4	0,11
6												
7	Havo	MMT-4	1	43		0 ± 5 100 ± 5	0,3 ± 0,05 0,5 ± 0,05	24	4	3,5	4	0,10
8												
9	Havo	KMT-10	100	36	0...+125	20 ± 5 20 ± 5	0,3 ± 0,05 0,5 ± 0,05	20	4	3,5	3,5	0,11
10												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	Havo	KMT-14	0,51	41	-10... +300	100±15 100±15	0,3±0,05 0,5±0,05	80	4	3,5	5	0,2
12												
13	Suv	KMT-1	22	36	-60... +180	60 ± 2 80 ± 2	0,5±0,05 0,5±0,05	12	2,8	2,3	1,5	0,11
14												
15	Suv	MMT-1	1	43		60 ± 2 20 ± 2	0,5±0,05 0,5±0,05	12	2,8	2,3	1,5	0,11
16												
17	Suv	KMT-4	22	36	-60... +125	60 ± 2 20 ± 2	0,5±0,05 0,5±0,05	24	4	3,5	4	0,11
18												
19	Suv	MMT-4	1	43		60 ± 2 20 ± 2	0,5±0,05 0,5±0,05	24	4	3,5	4	0,1
20												
21	Suv	KMT-10	100	36	0...+125	60 ± 2 60 ± 2	0,5±0,05 0,5±0,05	20	4	3,5	3,5	0,1
22												
23	Suv	KMT-14	0,51	41	-10... +300	80 ± 2 60 ± 2	0,5±0,05 0,5±0,05	80	4	3,5	5	0,2
24												

Agar termorezistorlar termooanemometr sifatida ishlatilsa ularning vaqt doimiysi

$$T = \frac{mc}{G_0 + (\xi + \Delta\xi)S}$$

bu yerda $\Delta\xi$ —muhitning harakatlanish tezligi o'zgargai vaqtda issiqlik uzatish koeffitsientining o'zgarishi.

IITP dan o'tuvchi tok $I=1,0$ mA, devor va atmosfer harorati 20 °C deb qabul qilinsin.

Differensial tenglama tuzish vaqtida muhitning issiqli o'tkazuvchanligi hisobga olinmaydi.

1.2. Rele-kontaktli sxemalar analizi va sinteziga doir misollar

Ishning maqsadi

1. Rele-kontaktli sxemalarni kontaktsiz sxemalarga almashtirishni o'rganish.

2. Mantiqiy algebra qonunlarini avtomatlashtirish sxemalariga tatbiq etishni o'rganish.

Umumiy ma'lumotlar

Avtomatlashtirish sxemalarini loyihalashda imkon boricha eng kam elementlardan ishonchli ishlashi mumkin bo'lgan sxemalarni tuzishga harakat qilinadi.

Rele qurilmalarining analitik nazariyasidan foydalanil avtomatlashtirish sistemalarini loyihalash va ishlab chiqarishning birinchi bosqichini o'z ichiga oluvchi sxemalarni eng kam sonli elementlar bilan ta'minlashni o'z zimmasiga oladi.

Rele sxemalarni analitik shaklda yozishda quyidagi belgilashlar kiritilgan:

A, B, \dots, X, Y, \dots —qabul qiluvchi, oraliq va ijro elementlari (ularning ish chulg'amlari):

a, b, \dots, x, y, \dots —qo'shiluvchi kontaktlar;

$\bar{a}, \bar{b}, \dots, \bar{x}, \bar{y}, \dots$ — ajratuvchi kontaktlar;

$a+b$ — kontaktlarning parallel ulanishi;
 $a * b$ — kontaktlarning ketma-ket ulanishi;
 1 — doimiy ulangan zanjir (signal bor);
 0 — doimiy uzilgan zanjir (signal yo'q);
 f — kontaktlarning tarkibiy tuzilish tenglamasi;
 F — umumiy sxemalarning tarkibiy tuzilish tenglamasi.

Releli mantiqiy elementlarni analiz va sintez qilish uchun quyidagi mantiqiy algebra qonuniyatlaridan foydulaniladi:

$a \cdot 1 = a;$	$a + 1 = 1;$
$a \cdot 0 = 0;$	$a + 0 = a;$
$a \cdot a \cdot a = a;$	$a + a + a = a;$
$a + ab = a(1+b) = a;$	$a(a + b) = a;$
$a + \bar{a}b = a + b;$	$\bar{a} + a\bar{b} = \bar{a} + \bar{b}.$


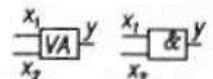
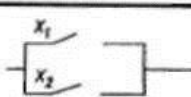
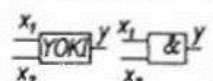

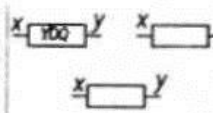
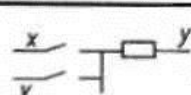

Shunday qilib, rele-kontaktli sxemalarni quyidagi tartibda kontaktsiz sxemalar ko'rinishiga keltirish mumkin.

1. Berilgan sxemadagi rele kontaktlari, kontaktorlar, magnit ishga tushirgichlar malum signallarga almashtiriladi (kichik lotin harflari shaklida belgilanadi — a,b...). Rele galtaklari, kontaktorlar, magnit ishga tushirgichlarga kiruvchi signallar katta lotin harfi bilan belgilanadi. Bitta element-in tegishli bo'lgan kontaktlar bir xil belgi bilan belgilanadi.

2. Signallar uch turga ajratiladi: kiruvchi, oraliq, chiquvchi. Kiruvchi signallarga tugmachalar, datchiklarning kontaktlari, oxirgi uzgichlar guruhleri kiradi. Oraliq signallarga oraliq rele, rele kontaktorlarning blok-kontaktorlari, magnit ishga tushirgichlar kiradi. Chiquvchi nallarga rele-g'altaklari, kontaktorlar va magnit ishga In liirgichlarga kiruvchi signallar guruhleri kiradi.

3. Har bir chiquvchi signal uchun mantiqiy bog'la nishlar yoziladi. Mantiqiy algebra qonunlariga ko'ra kontaktlar va umumiy rele sxemasi uchun tarkibiy tuzilish tenglamasi: avval kirish signallari, qayta bog'lanishga ega bo'lmagan oraliq signallar uchun, so'ngra qayta bog'lanishli signallar hamda, oxirida, chiqish signallari uchun yoziladi.

4. Yozilgan mantiqiy bog'lanishlar asosida mantiqiy bldl sxema quriladi. Bunday sxemalarda faqat mantiqiy bogfl lanishlar ko'rsatiladi, yordamchi elementlar hamda tafl minlash zanjirlari berilmaydi. Buning uchun quyidafl jadvaldan foydalanish mumkin:

Rele ekvivalenti	Mantiqiy bog'-lanish nomi	Belgilanishi
	Mantiqiy ko'paytiruv $y = x_1 \cdot x_2$	
	Mantiqiy qo'shish YO'KI; V $y = x_1 + x_2$	
	Man qilish, YO'Q, - X	
	Qaytarish, $y = kx$	

Avtomatik qunlmalarni analiz qilishda sxemalarni soddalashtirish hamda analitik usulda sintez qilish maqsadida quyidagi misollarni ko'rib chiqamiz:

11-misol. 1.16-rasmda keltirilgan rele g'altagi K ning ulanish sxemasini soddalashtiring.

Yechish. Bu sxemaning tarkibiy tuzilish tenglamasini yozamiz:

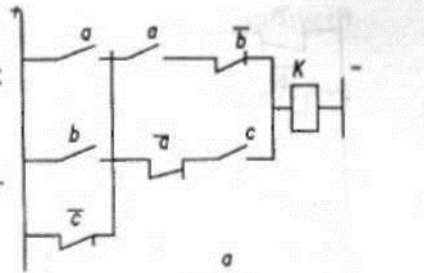
$$F = (a + b + \bar{c})(a\bar{b} + a\bar{c})K$$

Qavslardagi ifodalarni ko'paytirib soddalashtirsak:

Bu yerda

$$F = (aa\bar{b} + \bar{a}ca + ab\bar{b} + \bar{a}bc + a\bar{b}\bar{c} + \bar{a}\bar{c}c)K$$

Bu yerda $a\bar{a}c=0$; $ab\bar{b}=0$;
 $\bar{a}c\bar{c}=0$; $a\bar{a}b=a\bar{b}$ bo'lgani uchun:
 $F=[a\bar{b}(1+c)+\bar{a}bc]K$.
 $(1+\bar{c})=1$ bo'lgani uchun teng-
 lamaning oxirgi ko'rinishi:
 $F=(a\bar{b}+a\bar{b}c)K$.



1.16-rasm, a.

Ushbu tenglama asosida 1.16-rasm, *b* da keltirilgan sxemani qurish mumkin.

12-misol. Kontaktli sxema uchun quyidagi tarkibiy tuzilish tenglamasi berilgan:

$$F = \left\{ x \left[(y + b)x + y(z + \bar{x}y) \right] - \bar{x} \left[(y + c)x + (a + \bar{a}\bar{x})y \right] \right\} K.$$

Ushbu tenglama asosida rele *K* ning ulanish sxemasini tuzing va ekvivalent soddalashgan sxemasini toping.

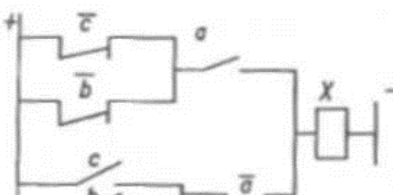
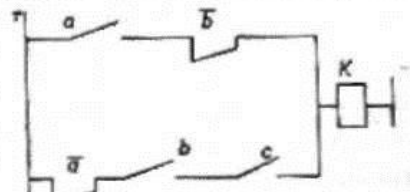
Yechish. Berilgan tarkibiy tuzilish tenglamasi asosida chizilgan rele *K* ning ulanish sxemasi 1.16-rasm, *a* da keltirilgan. Bu yerda kontaktlar o'rniga ularning shartli belgilanishlari ko'rsatilgan.

Kontaktlar uchun tenglamadagi qavslarni ochamiz:

$$f = xy + xb + xyz + x\bar{x}y + \bar{x}xc + xay + \bar{a}\bar{x}y.$$

Bu yerda $f = xy(1 + z) + \bar{x}y(a + \bar{a}) + xb = y + xb$.

Ushbu tenglamaning oxirgi ko'rinishiga mos keluvchi soddalashtirilgan sxema 1.16-rasm, *b* da keltirilgan. Bu sxemadan ko'rinib turibdiki, yuqorida berilgan sxemaga nisbatan uning kontaktlari besh marta kam, lekin sxema ishonchli va yilda ko'rinishga ega.



13-misol. Ijrochi elementning (*X*) shunday boshqaruv sxemasini tuzingki, *A, B, C* rele datchiklarining uchta kontaktlaridan har

Bu tenglamaga asosan f_1 sxemasiga ketma-ket ulangan X elementi faqat a yoki b yoki c kontaktlar ulangan holdagina ishga tushishi mumkin. Bu holat X elementni ikkita har qanday kontakt orqali ishga tushirishda quyidagi tarkibiy tuzilish tenglamasi o'rinli bo'ladi:

$$f_2 = ab\bar{c} + a\bar{b}c + \bar{a}bc.$$

Yuqorida ikkala shartni birlashtirib berilgan sxemaning tarkibiy tuzilish tenglamasini yozish mumkin:

$$F = (a\bar{b}\bar{c} + \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}\bar{b}c + ab\bar{c} + a\bar{b}c + \bar{a}bc)X.$$

Bu tenglamani soddalashtirib, oltita kontaktli sxema tenglamasini yozamiz:

$$F = [a(\bar{c} + \bar{b}) + \bar{a}(c + b)]X.$$

14-misol. Don quritish mashinasi issiqlik tashuvchisi drossel qopqog'ining chegaraviy holatini rostlovchi tovush va yorug'lik yordamida signal berish elektr sxemasini tuzing.

Sxemada ikkita A va B o'tkazuvchi kontaktli oxirgi uzgich (ajratkich)lardan foydalanish kerak: C—sirena va ikkita signal lampalar: HL2—maksimal ochilishni ko'rsatuvchi

qizil rangli lampa; $HL1$ —minimal ochilishni ko'rsatuvchi yashil rangli lampa.

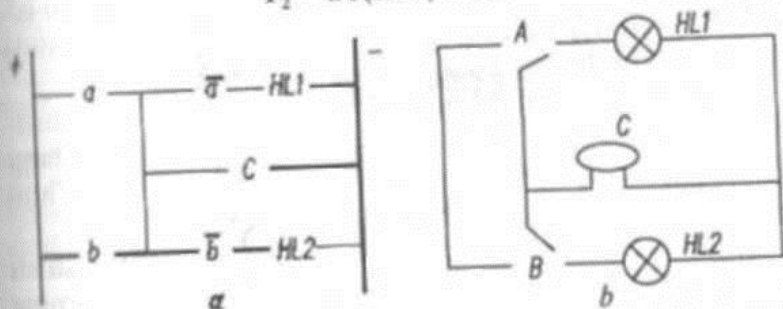
Yechish. A va B oxirgi o'chirgichlarning qo'shiluvchi va ajratuvchi kontaktlarini mos ravishda a, b va \bar{a}, \bar{b} ko'rinishda belgilaymiz.

Qizil lampa va sirenani A o'chirgich bilan ishdan to'xtash shartini yozamiz:

$$F_1 = a\bar{b}(HL1) + aC.$$

Yashil lampa va sirenani B o'chirgich bilan ishdan to'xtatish shartini yozamiz:

$$F_2 = \bar{a}b(HL1) + bC.$$



1.18-rasm. Drossel qopqog'ining chegaraviy holati haqida tovush va yorug'lik yordamida signal berish tarkibiy (a) va elektr sxemalari (b).

Bu shartlar asosida umumiy tenglamaning tarkibiy tuzilish sxemasini yozish mumkin:

$$F = F_1 + F_2 = a\bar{b}(HL2) + \bar{a}b(HL1) + (a + b)C.$$

Ushbu tenglamaga mos keluvchi sxemaning ishlash sharti shuki, bu holda A va B o'tkazgichlar uctadan kontaktga ega bo'lishi kerak. Shuning uchun bu sxemani algebra qonunida mavjud bo'lgan ifodalar yordamida soddalashtirish mumkin. Oxirgi ifodaga ikkita nolga tenglashtirilgan qiymatlar qo'shilsa:

$$a\bar{a}(HL1) = 0,$$

bu holda

$$F = (a + b)\bar{b}(HL2) + (a + b)\bar{a}(HL1) + (a + b)C \text{ yoki}$$

$$F = (a + b)[\bar{b}(HL2) + \bar{a}(HL1) + C].$$

Ushbu tarkibiy tuzilish tenglamasiga mos keluvchi sxemalar 1.18-rasm, a, b larda keltirilgan. Drossel qopqog'i to'liq ochilganda oxirgi uzgich A qizil lampa HL2 va sirena C ni ishga tushiradi, drossel qopqog'i to'liq yopilganda B o'chirgich yashil lampa HL1 va sirena C ni ishga tushiradi.

15-misol. Beshta reledan $K1, K2, K3, K4, K5$ taslikil topgan shunday boshqarish sxemasi tuzingki, A — qabul qiluvchi element ishga tushgan vaqtda relelar ketma-kefl ishga tushsin, so'ngra shu tartibda ishdan to'xtasin. Bu ish sikli A qabul qiluvchi element ishlab turgan vaqt davomida doimiy ravishda qaytarilib tursin.

Yechish. Bu tipdagi sxema ko'p taktli sxemalar guru-higa kiradi. Ularning yuqoridagi bir taktli sxemalardan farqi shundaki, alohida elementlarning vaqt davomidagi ma'lum harakat ketma-ketligi kuzatiladi.

Jarayonni soddalashtirish maqsadida ishga tushish jadvali tuziladi, bu yerda sxemadagi barcha elementlarning holati yoziladi: ishlayotgan elementlar (+) ishorasi, to'xtab turgan elementlar (-) ishorasi bilan belgilanadi. Ko'p taktli elementlarni analiz qilishda vaqt diagramma-laridan foydalaniladi.

Ishga tushish jadvalini tuzish. Barcha ketma-ket ishga tushuvchi elementlar jadvalning birinchi ustuniga yoziladi, qolgan ustunlarda ularning taktlarga mos keluvchi holatlari belgilanadi (1.19-rasm, a). Nolinchi (boshlang'ich) takt! barcha elementlar uzilgan holda, ya'ni minus ishorasi bilan ko'rsatilgan. Birinchi takt! qabul qiluvchi element-A ishga tushadi va ikkinchi takt! $K1$ relesini ishga tushirishga chaqiradi. $K1$ relesi uchinchi takt! $K2$ relesini ishga tushiradi va hokazo. Yettinchi takt! dan boshlab barcha relelar shu tartibda ishdan to'xtay boshlaydi, o'n ikkinchi takt! dan boshlab yana relelarning ish sikli takrorlanadi.

Ba'zan ishga tushish jadvali boshqacha tartibda tuzilishi mumkin. Bu holda elementlarning belgilari faqat nolinchi tikt ustuniga yoziladi, ishlash davrlari esa qalin chiziq bilan belgilanadi. Masalan, $K1$ relesi birinchi ishga tushish il.ivii uchun ikkinchi taktdan oltinchi taktgacha qalin chiziq bilan belgilanadi, ikkinchi davr esa o'n ikkinchi Inktdan boshlanadi.

Sxemaning sintezi. Tarkibiy tuzilishlari sodda bo'lgani uchun awal $K2, K3, K4$ va $K5$ relelar uchun, so'ngra $K1$ relesi uchun tarkibiy tuzilish sxemasini tuzamiz. $K2$ elementi $K1$ relesi kontaktlari yordamida ishlaydi, shuning uchun $F_2 = k_1 K_2$, analogik usulda quyidagilarm yozish mumkin:

$$F_3 = k_2 K, \quad F_4 = k_3 K, \quad F_5 = k_4 K.$$

Ishga tushirish jadvalidan ko'rinadiki $K1$ relesi A elementi kontaktlari qo'shilgan holda va $K5$ relesi kontaktlari ajralganda ishga tushadi. Demak,

$$F_1 = ak_5 K_1.$$

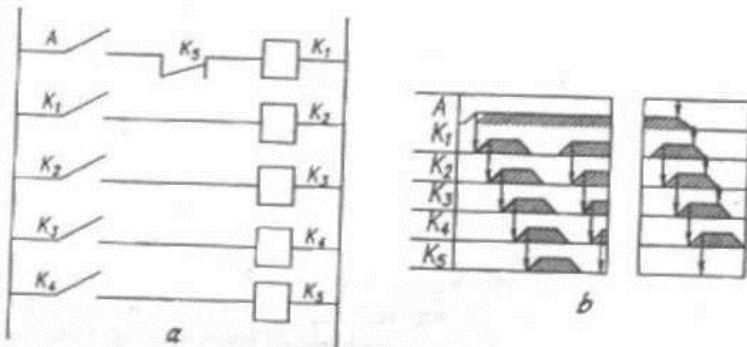
Sxemaning umumiy tarkibiy tuzilish tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$F = ak_5 K_1 + k_1 K_2 + k_2 K_3 + k_3 K_4 + k_4 K_5.$$

Ushbu tenglamaga mos keluvchi sxema 1.19-rasm, b da, sxemani ishga tushirish davriy jadvali 1.20-rasm, b da keltirilgan.

1.3-jadval

Element-lar	Ish taktlari														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	-	+													
K1	-		+					-					+		
K2	-			+					-					+	
K3	-				+					-					+
K4	-					+					-				
K5	-						+					-			



1.19-rasm. Beshta releddan tashkil topgan sistemani boshqarish sxemasi (a) va tarkibiy tuzilish diagrammasi (b).

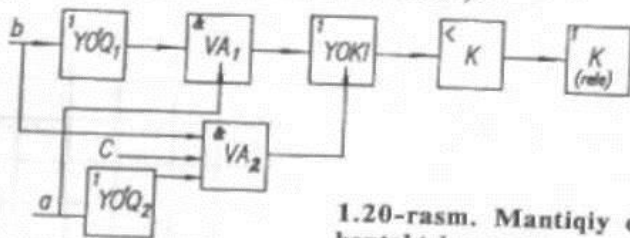
16-misol. 1.16-rasm, b da berilgan rele-kontaktli sxemani yarim o'tkazgichli mantiqiy elementli kontaktsiz sxema ko'rinishiga keltiring.

Yechish. K relesining ishga tushirish tarkibiy tuzilish tenglamasi:

$$F_k = (a\bar{b} + \bar{a}bc)K.$$

Bu ko'rinishdagi tenglama mantiqiy elementli VA1, VA2, YO'Q1, YO'Q2, YOKI va KUCHAYTIRISH K ko'rinishidagi kontaktsiz sxemaga to'g'ri keladi.

VA1 va YO'Q 2 elementlari — $a\bar{b}$ — mantiqiy ko'paytirish vazifasini, VA2 va YO'Q elementlari — $\bar{a}bc$ vazifasini, YOKI elementi esa $a\bar{b} + \bar{a}bc$ — mantiqiy ko'paytiruv vazifasini bajaradi. K kuchaytirgichi YOKI elementidagi signalni rele ishga tushishi uchun zarur bo'lgan qiymatgacha kuchaytirib beradi (1.21-rasm).



1.20-rasm. Mantiqiy elementli kontaktsiz sxema.

17-misol. Nasos agregatining elektr yuritmasini boshqarishning kontaktsiz mantiqiy blok-sxemasini tuzing. 1.21-rasmda elektr yuritmaning prinsipial sxemasi keltirilgan.

Yechish. 1. Sxemadagi signal-larni kichik harflar bilan belgi-laymiz.

2. Signallarni guruhlariga ajratamiz: kiruvchi— a, b ; ora-liq— c (qayta bog‘lanish signali ham— c); chiquvchi— K .

3. Mantiqiy bog‘lanishlarni yozamiz: SB1 tugmasi va K1.2 kontakti parallel ulangan, shuning uchun ular $(a+c)$ — mantiqiy qo‘shish vazifasini bajaradi. Ularga ketma-ket ravishda SB2 tugmasi ulangan.

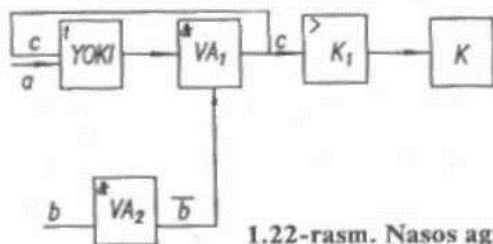
Shunday qilib, mantiqiy ko‘paytiruv hosil bo‘ladi $(a+c) \cdot b$, lekin SB2 tugmasi ajratuvchi kontakt bo‘lgani uchun bu yerda mantiqiy man etish yuzaga keladi— b . Buning natijasida c signali hosil bo‘ladi:

$$(a + c) \bar{b} = c.$$

c signali K_2 magnitli ishga tushirgich orqali yanada ku-chaytirilib, quyidagi ifoda o‘rinli bo‘ladi:

$$Kc = K.$$

Yuqoridagilar asosida 1.21-rasmda ko‘rsatilgan nasos agregatini ishga tushirishning mantiqiy blok-sxemasini tuzamiz.



1.22-rasm. Nasos agregati elektr yuritmasining kontaktsiz boshqaruv sxemasi.

18-misol. Suv ko'tarish stansiyasidagi avtomatlashtirish sxemasining rele-kontaktli elementlarini mantiqiy yarim o'tkazgichli sxemaga almashtiring (1.23- rasm).

Bu yerda rele-kontaktli sxema suv ko'tarish stansiyasidagi ikkita elektr nasosni boshqaradi (rasmda ko'rsatilmagan), ular **KM1** va **KM2** kontaktorlari yordamida **K1** va **K2** oraliq relelari orqali ishga tishiriladi. Relelari yuqori sath (YuS), o'rta sath (O'S), pastki sath (PS) datchiklari yordamida ishga tushadi.

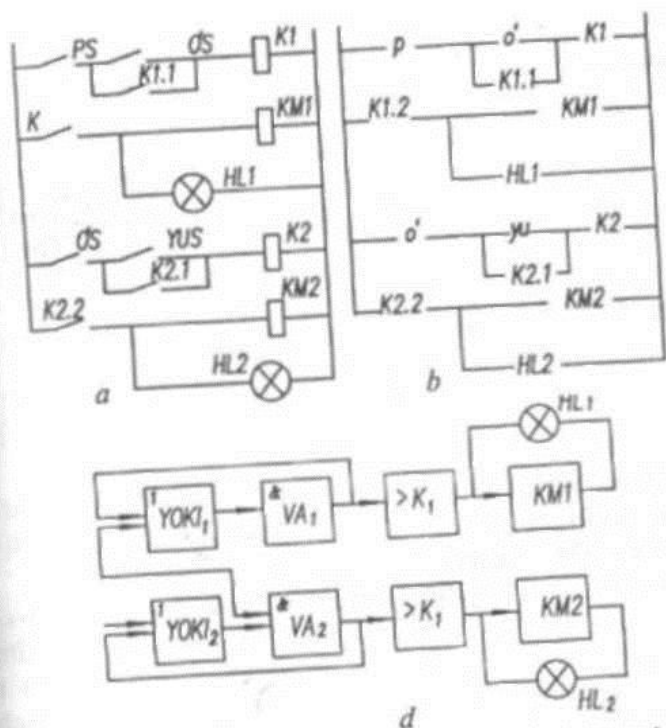
Agar suv sathi tekshirilayotgan pastki va o'rtadagi sathlar oralig'ida bo'lsa, **KM1** kontaktori bilan bitta ish nasosi qo'shiladi. Agar ish nasosi berilayotgan suvni tortishga ulgurmasa, suv ko'tarilib yuqori sathga yetib boradi. Bu holda YuS datchigining kontaktlari qo'shilib) **KM2** kontaktori ikkinchi nasosni ishga tushiradi. **HL1** va **HL2** lampalari nasoslarning ishlashini ko'rsatadi. Suv sathi pasayishi natijasida O'S, PS datchiklari yordamida nasoslar ishdan to'xtaydi.

Yechish. Berilgan sxemadagi shartli belgilarni kichik harfli belgilar bilan almashtiramiz va nasoslarning boshqaruv sxemasi uchun tarkibiy tuzilish tenglamasini yozamiz:

$$F_1 = P(o'+K_{11})K1 + K_{12}(KM1 + HL1) \text{ va}$$

$$F_2 = o'(yu + K_{21})k2 + K_{22}(KM2 + HL2).$$

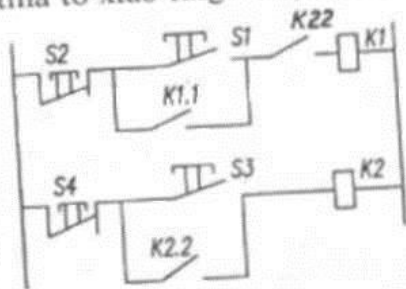
Ushbu tenglama asosida mantiqiy boshqaruv sxemasini tuzamiz (1.23-rasm). **YOKI 1** elementi $o'+K_1$ funksiyasini, VA2 elementi bilan birga $n(o'+ K_1)$ funksiyasini bajaradi. Bu elementlarning chiqish qismida esa **K1** signalini hosil bo'lib, **K1** kuchaytirgich orqali birinchi nasosning **KM1** kontaktorini ishga tushiradi va **HL1** lampasi yonadi, bir vaqtning o'zida **O'S1** datchigini blokirovka qilib, „**XOTIRA**“ mantiqiy operatsiyasi hosil bo'ladi. Ikkinchi nasos „o“ — o'rta sath datchigidan olingan signal asosida **YOKI 2** elementining chiqishida signal mavjud bo'lganda **K2** signali bilan blokirovka qilinadi va awalgidek ishlaydi.



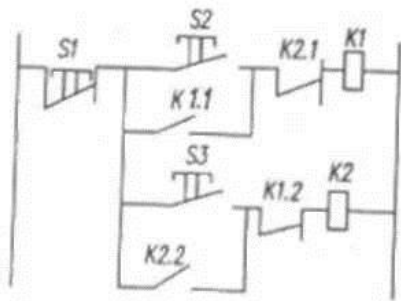
1.23-rasm. Suv ko'tarish stansiyasining kontaktli (a,b) va kontaktsiz boshqaruv sxemalari (PS)(p) — pastki sath datchigi, O'S(o') — o'rta sath datchigi, YUS (yu) — yuqori sath datchigi.

TOPSHIRIQ

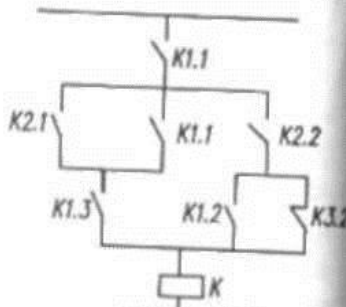
1- misol. Ikkita agregat mavjud. Texnologik talablarga ko'ra birinchi agregat ikkinchisidan keyin ishga tushirilishi kerak, bu holda ikkinchi elektr yuritma to'xtab turganda, birinchi ishlamasligi shart. Agregatlarni ishga tushirish va to'xtatish S1...S4 tugmalari orqali K1, K2 relelari yordamida amalga oshiriladi. Relekontaktli boshqaruv sxemasini chizing va tarkibiy tuzilish tenglamasini



1.24-rasm.



1.25-rasm.

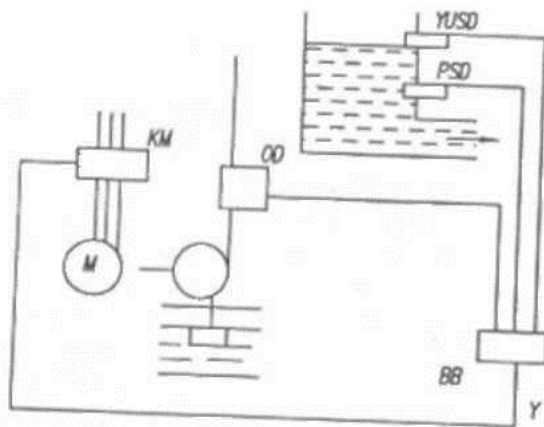


1.26-rasm.

2-misol. Rasmda ko'rsatilgan asinxron elektr yuritil maning rele-kontaktli boshqaruv sxemasini tuzing (1.25- rasm).

3-misol. Sxemada keltirilgan rele-kontaktli boshqaruv tizimini soddalashtiring va mantiqiy elementlar orqali ifodalang (1.26-rasm).

4-misol. Quyida keltirilgan algoritm bo'yicha ishlovchi elektr nasosning mantiqiy boshqaruv sxemasini tuzingl rezervuar to'lgan vaqtda nasos ishdan to'xtaydi va tog rezervuardagi suv quyi sathga yetib tamom bo'lmagunchm ishlamaydi, so'ngra nasos ishga tushadi va rezervuatl to'lguncha suvni uzatib beradi va sikl takrorlanadi.



1.27-rasm. Suv sathini nazorat qiluvchi qurilmaning funksional-texnologik sxemasi.

Suv sathini nazorat qilish maqsadida rezervuarda ikkita datchik: yuqori sath datchigi — YSD, pastki sath datchigi - PSD o'atilgan. Elektr nasosning ishini nazorat qilish in Imn esa oqim datchigi — OD o'atilgan. Qurilmaning ijrochi mexanizmi sifatida elektr nasosning magnit ishga lushirgichi KM qabul qilingan. Qurilmaning funksional texnologik sxemasi 1.27-rasmda keltirilgan.

Yechish uchun ko'rsatmalar. Mantiqiy boshqaruv sxemasini tuzish uchun quyidagi belgilashlar kiritamiz:

BB — boshqaruv bloki, PSD — X_1 , YSD — X_2 ,
OD — X_3 , KM — U.

$X_1=0$ — rezervuarda suv yo'q; $X_1=1$ — suv bor;

$X_2=0$ — suv sathi YSD ga yetmagan;

$X_2=1$ — suv sathi YSD ga yetgan;

$X_3=0$ — elektr nasos ish holatida emas;

$X_3=1$ — elektr nasos ishlab turibdi;

U=0 — KM o'chirilgan holatda;

U=1 — KM ishlayapti.

Talab qilingan algoritmgga ko'ra va belgilashlar asosida qurilmaning ish holati jadvali tuziladi va mantiqiy funk-dlyalar ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari

1. Avtomatlashtirish sxemalarida qo'llaniladigan datchiklar haqida nimalarni bilasiz?
2. Avtomatlashtirish elementlarining statik tavsianomasi qanday usullarda aniqlanadi?
3. Rele-kontaktli sxemalar mantiqiy sxemalar bilan qanday almashtiriladi?
4. Mantiqiy algebra nima?
5. Qanday mantiqiy bog'lanishlar (funksiyalar) mavjud?

II BOB| AVTOMATIK BOSHQARISH SISTEMALARINING PRINSIPIAL, FUNKSIONAL VA STRUKTURA SXEMALARI

2.1. Avtomatlashtirish sxemalarini tuzish haqida umumiy ma'lumot

Turli elementlar, qurilmalar, uskunalar yoki avtomatlashtirish tizimlarining ish prinsipini tushirishda sxemalaj asosiy hujjat hisoblanadi. Avtomatik qurilmaning tarkibidagi elementlarning ko'rishiga qarab sxemalar umumiy holdaj elektrik (E),gidravlik (G), pnevmatik (P) va kinematik (K) turlariga ajratiladi.

Bajariladigan vazifaga ko'ra sxemalar quyidagi turlargaj ajratiladi: prinsipial, ulanish (montaj), qo'shish, funk-j sional, struktur.

Sxemalar qurilmaning tarkibiy elementlari asosida masshtab qo'yilmagan holda chiziladi. Ularni aniq va ravshan o'qish uchun qulay ko'rishga ega bo'lishi kerak. Buning uchun sxemada liniyalarning kesishish va bo'linishJ nuqtalari kam bo'lishga harakat qilinadi. Murakkab qurilmalarning sxemalari bir necha varaqqa chizilishi mumkin. Bu holda elementlarning bog'lanishi ma'lum shartli belgilar yordamida ko'rsatiladi.

Prinsipial elektr sxemalar qurilmaning alohida elementlari orasidagi bog'lanishlarni ko'rsatadi. Bu sxemalarda barcha elementlar va ular orasidagi, kirish va chiqish zanjirlari orasidagi bog'lanishlar ifodalanadi. Sxemalar qurilmalarning o'chirilgan holatida chiziladi. Boshqacha aytganda, elementlarning holati barcha zanjirlarning o'chirilgan hamda tashqi mexanik ta'sirlaridan holi bo'lgan vaziyatda ifodalanishi kerak.

Sxemani o'qish yengil bo'lishi uchun mantiqiy ravishda chapdan o'ngga yoki yuqoridan pastga qarab chiziladi. Barcha shartli grafik belgilar harakatdagi standartlarga mos kelishi kerak.

Prinsipial sxemalar birlashtirilgan yoki tarqatilgan ko'rinishda bo'ladi. Birlashtirilgan sxemada elementlarning

barcha tarkibiy qismlari bir-biri bilan bog'langan holda va har bir element o'zining shartli belgisi bilan ko'rsatiladi. Mohida elementlar orasidagi bog'lanishlar bir elementdan ikkinchisiga tortilgan chiziqlar bilan ko'rsatiladi. Birlash-nmlgan sxemalarning afzalligi shundaki, ular o'qish uchun qulay, kam elementli, bog'lanishlar uchun oddiy ko'rinishga ega bo'ladi.

Tarqatilgan sxemalarda elementlarning tarkibiy qismlari Orasidagi bog'lanishlarning shartli belgilari sxemaning turli joylarida bo'lishi mumkin. Odatda, alohida elementlarning bog'lanish ketma-ketligi bir fazadan boshqasiga yoki lokning oqib o'tish zanjirida plusdan minusga qarab so'naitiriladi. Bitta zanjirga ulangan elementlar bir-biri bilan ketma-ket ravishda to'g'ri chiziq ko'rinishida, alohida zanjirlar esa parallel, gorizontaal yoki vertikal qatorlar ko'rinishida ifodalanadi. Bu turdagi sxemalar doimiy kuchlanishli va o'zgaruvchan tokli zanjirlar uchun alohida chiziladi. Elementlarni topish oson bo'lishi uchun qatorlar ketma-ket o'sib boruvchi sonlar bilan belgilanadi. Ko'p hollarda doimiy tokli sxemalarda musbat qutbli zanjirlarning boshlang'ich qismi toq sonlar bilan, manfiy qutbli tarafi juft sonlar bilan belgilanadi.

Tarqatilgan sxemalar soddaligi, elementlarning ta'sir maydoni ko'rinib turishi, uzilish joylarini tez topish mumkiligi bilan ajralib turadi.

Qo'shish, biriktirish sxemalari qurilma alohida qismlarining tashqi ulanishi yoki qurilma ichidagi alohida elementlar orasidagi bog'lanishni ko'rsatadi. Qurilmaning (ishqi ulanish konturini ko'rsatuvchi sxema *ulanish sxemasi* deb yuritiladi. Bunday sxemalar apparatlarni montaj qilishda ish chizmalari hisoblangani uchun ular yana montaj sxemalari deyiladi.

O`tkazgichlarni to'g'ri montaj qilish va ishlashini yengillashtirish uchun biriktirish sxemalarida barcha elementlarning kirish va chiqish qismidagi qisqichlarga o`tkazgichlar ulanib, elementlar orasidagi bog'lanishlar ko'rsatiladi. Sxemani soddalashtirish uchun bir yo'nalishdagi o`tkazgichlar bitta

umumiy liniyaga yig'iladi qisqichlar ko'rsatilgan joyda har bir o'tkazgich alohida ko'rsatiladi. Elementlar turli ko'rinishda chizilishi mumkin: to'g'ri to'rtburchak shaklida, shartli grafik belgisi asosida, ba'zan uskunaning tashqi ko'rinishi shaklidajB Elementning ichida yoki yonida uning nomi, tipi ko'rsatiladi, kirish va chiqish qisqichlarida esa belgilanganl markirovkasi beriladi. Markirovka harfiy va sonli belgilardan iborat bo'lib, shartli ravishda o'tkazgichlarning va apparatlarning sxemadagi holatini ifodalaydi.

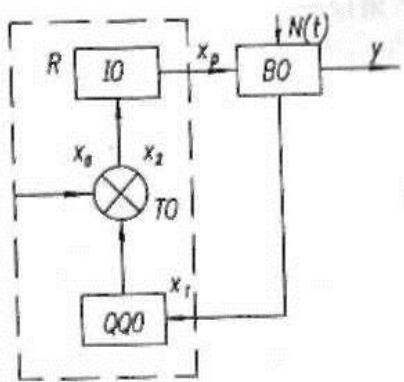
Mobil (ko'chib yuruvchi) qishloq xo'jalik agregatlarinil va statsionar mexanizmlarni avtomatlashtirishda elektr sxemalar bilan bir qatorda kinematik, gidravlik va pnevmatik sxemalardan foydalaniladi. Ularda mos ravishdaj kinematik elementlar (shesternyalar, yulduzchalar, shkivlar va h.k) va ularning mexanik bog'lanishlari (vallar, o'zaklar, shatun, o'qlar va h.k.), gidravlik va pnevmatikj uzatmalar, sovitish tizimlari, moylash, gaz, suv, issiqlikj bilan ta'minlash tizimilari ko'rsatiladi.

Avtomatlashtirish tizimlaridagi funksional sxemalar qurilmalar, bloklar, alohida elementlarni boshqaruv tizimi tarkibida ularning ish jarayonida bir-biri bilan ta'sirini ifodalaydi. Grafik ravishda avtomatika elementining alohida qismlari to'rtburchak shaklida, ular orasidagi bog'lanishlar esa signalning o'tish yo'liga mos yo'nalishdagi strelkalar bilan ko'rsatiladi.

Avtomatik boshqaruv tizimlarining to'g'ri va to'g'ri bo'lmagan harakat rostlagichiga ega bo'lgan funksional sxemasini ko'rib chiqamiz. Ularning bir-biridan tubdan farq qiluvchi tomoni shundaki, to'g'ri harakatlanuvchi rostlagichning ijrochi mexanizmining harakati qabul qiluvchi organning (datchikning) energiyasi hisobiga bo'ladi, to'g'ri bo'lmagan harakat rostlagichida esa yordamchi manba energiyasi hisobiga amalga oshiriladi.

To'g'ri harakatli rostlagichli tizimning funksional sxemasi 2.1-rasmda keltirilgan. Bu boshqaruv tizimi boshqariluvchi obyekt (BO), qabul qiluvchi organ (QQO),

taqqoslovchi organ (TO) hamda ijro organidan tashkil topgan. Oxirgi uchta organ birgalikda to'g'ri harakatli rostlagichni (R) hosil qiladi. Tashqi ta'sir $N(t)$ ostida bo'lgan boshqariluvchi obyektga rostlagich x_r boshqaruvchi ta'sir beriladi. x_r ning ishorasi boshqariluvchi parametr y ning berilgan ishorasiga teskari ishoraga ega.

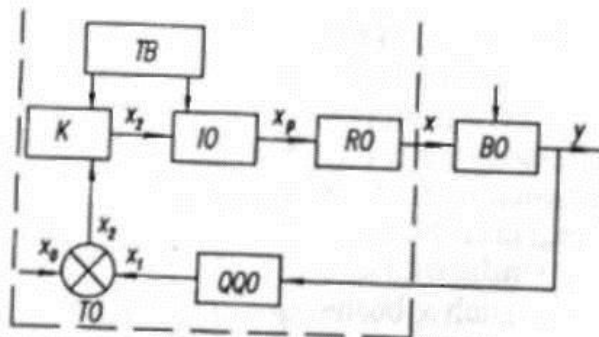


2.1-rasm. To'g'ri harakatli rostlagichga ega sxema.

Qabul qiluvchi organ boshqariluvchi parametri o'lchab x_0 ning berilgan qiymati bilan taqqoslash uchun qulay bo'lgan x_1 signaliga aylantirib beradi va taqqoslovchi organga uzatadi. Taqqoslovchi organ (TO) bir vaqtning o'zida topshiriq bergich vazifasini ham bajarib rostlagichning boshqariluvchi kattaligini berilgan qiymatda saqlashini ta'minlaydi.

Odatda, bu element sxemaga mustaqil holda kiritiladi, ba'zan qabul qiluvchi organ (datchik) tarkibiga ham kiritilishi mumkin. Taqqoslovchi organdan chiquvchi signal $X_2 = x_1 - x_0$ ijro organiga uzatiladi. Bu signal x_t rostlanuvchi kattalik sifatida obyektga ta'sir qiladi.

To'g'ri bo'lmagan harakat rostlagichiga ega bo'lgan sxemada (2.2-rasm) x_2 signali taqqoslovchi organdan kuchaytirgichga (**K**) uzatiladi. Bu yerda maxsus ta'minlash hlokidan olingan energiya hisobiga x_2 signali kuchaytiriladi. Kuchaytirgichdan (**K**) olingan x_3 signali ijrochi organni boshqaradi va rostlangan x_r kattalik boshqariluvchi obyektga uzatiladi. Ko'p hollarda boshqariluvchi obyektдан (BO) parametrini boshqaruvchi elementning ma'lum qismi Njratib olinadi. Bu qism rostlovchi organ deb yuritiladi. rafklbiy tuzilish sxemalari (struktur) avtomatik boshqaruv tizimlari tarkibiy qismlarining bir-biri bilan bog'liqligini ko'rsatadi. Bu ko'rinish avtomatik boshqaruv sistema-



2.2- rasm. To'g'ri bo'lmagan harakat rostlagichiga ega bo'lgan sxema.

larining dinamik xususiyatlarini tekshirishning eng unlay grafik shakli hisoblanib, bu yerda rostlash jarayonini faqat matematik modeli ko'rsatiladi. Tekshinlayotgan sistemada signallarni bir yo'nalishda: kirishdan chiqishga qarab uzatib beruvchi elementar bo'g'inlar ko'rinishida tasvirlanadi. Bo'g'inlar orasidagi bog'lanish ko'rsatkichli yo'nalish chiziqlari bilan ko'rsatiladi.

Avtomatik boshqarish sistemalari elementlarining matematik tenglamasi ko'rinishiga qarab bo'g'inlarga ajratiladi. Tarkibiy tuzilish sxemalarida ham funksional sxema kabi elementlar to'g'ri to'rtburchak shaklida belgilanadi. Shunjl aytish kerakki, bu holda bitta qurilma bir necha tarkibiy elementga ajratilib, alohida bo'g'inlar ko'rinishida yoki aksincha, bir nechta o'xshash elementlar bitta bo'g'ina ko'rinishida ifodalanishi mumkin.

Tarkibiy tuzilish hamda funksional sxemalar orasida ma'lum umumiylik mavjud. Har ikkala sxema yopiq boshqaruv tizimidagi signal uzatish va uni boshqa ko'rinishga aylantirish jarayonini amalga oshiradi. Shu bilan birga, ular orasidagi qat'iy farq shundaki, funksional sxema bajaradigan funksional vazifasiga ko'ra avtomatlashtirish sistemasini tarkibiy qismlarga ajratib ko'rsatadi, tarkibiy tuzilish sxemasi (struktur) esa sistemaning matematik ifodasi asosida dinamik xususiyatlarini aniqlash uchun xizmat qiladi. Bu sxemalar prinsipial yoki funksional sxemalar asosida tuziladi.

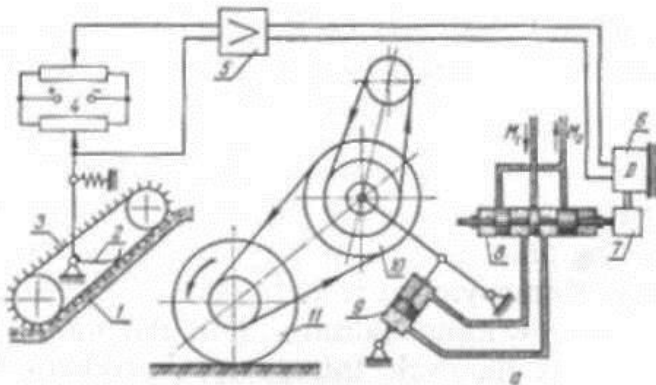
2.2. Qishloq xo'jaligida qo'llaniladigan avtomatik boshqarish sistemalari uchun funksional sxemalar tuzishga misollar

19-misol. Berilgan prinsipial sxema asosida (2.3-rasm, *a*) kombaynni yuklash jarayonini avtomatik boshqarish listemasining funksional sxemasini tuzing.

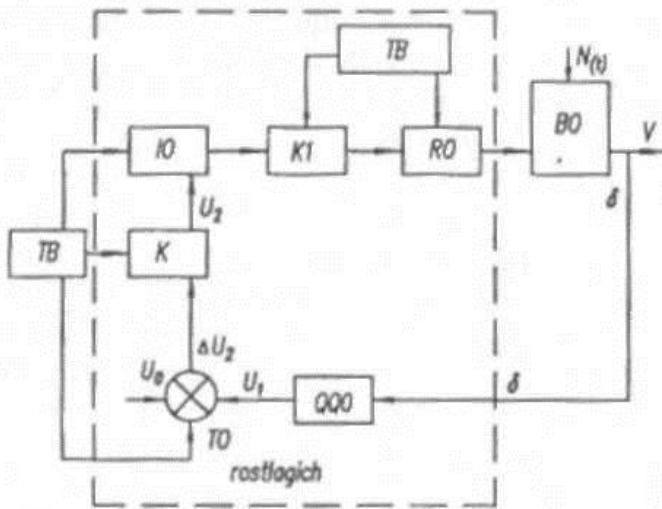
Yechish. Kombaynning ishlash jarayoni quyidagicha:

Don mahsulotining qalinligi *l* ni nazorat qiluvchi datchik 2 harakatlanuvchi transporter 3 ostidan o'tuvchi massa miqdorini kombaynning maydalash barabaniga uzatishdan oldin o'lchab beradi. Ko'prik sxema 4 uzatilayotgan massaning optimal miqdorini rostlagichni ma'lum holatga o'rnatish uchun xizmat qiladi. Uzatilayotgan don mahsuloti miqdori (qalinligi) belgilangandan farq qilsa, datchik 2 ning holati o'zgaradi va ko'prik sxemaning chiqish qismida hosil bo'lgan kuchlanish 5 doimiy tok kuchay-urgichi yordamida kuchaytirilib, reduktor 7ga ega bo'lgan reversiv elektr yuritma 5ga uzatiladi. Elektr yuritma gid-rotarqatgich 8 ning oynasini ochadi, bu yerdan gidro-istema bosim ostida tezlik variatori 10 ning gidrosilindri 9 ga moy *M* uzatadi. Don mahsuloti qalinligi ko'payganda rostlash tizimi variator 10va boshlovchi g'ildirak yordamida kombayn tezligini kamaytirishga harakat qiladi, bu holda mahsulot qalinligi ham kamayadi. Bu paytda datchikning harakatlanuvchi qismi boshlang'ich holatiga qaytadi, gidrotarqatgich oynasi yopiladi (yopuvchi qurilma rasmda ko'rsatilmagan).

2.3-rasm, *b* da ushbu sistemaning funksional sxemasi ko'rsatilgan. Boshqaruv jarayonida kombaynning tezligi o'zgartirilgani uchun boshqarish obykti (BO) sifatida kombaynning o'zi qabul qilingan. Don mahsuloti qalinligi o'zgartirilgan vaqtda boshqaruv obyektiga tashqi ta'sirlar $N(t)$ ta'sir ko'rsatadi. Boshqaruv δ don mahsuloti qalinligining o'zgarishi bo'yicha amalga oshirilib, bu o'zgarish datchik 2- qabul qiluvchi organ yordamida hisobga olinadi. Berilgan kattalik mavjud kattalikka ko'prik 4 taqqoslash organi (TO)



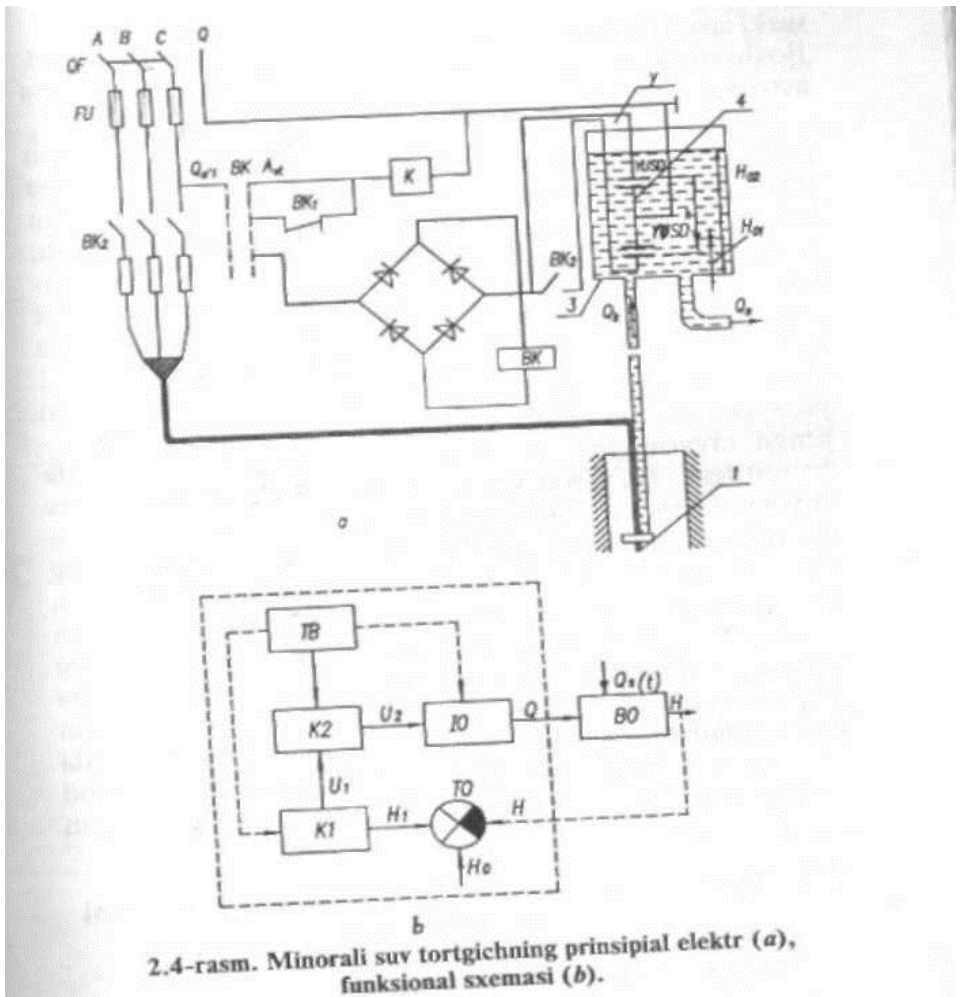
2.3-rasm, a.



2.3-rasm, b.

bilan solishtiriladi (2.3-rasm, a). Doimiy tok kuchaytirgichi va gidrotarqatgich 2.3- rasm, b da K1 va K2 - kuchaytirgich sifatida berilgan.

Ijro organi IO sifatida reduktori bor elektr yuritma EYu qabul qilingan. Ijro organning kirish qismiga kuchlanish U_2 beriladi, chiqish qismidan esa siljish S1 kattaligi olinadi. Boshqaruv obyektiga ta'sir ko'rsatuvchi gidrosilindr 9 va variator IO roslash organi RO hisoblanadi. Rostlash organi ikkita ta'minlash blokiga ega: TB1 akkumulator batareyasi, TB - nasosli gidrosilindr.



20-misol. Berilgan prinsipial sxema asosida (2.4 – rasm, a) minerali suv tortgichda ikki tomonlama (pozitsion) suv o'lchash jarayonini avtomatik boshqarish tizimining inksional sxemasini tuzing.

Yechish. Sxema cho'kma tipdagi elektr nasos 1, quvur 2, bosim baki 3, elektrodli datchik 4, bakdagi pastki va

ustki suv o'lchash va elektr boshqaruv sxemasidan iborat. Boshqarish kalitlari BK chapga joylashtirilsa, sxemal avtomatik ravishda ishlaydi.

Bakdagi suv pastki satli datchigi PSDning H_{01} holatidan pastga tushgan vaqtida elektr nasos kontaktori K orqali ishga tushiriladi. Bu holda sath relesi BK ishdan to'xtaydi va kontakt BK1 yordamida kontaktori K ni ishga tushiradi, kontaktlar BK2 bilan qo'shimcha ravishda o'z chulg'amlarini ta'minlash zanjiridan uzadi. Sath relesi suvning sathi I yuqori sath datchigi YuSDga yetgan vaqtdagina ishga tushadi. Suv PSD ga yetgan vaqtda sath relesi BK1 elektr nasosni ishdan to'xtatadi. Kontaktlar BK2 suv sathi pasaygan vaqtda (PSD ga yetganda) sxemani boshqa rejimga tayyorlaydi. Funktsional sxema 2.4-rasm, b da ko'rsatilgan. Bu yerda YuSD va PSD datchiklar boshqaruv obyekti (minorali suv tortgich) dagi suv sathini nazorat qiluvchi organ hisoblanadi. Minoradagi belgilangan suvning sathi o'zgarishi diapazoni datchiklarning belgilangan boshlang'ich balandligiga h bog'liq. Shuning uchun datchiklar bir vaqtning o'zida taqqoslovchi organ vazifasini ham bajaradi. Sath relesi va kontaktor funksional sxemada relkli kuchaytirgichlar K1 va K2, elektr nasos ijro organ IO hisoblanadi. O'zgaruvchan tok elektr tarmog'i bu yerda ta'minlovchi blok sifatida qabul qilingan. Vodoprovod tarmog'idagi suv sarfi $Q_r(t)$ boshqaruv obyektiga nisbatan tashqi ta'sir hisoblanadi.

2.3. Tarkibiy tuzilish sxemalarini tuzish va ularni o'zgartirish

I. Ishning maqsadi

Tarkibiy tuzilish sxemalarni tuzishni o'rganish va ek-vivalent o'zgartirishlar yordamida soddalashtirish.

ABS larining tipikbo'g'inlardan tashkil topgan tarkibiy tuzilish sxemalari ularning dinamik xususiyatlarini aniqlashni yengillashtiradi. Shuning uchun bo'g'inlarning bir-biriga ulanish tartibiga ko'ra ekvivalent almashtirish sxemalaridan foydalanish qulaydir.

ABS laming tarkibiy sxemalari asosan uch xil: o'zaro ketma-ket, parallel va qayta bog'lanishli bo'g'in-lardan iborat bo'lishi mumkin. Quyida ushbu usullar keltirilgan.

1. Ketma-ket ulangan bo'g'inlarni ekvivalent bo'g'in bilan almashtirish:

$x_1 = x W_1(p), x_2 = x_1 W_2(p) \dots x_{n-1} W_n(p) = x_n$
 $x_n = x \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \dots W_n(p) \quad W_c(p) = \prod_{i=1}^n W_n(p)$

Ketma-ket ulangan bo'g'inlarning ekvivalent uzatish funksiyasi alohida bo'g'inlar uzatish funksiyalarining ko'paytmasiga teng.

2. Parallel ulanishli sxema:

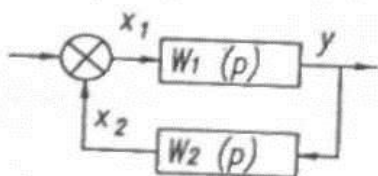
$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_n = [W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)] x$$

$$W_{ekv} = y/x = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)$$

$$W_{ekv} = \sum_{i=1}^n W_i(p)$$

Bu sxemaga kiruvchi signal x_n hamma bo'g'inlar uchun bir xil bo'ladi. Bo'g'inlardan chiqadigan signallar bir xil qiymatga ega bo'lib, bo'g'inlarning uzatish funksiyasi bilan belgilanadi.

3. Qayta bog'lanishli zvenolar:



$$y = x_1 W_1(p)$$

$$x_2 = y W_2(p)$$

$$x_1 = x \pm x_2$$

$$y = (x \pm x_2) W_1(p)$$

$$y = [x \pm y W_2(p)] W_1(p)$$

$$y [1 \pm W_1(p) W_2(p)] = x W_1(p)$$

$$W_{\text{ekv}} = \frac{y}{x} = \frac{W_1}{1 \pm W_2(p)W_1(p)}$$

I-jadval

Tipik avtomatik elementlarning uzatish funksiyalari

№	Avtomatikelementlarning nomi	Uzatish funksiyasi
1	Mexanik uzatish (reduktor)	$W(p) = K_{\text{red}}$
2	O'zgarmas tok kuchaytirgichi	$W(p) = K_k$
3	O'zgaruvchan tokning tranzistorli kuchaytirgichi	$W(p) = K_k$
4	Selsin juftlik, transformator rejimida	$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-\tau p}$
5	Qarshilik termometri	$W(p) = \frac{K_{qT}}{T_{qT} p + 1}$
6	Magnitli kuchaytirgich	$W(p) = \frac{K_{mT}}{T_{mT} p + 1}$
7	Termoissiqlik	$W(p) = \frac{K_{TJ}}{T_{TJ} p + 1}$

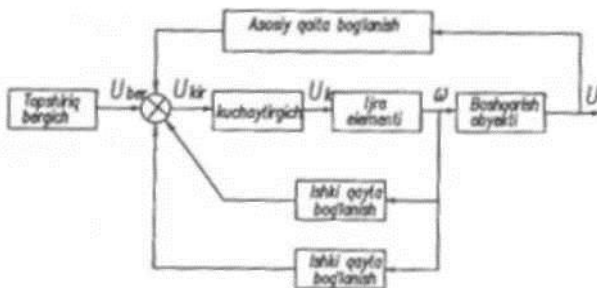
8	Ma'lum modda bilan to'ldirilgan bunker	$W(p) = \frac{1}{T_3 p}$
9	Suyuqlik bosimini nazorat qiluvchi sifon datchik	$W(p) = \frac{K_{s,f}}{T_d^2 p^2 + 2\xi T_d p + 1}$
10	Gidroyuritma	$W(p) = \frac{K_{g,yu}}{p(T_{g,yu}^2 p^2 + 2\xi T_{g,yu} p + 1)}$
11	O'zgarmas tok dvigateli (kirish kattaligi — yakor kuchlanishi, chiqish kattaligi — aylanish chastotasi)	$W(p) = \frac{K_d}{T_d^2 p^2 + 2\xi T_d p + 1}$
12	Asinxron elektr yuritma ishga tushirish rejimida	$W(p) = \frac{K_{a,yu}}{1 - T_{a,yu} p}$
13	Asinxron elektr yuritma nominal rejimda (kirish kattaligi — kuchlanish, chiqish kattaligi — aylanish chastotasi)	$W(p) = \frac{K_{a,yu} p}{1 + T_{a,yu} p}$
14	Asinxron motor nominal rejimda (kirish kattaligi — kuchlanish, chiqishi — rotorning burilish burchagi)	$W(p) = \frac{K_{a,d}}{(1 + T_{a,d} p) p}$
15	Taxogenerator (kirish kattaligi — aylanish chastotasi, chiqishi — kuchlanish)	$W(p) = K_{T,x}$
16	Taxogenerator (kirish kattaligi — burilish burchagi, chiqishi — kuchlanish)	$W(p) = K_{T,x} p$
17	Elektr mashina yordamida kuchaytirgich	$W(p) = \frac{K_{EMK}}{T_{el.m} p + 1} \cdot \frac{1}{T_{qinq.nat} p + 1}$

Teskari qayta bog'lanish bo'g'inidan chiquvchi signal x_2 ikki xil: musbat (+) va manfiy (-) ishoraga ega bo'lishi mumkin. Shunga ko'ra qayta bog'lanish sxemasi ikki xil j funksiyani - signal kuchaytirish va stabillash funksiyalarini bajaradi. Teskari bog'lanish bo'g'inidan chiquvchi signal x_2 musbat ishorali bo'lsa, sxema signal kuchaytirgich vazifasini bajaradi:

$$W_e(p) = \frac{W_1}{1 - (W_2(p)W_1(p))}$$

Bu holda chiquvchi signalning ishorasi sistemaga kiruvchi signalning ishorasiga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishda, ya'ni (-) bo'ladi, bu ekvivalent uzatish funksiyasining kamayishi va „y" ning stabillashuvini ta'minlaydi.

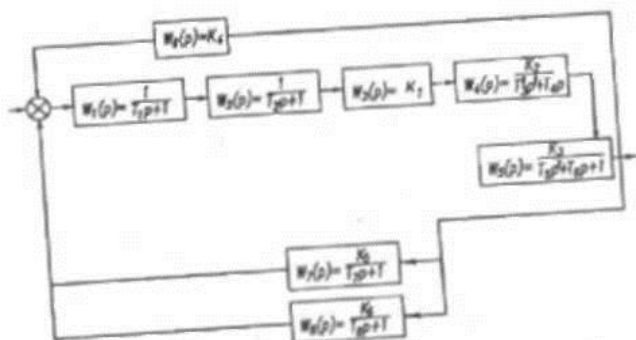
21-misol. Prinsipial va funksional blok-sxemalar yordamida tarkibiy tuzilish sxemasini tuzing.



2.5-rasm.

Yechish. 1-jadvaldan foydalanib, sxema elementlarini uzatish funksiyasini toping. Shuni ta'kidlash kerakki, funksional sxemaning bir bo'g'ini o'ziga bitta, ikkita va undan ko'proq elementlar olishi mumkin va shuning uchun ularni bittadan ko'proq mantiqiy element bilan ko'rsatish mumkin.

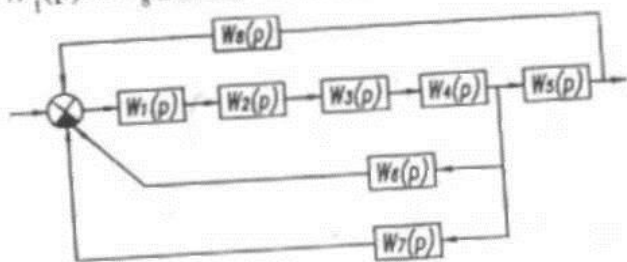
1-jadval yordamida uzatish funksiyalarini aniqlab tarkibiy tuzilish sxemasining parametrlarini sxemaga kiritamiz. Avtomatik rostdash sistemasining tarkibiy tuzilish sxemasi 2.6-rasmda keltirilgan.



2.6-rasm. ARS ning tarkibiy tuzilish sxemasi.

22-misol. Tuzilish sxemasida ekvivalent o'zgarishlarni amalga oshiring.

Yechish. Osonlik uchun bo'g'inlarning uzatish funksiyalarini $W_1(p) \dots W_8(p)$ deb belgilaymiz (2.7-rasm).



2.7-rasm. ARS ning tarkibiy sxemasi.

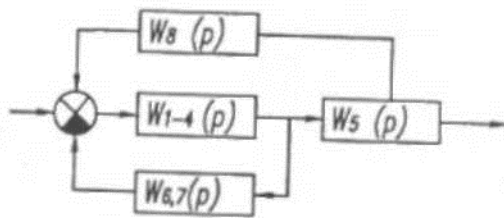
Sxemani o'zgartirish uchun 2.1-jadvaldan foydalanamiz. 1,2,3,4,5,6 bo'g'inlardagi zanjirni ekvivalent mantiqiy blok uzatish funksiyasi $W_{1-4}(p)$ va $W_{6-7}(p)$ ga o'zgartiramiz (2.8-rasm).

2-jadvaldan foydalanib, bu bloklar uchun uzatish funksiyalarini yozamiz.

$$W_{1-4}(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \quad (1)$$

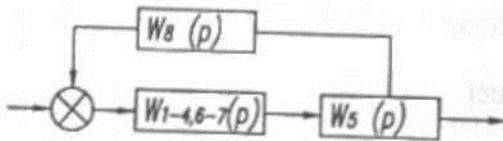
$$W_{6-7}(p) = W_6(p) + W_7(p), \quad (2)$$

$$W_{1-4,5}(p) = \frac{W_{1-4}(p)}{1 + W_{1-4}(p)W_{6-7}(p)}$$



2.8-rasm.

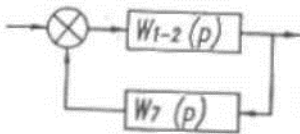
So'ngra sxemaning $W_{1-4}(p)$ qismi uchun tarkibiy sxemaga quyidagi o'zgarishlarni kiritamiz (2.9-rasm).



2.9-rasm.

$$W_{1-4,6-7,5}(p) = W_{1-4,6-7}(p) \cdot W_5(p).$$

2-jadvalda keltirilgan ekvivalent o'zgarishlar qoidalari asosida yakuniy ekvivalent sxemaga ega bo'lamiz (2.10-rasm).



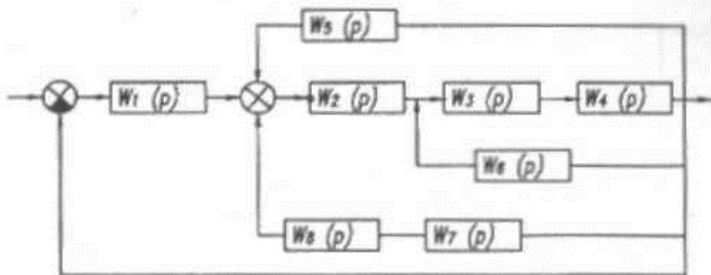
2.10-rasm.

$$W_{ekv}(p) = \frac{W_{1-4}(p)}{1 - W_{1-7}(p)W_5(p)}$$

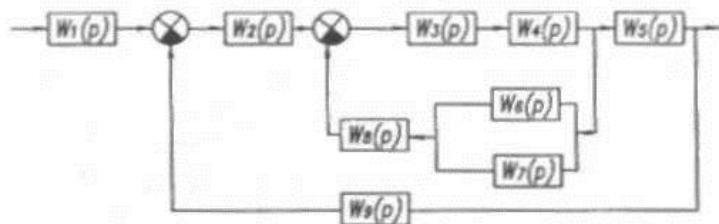
TOPSHIRIQ

1. Berilgan avtomatik boshqaruv tizimining funksional sxemasini tuzish.

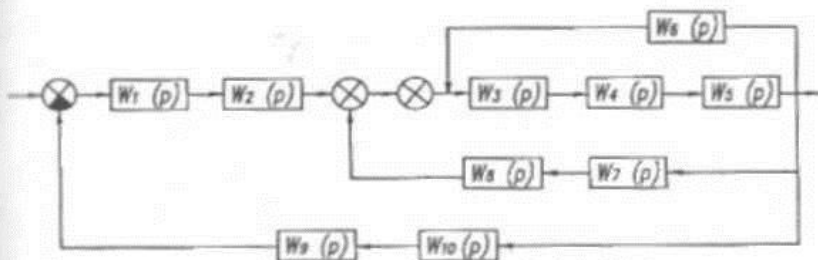
2. Berilgan tarkibiy tuzish sxemasining ekvivalent almashtirish sxemasini aniqlash ($W_{ekv}(p)$).



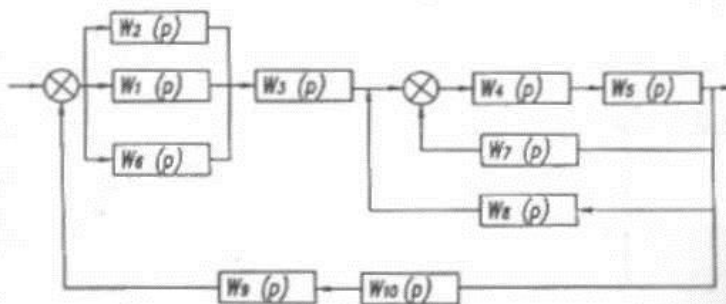
2.11-rasm.



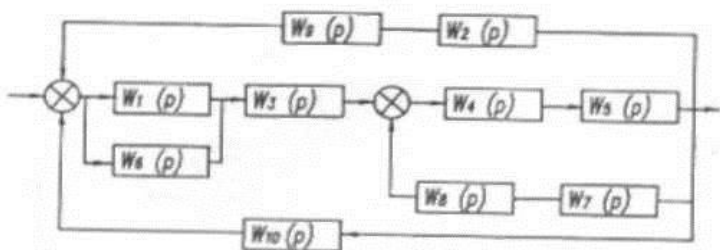
2.12-rasm.



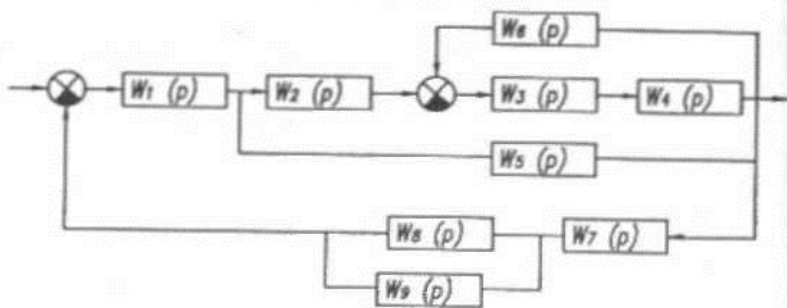
2.13-rasm.



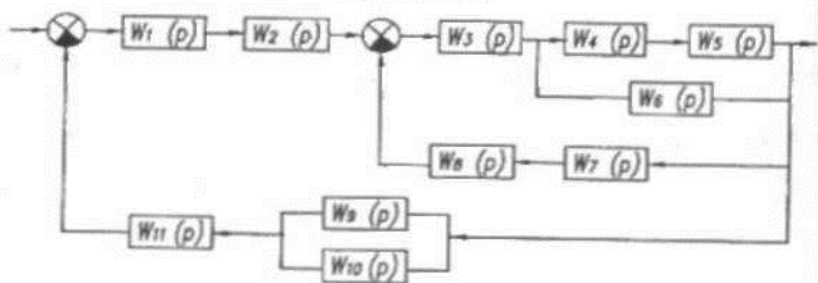
2.14-rasm.



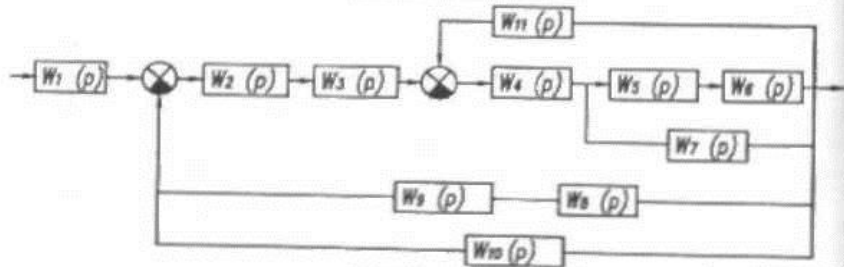
2.15-rasm.



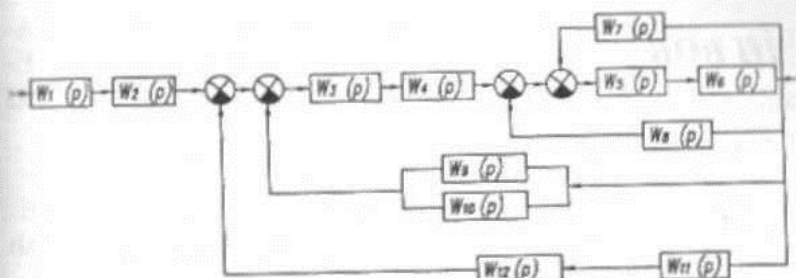
2.16-rasm.



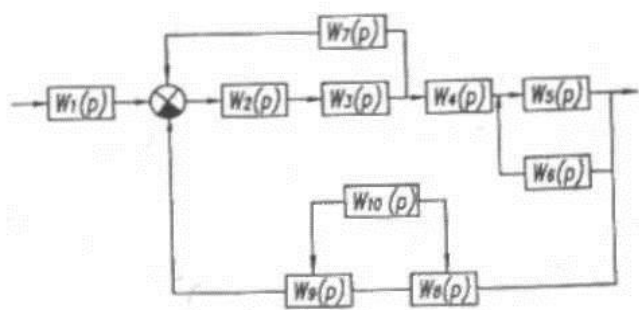
2.17-rasm.



2.18-rasm.



2.19-rasm.



2.20-rasm.



Nazorat savollari

1. Avtomatlashtirish sxemalarining qanday turlarini bilasiz?
2. Prinsipial elektr sxemalar qanday vazifani bajaradi?
3. FunkSIONAL va tarkibiy tuzilish sxemalari qanday tuziladi?
4. Tarkibiy tuzilish sxemalarini ekvivalent almashtirishning qanday usullari mavjud?

III BOB | AVTOMATIK BOSHQARRISH SISTEMALAINING (ABS) DINAMIK XARAKTERISTIKALARINI ANIQLASH USULLARI

1. Ishning maqsadi

Avtomatik boshqarish sistemalarining operator ko'ri-I nishidagi tenglamalarini tuzish usullari, ularning uzatisW funksiyalarini aniqlash.

Umumiy ma'lumotlar

ABS ning konstruktiv tuzilishi va fizik xususiyatlari turlicha. Shuning uchun ularning holati differensial tenglamalar yoki xususiy hosilali differensial tenglamalar orqali ifodalanishi mumkin.

ABS ning differensial tenglamalari ma'lum ketma-ketlik asosida tuziladi. Eng avvalo ABS alohida funksional elementlarga, so'ngra tarkibiy bo'g'inlarga ajratiladi. Differensial tenglamalarni tuzish qulay bo'lishi uchuni tarkibiy tuzilish sxemalari tuziladi.

ABS ni matematik ifodalash uchun asosiy umumlashgan koordinatalar ajratib olinadi. Boshqaruvchi yoki g'ala-yonlanish kanali bo'yicha va chiquvchi-boshqariluvchi parametrlar shular jumlasidandir. ABS elementlarining tenglamalari ularning fizik tabiatiga asoslangan bo'lib, mexanik, elektrotexnik, issiqlik, gidrodinamik va boshqa qonuniyatlar asosida tuziladi.

Haqiqiy fizik jarayonlar ko'pgina elementlarda murakkab kechadi va chiziqlimas differensial tenglamalar bilan xarakterlanadi. Bu differensial tenglamalar yaqinlashtirilgan tenglamalar ko'rinishiga keltiriladi.

Uzluksiz $f(x)$ ko'rinishidagi chiziqlimas funksiya Teylor qatoriga yoyish usuli bilan chiziqli holga keltiriladi [2, 10]*:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x)}{1!} \Delta x + \frac{f''(x)_0}{2!} \Delta x^2 + \dots \quad (3.1)$$

Chiziqlantirish natijasi, odatda, yoyish tenglamasining ikki hadi bilan g'alayonlanuvchi yoki rostlovchi ta'sir uchun chegaralanadi:

$$\Delta x = x_0 - x.$$

Bu holda $f(x) = f(x)_0 + f'(x_0)\Delta x$,

voki $\Delta f(x) = f'(x_0)\Delta x = R\Delta x$.

Ko'rinib turibdiki, Δx qancha kichik bo'lsa, yoyisn xatoligi ham shuncha kichik bo'ladi.

ABS ni tekshirishni yengillashtirish uchun tipik g'alayonlash $\Delta x = f(t)$ va boshqarish $\Delta x = g(t)$ ta'sirlari o'rnatilgan. $\Delta x = 1(t)$ amplitudaga ega bo'lgan sakrashsimon ta'sir va garmonik ta'sir $\Delta x = A_0 \sin \omega t$ keng tarqalgan.

Avtomatika elementlariga ko'rsatiluvchi tipik ta'sirlar o'tishjarayonlarini ma'lum differensial tenglamalar orqali ifodalash imkonini beradi. Bu holda elementlarni differensial tenglamalarning ko'rinishiga qarab turlarga ajratish mumkin.

Differensial tenglamalar operator ko'rinishiga keltirilsa, operator $W(p)$ shaklidagi uzatish funksiyasi kelib chiqadi. Boshlang'ich shartlar nolga teng boigan vaqt operator shaklidagi chiquvchi kattalik $y(p)$ ning kirish kattaligi $x(p)$ ga nisbati uzatish funksiyasi deb yuritiladi.

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}. \quad (3.2)$$

Uzatish funksiyalarining ko'rinishiga qarab quyidagi tipik pozitsiyali bo'g'inlarni ajratib ko'rsatish mumkin:

$W(p) = k$ — inersiyaga ega bo'lmagan;

$W(p) = \frac{k}{Tp+1}$ — inersion yoki I tartibli aperiodik;

$W(p) = \frac{1}{Tp}$ — integrallovchi;

$W(p) = Tp$ — ideal differensiallovchi;

$$W(p) = \frac{kTp}{Tp+1} - \text{real differensiallovchi};$$

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + Tp + 1} - \begin{array}{l} T_1 < 2T_2 \text{ da tebranuvchan;} \\ T_1 > 2T_2 \text{ da II tartibli aperiodik;} \end{array}$$

$$W(p) = k e^{-\tau p} - \text{kechikish bo'g'ini.}$$

Ko'rsatilgan tipik bo'g'inlar yordamida avtomatik boshqaruv tizimlarining istalgan haqiqiy elementlari uzatish funksiyalarini aniqlash mumkin. $W(p)$ funksiyasi $\Delta x = 1(t)$ tashqi ta'sir vaqtida bo'g'inning statik ($p = 0$) va dinamik ($p > 0$) xususiyatlarini to'liq xarakteristikasi hisoblanadi.

ABS larining uzatish funksiyalari boshqaruvchi para-metrning belgilangan qiymatidan chetga chiqishi, ya'ni $x(t)$ xatolik yoki boshqariluvchi $y(t)$ kattalik uchun tuziladi.

3.1 Avtomatik boshqarish sistemalarining operator ko'rinishidagi tenglamalarini tuzish usullari, ularning uzatish funksiyalarini aniqlashga doir misollar

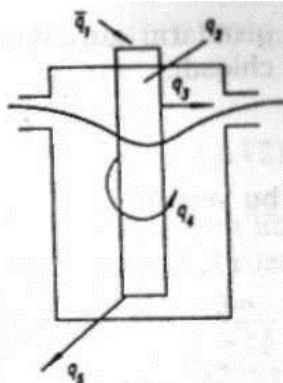
23-rnisol. Ko'ndalang yo'nalishdagi suvda qarshilik termometrining uzatish funksiyasini aniqlang.

Yechish. Buning uchun dinamik issiqlik balansi teng-lamasini tuzamiz:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + ms \cdot \frac{d\theta}{dt} = 0, \quad (3.3)$$

bu yerda: θ — datchik harorati; q_1 — Joul issiqligi; q_2 — atmosferaga uzatiluvchi issiqlik miqdori; q_3 — suyuqlikdagi issiqlik miqdori; q_4 — konvektiv issiqlik almashtiruvchidagi issiqlik miqdori; q_5 — nur o'tkazuvchanlik issiqligi; m — datchik massasi; C — datchikning solishtirma issiqlik sig'imi.

Joul issiqligi datchikka kiradi deb hisoblaymiz. Issiqlik almashinuvi qolgan qo'shiluvchilarning issiqliklari datchikdan chiquvchi hisoblanadi. Datchik ulangan ko'prik sxema parametrlari shunday tanlanadiki, tok o'tgan vaqtda datchikning qizishi sezilarli bo'lmasin, ya'ni $q_1 \approx 0$. Datchikning atmosfera bilan issiqlik almashuvi hamda kichik haroratda nur o'tkazuvchanlik issiqligi ham juda kichik bo'lgani sababli $q_2 \approx 0$, $q_5 = 0$. Tenglamaning qolgan qismini quyidagicha yozamiz:



3.1-rasm.

$$q_3 = G(\theta - \theta_{\text{muhit}}), \quad (3.4.)$$

bu yerda: G — datchikning suvga issiqlik uzatish koeffitsienti; θ_{muhit} — suvning harorati.

$$q_4 = \xi S(\theta - \theta_{\text{muhit}}), \quad (3.5.)$$

bu yerda: ξ — konvektiv issiqlik almashinuv koeffitsienti; S — datchikning yon tarafdagi yuzasi.

(3.4), (3.5.) tenglamalarni hisobga olsak, (3.3) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\xi S(\theta - \theta_{\text{muhit}}) - G(\theta - \theta_{\text{muhit}}) - mc \frac{d\theta}{dt} = 0. \quad (3.6.)$$

Agar datchik avtomatika elementi ko'rinishida tasvirlansa (3.2 - rasm), kirish kattaligi sifatida muhit harorati θ_{muhit} , chiqish kattaligi sifatida o'z issiqligini θ ko'rinishda qabul qilish mumkin. Bu holda differensial operatsiyasini $p = d / dt$ operatori bilan almashtiramiz. (3.6) tenglamadagi qavslarni ochib, chap tarafdagi kirish kattaligi „ θ “ ga o'ng tarafdagi chiqish kattaligi „ $\theta_{\text{o'rt}}$ “ ga ega bo'lgan



3.2-rasm.

qismlarni guruhlarga ajratsak, quyidagi ko'rinish kelib chiqadi:

$$-\xi S \theta - G \theta - m C p \theta = -\xi S \theta_{o'n} - G \theta_{o'n},$$

bu yerdan
$$\frac{\theta}{\theta_{o'n}} = \frac{\xi S + G}{\xi S + G + m C p}.$$

(3.7) ning surat va maxrajini $\xi S + G$ ifodaga bo'lib, $\frac{m C}{\xi S + G} = T$ deb belgilasak, quyidagi uzatish funksiyasiga ega bo'lamiz:

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

24-misol. Doimiy tokli elektr yuritmaning uzatish funksiyasini aniqlang. Bu yerda yakor zanjiridagi kuchlanish U_{ya} kirish kattaligi, aylanish chastotasi ω chiqish kattaligi hisoblanadi.

$$U_{nom} = 220 \text{ V}, I_{nom} = 2,06 \text{ A}, 2p = 2, 2a = 2, \omega_{ya} = 1652,$$

$$r_{ya} + r_{qo'sh} = 22,6 \text{ } \Omega, n_{nom} = 1500 \text{ ayl / min}.$$

Yechish. Yakor zanjiridagi elektr balans tenglamasini yozamiz:

$$U_{ya} = R_{ya} i_{ya} + L_{ya} \frac{di_{ya}}{dt} + e. \quad (3.8)$$

Elektr yuritma validagi momentlarning balans tenglamasi

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_n, \quad (3.9)$$

(3.8) tenglamadagi $e = c_e \omega$. (3.9) tenglamaga $M_n = 0$ qo'yib, moment kattaligi uchun $M = c_m i_{ya}$ qiymatni qo'ysak:

$$U_{ya} = R_{ya} i_{ya} + L_{ya} \frac{di_{ya}}{dt} + C_e \omega,$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = G_m i_{ya}.$$

(3.11) dan i_{ya} ifodani topib, uning hosilasi (3.10) ga qo'yilsa,

$$I_{ya} = \frac{R_{ya} \cdot j \frac{d\omega}{dt}}{C_m} + \frac{L_{ya} j}{C_m} \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + C_e \omega. \quad (3.12)$$

Tenglamaning chap va o'ng qismini C_E kattaligiga bo'lib, differensiallash operatsiyasini $d/dt = p$ operatori bilan almashtirib, „ ω “ qavsdan tashqariga chiqarilsa,

$$\frac{I_{ya}}{C_e} = \left(\frac{L_{ya} j}{C_m C_e} p^2 + \frac{L_{ya} j}{C_m C_e} + 1 \right) \cdot \omega. \quad (3.13)$$

Katalog qiymatlaridan foydalanib, quyidagi kattaliklarni aniqlaymiz:

$$L_{ya} = \frac{30}{\pi} \cdot 0,25 \frac{I_{nom}}{p \cdot N_{nom} \cdot I_{ya, nom}} = 0,534 \text{ Hz},$$

$$R_{ya} = r_{ya} + r_{qo'sh} = 22,6 \Omega$$

$$C_e = \frac{p \cdot N}{A \cdot 60} = \frac{p \cdot \omega_z}{A \cdot 60} = 55,7 \text{ V} \cdot \text{c},$$

$$C_m = \frac{pN}{2\pi A} = 520 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{c}^2 \cdot \text{A}}.$$

Quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$T_m = \frac{R \cdot j}{C_m \cdot C_e} \left[\frac{\Omega \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2}{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{c}^2 \cdot \text{A}} \cdot \text{V} \cdot \text{c}} \right] = 0,002 \text{ c},$$

$$T_e = \frac{L}{R} \cdot \left[\frac{H}{\Omega} \right] = \left[\frac{\frac{\text{V} \cdot \text{c}}{\text{A}}}{\frac{\text{B}}{\text{A}}} \right] = 0,0237 \text{ c},$$

$$k = \frac{1}{C_e} = 0,018 \cdot \frac{1}{\text{V} \cdot \text{c}}.$$

(3.13) ifodadagi birinchi qo'shiluvchini R ga ko'paytirib va bo'lib quyidagi kattalikka ega bo'lamiz:

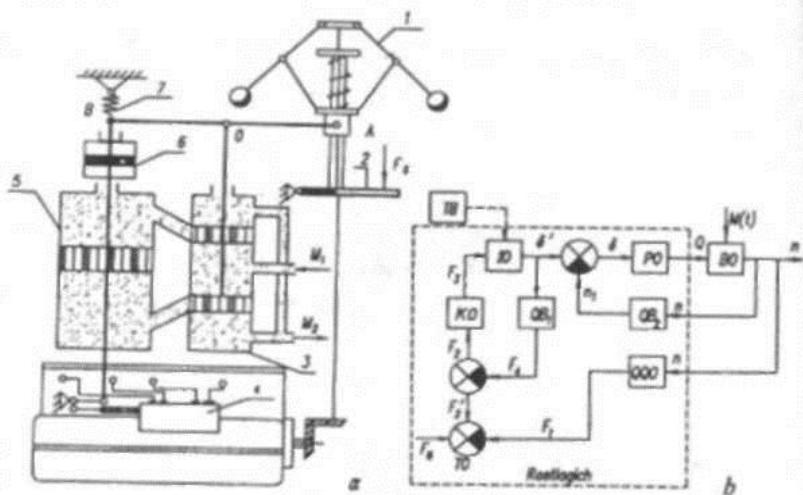
$$\frac{L_{ya} \cdot jR}{C_m \cdot C_e \cdot R} = T_m \cdot T_e,$$

olingan qiymatlar (3.13) ga qo'yilsa,

$$\frac{\omega}{I_{ya}} = \frac{1/c_z}{T_m T_e p^2 + T_m p + 1}$$

$$W(p) = \frac{0,018 \frac{1}{V \cdot c}}{0,49 \cdot 10^{-4} p^2 + 1 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1}$$

25-misol. 3.3-rasmda keltirilgan ABS ning qayta bog'lanish zvenosi bo'lgan izodrom mexanizm harakat tenglamasi va uzatish funksiyasini aniqlang.



3.3-rasm. Ichki yonuv dvigateling aylanish chastotasini avtomatik boshqarish tizimining prinsipial (a), funksional (b) sxemalari: 1—markazdan qochma mayatnik (QOQO — qabul qiluvchi organ); 2—tayanch yelkasi; 3—zolatnik (KO — kuchaytiruvchi organ); 4—issiqlik nasosi (PO — rostlovchi organ); 5—servomotor porsheni (IO — ijro organi); 6—izodrom bloki; 7—prujina.

Yechish. Harakatlanayotgan massaning inersiya kuchini hisobga olmagan holda izodrom harakat tenglamasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_p + F_k = 0,$$

bu yerda: $F_p = B^* \Delta z$ — izodrom prujina kuchi;

B — qattiqlik koeffitsienti;

Δz — prujinaning siljishi;

$F_k = v \frac{d\Delta z_k}{dt} - k_n \frac{d\Delta z_n}{dt}$ — katarakta kuchi;

v — proporsionallik koeffitsienti;

Δz_k — katarakta yuzasining siljishi;

Δz_p — porshen yuzasining siljishi;

k_p — ni z_k dan qanchaga farq qilishini ko'rsatuvchi proporsionallik koeffitsienti.

Yuqoridagilarni o'rniga qo'yib, tenglamani quyidagi ko'rinishda olamiz:

$$b\Delta z_k + v \frac{d\Delta z_k}{dt} - k_n v \frac{d\Delta z_k}{dt} = 0, \quad \Delta z = \Delta z_k$$

yoki $(T_k p + 1)\Delta z_k = k_p T_k p \Delta z_p$,

bu yerdan $W(p)_{10k} = \frac{\Delta z_k}{\Delta z_p} = \frac{k_p T_k p}{T_k p + 1}$,

bu yerda $T_k = \frac{v}{b}$; $k_p \frac{\Delta z_{k,0}}{\Delta z_{p,0}}$

26- misol (3.3-rasm). ABS uchun ikki tomonlama zolotnikli servomotorning uzatish funksiyasini toping.

Yechish. Servomotorning harakat tenglamasi uning harakat yo'nalishiga qarab tuziladi. Masalan, porshenning yuqoriga harakatlanish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$S_2 q_2 - S_1 q_1 + F_p = 0,$$

bu yerda q_1, q_2 — mos ravishda silindrdagi yuqori va past bosim;

S_1, S_2 — porshenning past va yuqori bosim tomonidagi yuzasi;

F_p — boshqarish organining qarshilik kuchi.

1 va 2-yuzalar uchun uzilmaslik tenglamasi quyidagicha:

$$s_1 \frac{d\Delta z_p}{dt} = \Delta x a \mu \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (q_1 - q_T)},$$

$$s_2 \frac{d\Delta z_p}{dt} = \Delta x a \mu \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (q_p - q_2)},$$

bu yerda: q_c, q_n — to'kish yuzasidagi bosim va karterning past bosimi; Δz_p — porshen harakati koordinatasi; Δx — zolotnik harakati tenglamasi; a — zolotnik teshigi kengligi; μ — oqimning proporsionallik koeffitsienti; g — erkin tushish tezlanishi; γ — ish suyuqligining zichligi.

Bu tenglamalardan q_1 va q_2 larning kattaliklarini topib formulaga qo'yamiz va quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\gamma \cdot (S_1^3 + S_2^3)}{2q \cdot (S_2 \cdot q_p - S_1 \cdot q_T + F_p) \cdot a^2 \cdot \mu^2}} = \frac{d\Delta z_p}{dt}$$

yoki

$$\Delta x = T_s \frac{\Delta z_p}{dt} = T_s p \Delta z_p$$

bu yerda T_s — servomotor vaqt doimiysi, bu yerdan uzatish funksiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$W(p) = \frac{\Delta z_p}{\Delta x} = \frac{1}{T_s p}$$

27- misol. ABSning boshqarish obyekti — ichki yonuv dvigatelining harakat tenglamasi va uzatish funksiyasini tuzing.

Yechish. Dvigatelning aylanma momenti M_d , qarshilik momenti M_q va inersiya momenti $J \frac{d\omega}{dt}$ bilan tenglashtiriladi.

$$M_d - M_q = J \frac{d\omega}{dt}$$

IYoD aylanish momenti:

$$M_d = 75 \cdot \frac{\gamma \cdot z^{3,27}}{k_1 \cdot g_e \cdot \omega}$$

bu yerda: γ — yoqilg'i zichligi; k_1 — konstruktiv koeffitsient, z — yoqilg'i nasosi reykasining foydali qadami, g_e — yoqilg'ining solishtirma sarf koeffitsienti, $\omega \frac{\pi m}{60}$ — IYoD aylanish chastotasi, qarshilik momenti $M_q = B \omega^m$, bu yerda B va M — ish mashinasida aniqlanadigan ba'zi doimiyliklar. Teylor qatori yordamida tenglamani yechib quyidagi ko'rinishdagi tenglama olamiz:

$$J \cdot \frac{d\Delta\omega}{dt} + \left(75 \cdot \frac{\gamma \cdot z_0^{3,27}}{k_1 \cdot g_e \cdot \omega_0^2} + m \cdot B \cdot \omega_0^{m-1} \right) \cdot \Delta\omega = 245 \cdot \frac{\gamma \cdot z_0^{2,27}}{k_1 \cdot g_e \cdot \omega_0} \cdot \Delta z$$

$$\text{yoki } J \frac{d\Delta\omega}{dt} + F_g \Delta\omega = k_g \Delta z,$$

$$\text{bu yerda } \frac{J d\Delta\omega}{F_g dt} + \Delta\omega = \frac{k_g}{F_g} \Delta z,$$

bu yerda: F_g — IYoD turg'unlik omili,
 k_g — yoqilg'i nasosi reyka siljishi paytidagi moment M_d ning o'zgarish darajasi.

Yakuniy ko'rinishi:

$$(T_d p + 1) \Delta\omega = k_d \Delta z,$$

bu yerda T_d va k_d — IYoD kuchlanish koeffitsienti va vaqt doimiysi.

IYoD uzatish funksiyasi:

$$W(p) = \frac{\Delta\omega}{\Delta z} = \frac{k_d}{T_d p + 1}.$$

28-misol. ABS qabul qiluvchi organi — markazidan qochma mayatnik (MQM)ning uzatish funksiyasini toping va differensial tenglamasini tuzing.

Yechish. MQM muftasiga keltirilgan teng kuchlar tenglamasini ortirma ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta F_{\text{mqm}} = \Delta F_p + \Delta F_l + F_{\text{ish}},$$

yuklarning markazdan qochma kuchlarining orttirmasi

$$\Delta F_{\text{mqm}} = am_x \frac{l_1}{l_2} \left(r_m + \frac{l_1}{l_2} z_0 \right) i^2 2\omega_0 \Delta\omega + am_x \left(\frac{l_1}{l_2} i\omega_0 \right)^2 \Delta z,$$

bu yerda a — MQM konstruktiv koeffitsienti:

m_x, l_1, l_2 — yuklar og'irligi va ular joylashishining geometrik o'chamlari, η — MQM ning minimal aylanish radiusi; z_0 — MQM muftasining boshlang'ich siljish kattaligi; ω — dvigatel valining aylanish chastotasi, ΔF_{mqm} — orttirmasiga prujina qarshilik kuchining orttirmasi:

$$\Delta F_p = b \Delta z,$$

bu yerda b — prujinaning qattqlik koeffitsienti.

MQM ning barcha harakatlanayotgan og'irligining energiya kuchi orttirmasi:

$$\Delta F_l = m' \frac{d^2 \Delta z}{dt^2}.$$

MQM muftasining ishqalanish kuchi:

$$\Delta F_{\text{ish}} = \gamma \frac{d\Delta z}{dt},$$

bu yerda γ — ishqalanish koeffitsienti.

$\Delta F_{\text{mqm}}, \Delta F_p, \Delta F_l, F_{\text{ish}}$ qiymatlarni teng kuchlar tenglamasiga qo'yib, Δz va $\Delta\omega$ larga nisbatan o'zgartirishlarni bajarib quyidagini olamiz:

$$m' \frac{d^2 \Delta z}{dt^2} + \gamma \frac{d\Delta z}{dt} + \left[b - am_x \left(\frac{l_1}{l_2} i\omega_0 \right)^2 \right] \Delta z = am_x \frac{l_1}{l_2} \left(r_m + \frac{l_1}{l_2} z_0 \right) i^2 2\omega_0 \Delta\omega$$

O'zgartirilgandan keyin berilgan tenglamani operator ko'rinishida yozamiz:

$$(T^2 p^2 + T_1 p + 1)\varphi = k_m, \text{ bu yerda } k_m = \frac{am_x \frac{l_1}{l_2} \left(r_m - \frac{l_1}{l_2} z_0 \right) i^2 2\omega_0^2}{\left[b - am_x \left(\frac{l_1}{l_2} i\omega_0 \right)^2 \right] z_0};$$

$u_g = u_C + u_R$ ni vaqt bo'yicha differensiallab quyidagini olamiz:

$$\frac{du_g}{dt} = \frac{du_C}{dt} + \frac{du_R}{dt},$$

$R_0 C_0$ zanjiridagi tok:

$$i = C_0 \frac{du_C}{dt},$$

bunda

$$\frac{du_C}{dt} = \frac{i}{C_0}, \quad u_R = i R_0.$$

R_0 qarshiligi qismida u_0 chiqishidagi kattalik orqali teskari bog'lanish bo'g'ining tokini olamiz:

$$i = \frac{u_0}{R_0'}$$

Yuqorida tuzilgan tenglamalarni u_g va u_0 larga nisbatan yechib:

$$kT \frac{du_g}{dt} = u_0 + T \frac{du_0}{dt},$$

bu yerda $k = \frac{R_0'}{R_0}$ va $T = R_0 C_0$.

Operator ko'rinishida: $kTp u_g = u_0(1 + Tp)$.

Uzatish funksiyasi: $W_{10,3}(p) = \frac{u_0}{u_g} = \frac{kTp}{1 + Tp}$.

30-misol. 3.4-rasmda keltirilgan elektr mashina kuchay-tirgichi (EMK) sxemasi uchun uzatish funksiyasini toping va tenglamasini tuzing.

Yechish. Kirxgof qonuni bo'yicha juda kichik miqdorda o'sib boruvchi tebranishlar ta'sirini operator ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

a) bu misolimizda EMK har bir boshqarish chulg'ami uchun bir xil:

$$k_{y1} \Delta u_{y1} = \Delta i_{y1} (1 + T_{y1} p),$$

bu yerda $k_{y1} = \frac{1}{\sum r_{y1}}$ va $T_{y1} = \frac{L_{y1}}{\sum r_{y1}}$ — har bir chulg'amning kuchaytirish koeffitsienti va vaqt doimiysi; L_{y1} va $\sum r_{y1}$ — boshqarish chulg'amining induktiv va umumiy aktiv qarshiligi;

b) yakorning ko'ndalang qisqa tutashgan zanjiri uchun:

$$k_2 \Delta e_2 = \Delta i_2 (1 + T_2 p),$$

bu yerda $k_2 = \frac{1}{\sum R_2}$ va $T_2 = \frac{L_2}{\sum R_2}$ — ko'ndalang chulg'amning kuchaytirish koeffitsienti va vaqt doimiysi.

Δe_2 va Δi_2 — ko'ndalang chulg'amdagi EYK va tokning o'sishi;

d) yuklamaning chiqish zanjiri uchun:

$$k_{yu} \Delta e_{yu} = \Delta i_{yu} (1 + T_{yu} p),$$

bu yerda $k_{yu} = \frac{1}{r_{yu} + r_{ya}}$ va $T_{yu} = \frac{L_{yu} + L_{ya}}{r_{yu} + r_{ya}}$ — chiqish o'qi-

dagi kuchaytirish koeffitsienti va vaqt doimiysi.

$r_{yu} \gg r_{ya}$ va $L_{yu} \gg L_{ya}$ bo'lgani uchun r_{yu} va L_{yu} borligi hisobga olinsa, bunda $\Delta e_{yu} \approx \Delta u_{yu}$. Yuklangan EMK uchun

$$\Delta e_2 = 2C_y \Delta i_y - C_n \Delta i_n - C_2 \Delta i_2,$$

bu yerda C_y , C_n , C_2 — EMK tuzilishidan kelib chiqadigan doimiy koeffitsientlar. Yuklanish zanjiridagi EYK o'sishi ko'ndalang chulg'am toki orqali keltiriladi.

$$\Delta e_{yu} = C_3 \Delta i_2.$$

Yuqorida tuzilgan tenglamalarni birga yechib, quyidagini topamiz:

$$\Delta u_{yu} = \Delta e_{yu} = \frac{2C_y C_{y1} W(p)_{y1} W(p)_n u_{y1}}{1 + C_{yu} C_3 W(p)_{yu} W(p)_2 + C_2 W(p)_2},$$

Shunday qilib, EMK ning uzatish funksiyasi

$$W(p) = \frac{\Delta u_{yw}}{\Delta u_{yt}} = \frac{2C_3 C_{yt} W(p)_{yt} W(p)_{yw}}{1 + C_{yw} C_3 W(p)_{yw} W(p)_2 + C_2 W(p)_2},$$

bu yerda

$$W(p)_{yt} = \frac{k_{yt}}{T_{yt} p + 1}, \quad W(p)_2 = \frac{k_2}{1 + T_2 p} \quad \text{va} \quad W(p)_{yw} = \frac{k_{yw}}{1 + T_{yw} p}.$$

31-misol. Boshqaruv obyektining uyg'otishli ABS ida sinxron generatorning uzatish funksiyasini aniqlang.

Yechish. Uyg'otishli ABS ning o'tish jarayoni uning elektromagnit xususiyati orqali aniqlanadi. Uyg'otishni ABS i generatorining uyg'otish chulg'ami kirish qisqichlariga keltirilgan r_a va x_d qarshiliklar bilan almashtirish qabul qilingan. Bu zanjirda uyg'otish chulg'ami klemmasidagi u_{yu} kuchlanish kirish kattaligi, $i_{chiq} = u_{yu}$ — esa generatorning chiqish kattaligi hisoblanadi. Kirxrof qonuniga asosan uyg'otish elektr zanjiri uchun quyidagini yozish mumkin:

$$u_{uy} = i_{chiq} r'_a + L'_d \frac{di_{chiq}}{dt} = i_{uy} (r'_a + L'_d p) \quad \text{yoki} \quad \Delta u_{uy} = \Delta i_{chiq} (r'_a + L'_d p),$$

bu yerdan

$$k_{kir} \Delta u_{uy} = \Delta i_{chiq} (1 + T'_d p), \quad \text{bu yerda} \quad k_{kir} = \frac{1}{r'_a} \text{ — kirish zanjiri}$$

bo'yicha generatorning kuchaytirish koeffitsienti, $T'_d = \frac{L'_d}{r'_a}$ — o'tish jarayoni uchun generatorning vaqt doimiysi.

Generatorning uzatish funksiyasi:

$$W(p) = \frac{\Delta i_{chiq}}{\Delta u_{uy}} = \frac{k_{kir}}{1 + T'_d p}.$$

Kirish kuchlanish u_{kir} dan chiqish kattaligi u_{chiq} ga o'tish uchun quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$i_{kir} = c e'_d,$$

bu yerda c — generator tipiga bog'liq bo'lgan doimiy koeffitsient.

Generatorning EYK

$$e'_d = \sqrt{\left(u_x + \frac{P_c r_c + Q_c x'_d}{u_x}\right)^2 + \left(\frac{P_c x_d - Q_c r_c}{u_x}\right)^2},$$

bu yerda P_c va Q_c — sinxron generatorning aktiv va reaktiv quvvati; r_c , x'_d va x_d — mos holda aktiv va reaktiv o'tish va o'rnatilgan qarshiliklar. Teylor qatoriga e'_d funksiyani yozib, quyidagi o'sib boruvchini olamiz:

$$\Delta e'_d = \left[\frac{u_{x_0}}{e'_{d_0}} - \frac{(P_c r_c + Q_c x'_d)^2 + (P_c x_d - Q_c r_c)^2}{u_{r_0}^3 e'_{d_0}} \right] \Delta u_x$$

yoki

$$\Delta e'_d = \frac{1}{k_u} \Delta u_x$$

yuqorida olingan tenglamalarni birgalikda Δu_x va Δu_b larga nisbatan yechib quyidagini olamiz:

$$W(p) = \frac{\Delta u_x}{\Delta u_{kir}} = \frac{k_{kir} \frac{C}{k_u}}{1 + T'_d p} = \frac{k_g}{1 + T'_d p}.$$

32-misol. Sinxron generator qabul qiluvchi organing uzatish funksiyasini aniqlang.

Yechish. Qabul qiluvchi organing (QQO) kirish kattaligi u generator kuchlanishi, chiqish kattaligi esa elektromagnit toki hisoblanadi.

Elektromagnit induktivligini o'zgarimas deb hisoblab, Kirxgof qonuniga asosan QQO uchun tenglama tuzamiz:

$$u_x = r_y i_{q.o.} + r_d i_{q.o.} + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} r_2 i_{q.o.} + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} L_e \frac{di_{q.o.}}{dt} = (r_y + r_d + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} r_e) i_{q.o.} + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} L_e \frac{di_{q.o.}}{dt},$$

bu yerda r_y, r_d, r_e — ustavka, diod ko'prigi va elektromagnitning aktiv qarshiliklari; $I_{q.o.}$ — qabul qiluvchi organ toki; L_e — elektromagnit induktivligi.

33-misol. Sinxron generator uyg'otishli ABS ning qayta bog'lanish (QB) transformatorining uzatish funksiyasini aniqlang.

Yechish. Kirxrof qonuniga asosan qayta bog'lanish transformatori uchun quyidagini yozish mumkin:

u_k tenglamani quyidagicha o'zgartirish mumkin:

$$k_{q\sigma} u_k = i_{q\sigma} + T_{q\sigma} \frac{di_{q\sigma}}{dt} = i_{q\sigma} (1 + T_{q\sigma} p),$$

bu yerda $k_{q\sigma} = \frac{1}{r_f + r_d + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} r_e}$ — QQO kuchaytirish koeffi-

tsienti, $T_{q\sigma} = \frac{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} L_e}{r_f + r_d + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} r_e}$ — QQO vaqt doimiysi,

QQO ning uzatish funksiyasi

$$W(p) = \frac{i_{q\sigma}}{u_k} = \frac{k_{q\sigma}}{1 + T_{q\sigma} p}.$$

33-misol. Sinxron generator uyg'otishli ABS ning qayta bog'lanish (QB) transformatorining uzatish funksiyasini aniqlang.

Yechish. Kirxrof qonuniga asosan qayta bog'lanish transformatori uchun quyidagini yozish mumkin:

$$u_u = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \text{ va}$$

$$0 = (R_{T,b} + r_2 + r_{T,b}) i_2 + (L_2 + L_{T,b}) \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

bu yerda u_u — teskari bog'lanish transformatori kirishiga berilgan uyg'otuvchi kuchlanish; r_1 , L_1 va i_1 — qayta bog'lanish transformatori birlamchi chulg'aming aktiv qarshiligi, induktivligi va toki; r_2 , L_2 va i_2 — teskari bog'lanish transformatorining ikkilamchi chulg'ami aktiv qarshiligi, induktivligi va toki; M — transformator chulg'amlari o'zaro induktivligi koeffitsienti; $r_{T,b}$ — aktiv rostlovchi qarshilik.

$R_{T,b}$ va $L_{T,b}$ — elektromagnit teskari bog'lanish chulg'aming aktiv qarshiligi va induktivligi.

Ikkala tenglamani operator ko'rinishida yozib, u_u , i_2 larga nisbatan ularni birgalikda yechib, o'zgartirishlardan keyin quyidagini olamiz:

$$10p^4 + 5p^3 + 6p^2 + 2p = 0.$$

Yechish. Bu tenglamaning bitta koeffitsienti 0 ga teng, demak, quyidagi tenglama uchun Rauss sharti bajarilsa, $10p^3 + 5p^2 + 6p + 2 = 0$, bu yerda $a_0 = 10$; $a_1 = 5$; $a_2 = 6$; $a_3 = 2$ sistema barqarorlik chegarasida joylashgan deyiladi.

Rauss jadvalini tuzamiz.

$$\begin{vmatrix} a_0 & a_2 \\ a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10 & 6 \\ 5 & 2 \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} b_0 & b_2 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 2 & 0 \end{vmatrix}$$

siyasi:

$$W(p) = \frac{i_2}{u_u} = \frac{k_1 T_{m2} p}{1 + (T_1 + T_2)p + (T_1 T_2 - T_{m1} T_{m2})p^2} = \frac{k_1 T_{m2} p}{1 + T_1' p + T_2'^2 p^2}.$$

34-misol. Ko'mir ustun, yelka prujinadan tashkil topgan kuchaytiruvchi-o'zgartiruvchi uskunaning uzatish funksiyasini toping va tenglamasini tuzing.

Yechish. Elektromagnit yakorida va kuchaytiruvchi -o'zgartiruvchi elementga taalluqli bo'lgan momentlarning tenglik shartiga asosan quyidagi tenglamani tuzish mumkin:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + h \frac{d\alpha}{dt} = M_e + M_{k.u} - M_{pr}.$$

bu yerda: J — yakor harakatlanuvchi qismining inersiya momenti; h — ishqalanish kuchi koeffitsienti.

M_e , $M_{k.u}$, M_{pr} — mos ravishda ko'mir ustun va prujina qarshiligi momentlarining elektromagnit reaksiyasi:

$$G(p) = 0,1p^4 + p^2 + 10p^3 + 40p + 100 = 0.$$

Yechish. Tenglamaga $\varphi = j\omega$ ni qo'yib, haqiqiy qismidan mavhum qismini ajratib quyidagi ko'rinishni olamiz:

$$G(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega).$$

Yuqoridagi tenglamalardan

$$\Delta M_e = \left(\frac{2c_1 \cdot i_{kr0}}{\sin \alpha_0} \right) \cdot \Delta i_V - \left(\frac{c_1 \cdot i_{kr0}^2}{\sin 2\alpha_0} \cos \alpha_0 \right) \cdot \Delta \alpha = k_1 \cdot \Delta i_{kr0} - k_2 \cdot \Delta \alpha$$

$$\Delta M_{k,u} = c_2 \Delta \alpha; \Delta M_{pr} = c_3 \Delta \alpha.$$

ΔM_c , ΔM_d va ΔM_{pr} kattaliklarni berilgan tenglamaga qo'yib, o'zgartirishlardan keyin operator ko'rinishida quyidagini olamiz:

$$(T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1) \cdot \Delta \alpha = k_1' \cdot \Delta i_{kr},$$

bu yerda $T_2^2 = \frac{J}{k_2 + c_3 - c_2}$; $T_1 = \frac{h}{k_2 + c_3 - c_2}$; $k_1' = \frac{k_1}{k_2 + c_3 - c_2}$.

Yakor juda kichik burchakka siljiganda ko'mir ustunning o'zidan o'zi qizishi hisobga olinmaydi, bu holda $\Delta r_{k,u} = C_4 \Delta \alpha$ deb olish mumkin. Tenglamaga $\Delta \alpha$ o'rniga $\frac{\Delta r_{k,u}}{c_4}$ ni qo'yib quyidagini olamiz.

$$(T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1) \cdot \Delta r_{k,u} = k_1' \cdot c_4 \cdot \Delta i_{kr},$$

uzatish funksiyasi

$$W_1(p) = \frac{\Delta r_{k,u}}{\Delta i_{kr}} = \frac{k_1' \cdot c_4}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} = \frac{k_{12}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}.$$

35-misol. Sinxron generator ABS uyg'otuvchisi — ijrochi organning uzatish funksiyasini aniqlang va tenglamasini tuzing.

Yechish. Kirxgof qonuni bo'yicha uyg'onish chulg'ami uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$u_{u,u} = i_{u,u} (R_{sh} + R_{u,u} + r_{k,u}) + L_{u,u} \frac{di_{u,u}}{dt},$$

bu yerda $i_{u,u}$, $u_{u,u}$ — uyg'otuvchining uyg'onish toki va kuchlanishi, $u_{u,u} = u_{g,u}$, $U_{g,u}$ — generatorning uyg'otish chulg'ami kuchlanishi; R_{sh} , $R_{u,u}$, $r_{k,u}$ — mos ravishda shunt, uyg'otuvchining uyg'otish chulg'ami va ko'mir ustun qarshiliklari.

$r_{k,u}$ o'zgarishi bilan uyg'otuvchi uyg'otish chulg'ami-ning $U_{u,u}$ kuchlanishi va $i_{u,u}$ toki o'zgaradi. Demak, berilgan tenglamada 3 ta o'zgaruvchi $U_{u,u}$, $i_{u,u}$ va $r_{k,u}$ mavjud. Tenglamalarni chiziqli holga keltirgandan so'ng quyidagini olamiz:

$$\Delta U_{u,u} = \Delta i_{u,u} (R_{zh} + R_{u,u} + r_{u,o}) + i_{u,u} \Delta r_{k,u} + L_{u,u} \frac{di_{u,u}}{dt}.$$

Uyg'otuvchining EYK:

$$e_u = \frac{pN}{a60} \Phi p = C_u \Phi,$$

bu yerda p , N , A va n — mos holda aktiv o'tkazgichlar, yakorning parallel chulg'ami juft qutblar soni va uyg'otuvchining aylanish chastotasi soni;

$\Phi = C_{u,u} \omega_{u,u} i_{u,u}$ — magnit oqimi;

$C_{u,u}$ — chulg'amdagi magnit oqimini xarakterlovchi doimiy kattalik;

$\omega_{u,u}$ — uyg'otuvchining uyg'otish chulg'amidagi o'ramlar soni.

Yuqoridagi tenglamalarni birgalikda $\Delta e_{u,u}$ va $i_{u,u}$ larga nisbatan yechib, quyidagi o'sib boruvchini olamiz:

$$\Delta e_{u,u} = C_{u,u} \omega_{u,u} \Delta i_{u,u} = k_u \Delta i_{u,u}.$$

Uyg'otuvchining chiqish tavsifnomasi quyidagi tenglamada namoyon bo'ladi: $e_{\text{chiq}} = u_{\text{chiq.g.}} + i_{ya} r_{ya}$ yoki o'sishida

$$\Delta e_{\text{chiq}} = \Delta u_{\text{chiq.g.}} + \Delta i_{ya} r_{ya}; \quad \Delta u_{u,u} = \Delta u_{u,u}; \quad \Delta i_{ya} = \Delta i_{u,u} + \frac{\Delta u_{\text{chiq.g.}}}{r_u}.$$

Bu yerda r_u — generator uyg'otish chulg'ami qarshiligi. Yuqoridagi tenglamalarni birgalikda yechib, quyidagini topamiz:

$$(1 + T_{l,o}) \Delta u_{\text{chiq.g.}} = -k_{l,o} \Delta r_{k,u},$$

$$i_{u,u.o} = \frac{r_{ya} - k_1}{1 + \frac{r_{ya}}{r_u}}$$

bu yerda $k_{i.o} = \frac{R_{u,u} + R_{sh} + r_{k,u.o} - \frac{k_u - r_{ya}}{1 + \frac{r_{ya}}{r_{k,u}}}}{r_{k,u}}$ — ijrochi organning

kuchaytirish koeffitsienti,

$$T_{i.o} = \frac{L_{u,u}}{R_{u,u} + R_{sh} + r_{k,u.o} - \frac{k_u - r_{ya}}{1 + \frac{r_{ya}}{r_{k,u}}}}$$
 — ijrochi organning vaqt doimiysi.

Uzatish funksiyasi

$$W(p) = \frac{\Delta u_{u,k}}{\Delta r_{k,u}} = \frac{k_{i.o}}{1 + T_{i.o} p}$$

36-misol. ABS ijrochi organi — ko'tarma nasos asinxron elektr yuritmasining uzatish funksiyasini toping (2.4-rasm, a).

Yechish. ABS ning asinxron elektr motori elektrome-xanik o'zgartgich bo'lib xizmat qiladi. Bunday avtomatik boshqarish tizimi ABS ini tadqiq qilganda elektromexanik jarayon hisobga olinadi. U quyidagi tenglamada ko'rsatilgan:

$$J \frac{d\omega}{dy} = M_k - M_s$$

bu yerda $\pm M_k = \frac{m_1(I_2')^2 \omega}{s\omega}$ — motorning elektromagnit momenti.

$M_q = M_o + (M_{n,q} - M_o) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^b$ — ishlab chiqarish mexanizmining qarshilik momenti. M_k va M_q momentlar tenglamasi chiziqlimas funksiya hisoblanadi, ularni Teylor qatori yordamida chiziqlantirish mumkin.

$$\Delta M_k = \left(\frac{2m_1 \cdot I'_{20} \cdot r'_2}{s \cdot \omega_0} \right) \cdot \Delta I'_2 - \left(\frac{m_1 \cdot (I'_{20})^2 r'_2}{s \cdot \omega_0^2} \right) \cdot \Delta \omega = k_{e1} \cdot \Delta I'_2 - k_{e2} \cdot \Delta \omega, \quad \Delta M_q = b \cdot (M_{n,q} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^{b-1} \Delta \omega = k_q \cdot \Delta \omega,$$

bu yerda m_1 — proporsionallik koeffitsienti; I_2 va r_2 — statorga kelgan rotor toki va qarshiligi; s — asinxron motor sirpanishi; M_0 — mexanizm harakatlanayotgan qismlarining ishqalanish qarshiligi momenti; $M_{n,q}$ — nominal aylanish chastotasi vaqtidagi moment qarshiligi; $b=1,2,0$ — ish mexanizmi turini xarakterlovchi koeffitsient.

O'sishda berilgan tenglamani ΔM_k va ΔM_q kattaliklarni qo'yib quyidagicha yozish mumkin:

$$J \cdot \frac{d\Delta\omega}{dt} = k_{e1} \Delta I'_2 - k_{e2} \Delta \omega - k_q \Delta \omega \quad \text{yoki} \quad T \frac{d\Delta\omega}{dt} + \Delta \omega = k \Delta I'_2,$$

bu yerda $T = \frac{J}{k_{e2} + k_q}$ — asinxron motor elektromexanik jaryonining vaqt doimiysi;

$k = \frac{k_{e1}}{k_{e2} + k_q}$ — elektromotor kuchaytirish koeffitsienti.

Operator ko'rinishida quyidagini yozish mumkin:

$$(Tp+1)\Delta\omega = k\Delta I'_2.$$

Uzatish funksiyasini esa quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$W(p) = \frac{\Delta\omega}{\Delta I'_2} = \frac{k}{Tp+1}.$$

37-misol. ABS ni boshqarish obyekti - o'ruvchi kombaynning differensial tenglamasini tuzing (2.3-rasm).

Yechish. Don yig'uvchi kombayn - uchta energiya akkumulyatoriga ega boigan murakkab dinamik sistema bo'lib, bulardan I_1 , va ω_1 , kattaliklar birinchi keltirilgan dvigatelni, I_2 va ω_2 kattaliklar, ikkinchi - maydalagichni va I_3 , ω_3 lar uchinchisi - kombayn yurish qismini

xarakterlaydi. Yuqoridagilar uchun quyidagi tenglamalarni yozish mumkin:

$$J_1 = \frac{d\omega_1}{dt} = M_d - (M'_{q1} + M''_{q1}); J_2 = \frac{d\omega_2}{dt} = Mp_2 - Mq_2;$$

$$J_3 = \frac{d\omega_3}{dt} = Mn_3 - Mq_3$$

bu yerda M_d — dvigatel momenti,

$M_{q1}, M_{q1}', M_{q2}, M_{q3}$ — mos ravishda kombayn qismlari qarshilik momentlari;

M_{uz2}, M_{uz3} — J_2 va J_3 inersiya momentli qismlarga nisbatan harakatlanuvchi uzatiladigan hisoblangan momentlar.

Kombayn yuklanishining ABS turg'unligini analiz qilish uchun quyidagilarni kiritish maqsadga muvofiqdir: 1) inersion bo'lmagan zvenolar — dvigatel va markazdan qochma mayatnik; 2) qalin tasmali uzatmada energiya yo'qolishi ishtirok etmaydi; 3) baraban tagligi mustahkam qotirilgan; 4) bug'doyning qabul qilingan og'irligidan tashqari barcha tashqi ta'sirlar 0 ga teng.

Alohida elementlarning statik tavsifnomalarini quyidagi funksiyalar ko'rinishida yozish mumkin:

$$M_d = f(\lambda; \omega_1); M'_{d1} = i_2 M_{p2}; M_{q1}'' = i_3(s) M_{p3};$$

$$M_{q2} = f(\omega_2; g_5); M_{q3} = f(v_k); g_5 = k_v v_k;$$

$$\omega_2 = f(\omega_1; M_{p2}); \omega_3 = f(\omega_1); H = k_v k_n v_k,$$

bu yerda λ — yonilg'i nasosi reykasining holat kattaligi;

$i_2, i_3(s)$ — mos holda maydalagich va yuritish qismi uzatmasining uzatish kattaliklari; s — variator shkvining holat kattaligi; v_k — kombayn tezligi; g_5 — vaqt birligi ichida bug'doy og'irligi miqdori; H — kelayotgan bug'doy qatlami qalinligi.

Bu bog'liqliklar chiziqli emas. ΔH ning kichik o'zgarishi uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\Delta M_d = \left(\frac{\partial M_d}{\partial \lambda}\right)_0 \Delta \lambda + \left(\frac{\partial M_d}{\partial \omega_1}\right)_0 \Delta \omega_1; \Delta M'_{q1} = i_2 \Delta M_{p2};$$

$$\begin{aligned} \Delta M_{q1} &= \left(\frac{\partial M_{q1}}{\partial s}\right)_0 \Delta s + \left(\frac{\partial M_{q1}}{\partial M_{p3}}\right)_0 \Delta M_{p3}; \\ \Delta M_{q2} &= \left(\frac{\partial M_{q2}}{\partial \omega_2}\right)_0 \Delta \omega_2 + \left(\frac{\partial M_{q2}}{\partial g_8}\right)_0 \Delta g_8; \\ \Delta M_{q3} &= \left(\frac{\partial M_{q3}}{\partial v_k}\right)_0 \Delta v_k; \\ \Delta \omega_0 &= \left(\frac{\partial \omega_2}{\partial \omega}\right)_0 \Delta \omega_1 + \left(\frac{\partial \omega_2}{\partial M_{p2}}\right)_0 \Delta M_{p2}; \\ \Delta \omega_3 &= \left(\frac{\partial \omega_3}{\partial \omega_1}\right)_0 \Delta \omega_1 + \left(\frac{\partial \omega_3}{\partial s}\right)_0 \Delta s - \left(\frac{\partial \omega_3}{\partial M_{p3}}\right)_0 \Delta M_{p3}; \\ \Delta H &= K_p K_v \Delta v_k \end{aligned}$$

Mustaqil o'zgaruvchilarni nisbiy kattaliklarda ko'rsatish qulay.

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= \frac{\Delta \omega_1}{\omega_{01}}; \Delta x_2 = \frac{\Delta \omega_2}{\omega_{02}}; \Delta x_3 = \frac{\Delta \omega_3}{\omega_{03}}; \\ \Delta x_s &= \frac{\Delta s}{s_0}; \Delta x_m = \frac{\Delta M_{q2}}{M_{q20}}; \Delta x_\lambda = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}; \\ \Delta x_g &= \frac{\Delta g_8}{g\delta_0}; \Delta x_v = \frac{\Delta v_k}{v k_0}; \Delta x_H = \frac{\Delta H}{H_0}. \end{aligned}$$

Agar $\Delta x_1; \Delta x_2; \Delta x_3; \Delta x_s; \Delta x_m; \Delta x_\lambda; \Delta x_g; \Delta x_v; \Delta x_H$ larni berilgan tenglamaga qo'yib, ularni operator ko'rinishida quyidagicha o'zgartirib yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} \Delta x_1 - a_{11} \Delta x_\lambda + a_{12} \Delta x_2 - a_{13} \Delta x_v &= 0; \\ (T_2 p - 1) \Delta x_2 - a_{21} \Delta x_1 - a_{22} \Delta x_m &= 0; \\ (T_2 p + 1) \Delta x_v - a_{31} \Delta x_1 - a_{32} \Delta x_s &= 0; \\ \Delta x_m - a_{41} \Delta x_2 &= 0; \\ \Delta x_\lambda + a_{51} \Delta x_1 &= 0; \end{aligned}$$

bu yerda

$$T_2 = J_2 \left(\frac{d\omega_2}{dM_{p2}}\right)_0; T_3 = J_3 \left(\frac{d\omega_3}{dM_{p3}}\right) d_2 \cdot \frac{1}{d_2} = 1 + \left(\frac{dM_{q3}}{dv_k}\right)_0 \left(\frac{d\omega_3}{dM_{p3}}\right)_0 R;$$

$$v_k = \omega_3 R,$$

bu yerda R — tebranish radiusi kattaligi (qiymati) doimiysi.

$$a_{11} = d_1 \frac{\lambda_0}{\omega_{10}} \left(\frac{\partial M_d}{\partial \lambda} \right)_0; \quad \frac{1}{d_1} = - \left(\frac{\partial M_d}{\partial \omega_1} \right)_0 + \frac{i_2 \left(\frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_1} \right)_0}{\left(\frac{\partial \omega_2}{\partial M_{p2}} \right)_0} + \left(\frac{\partial M_{q1}}{\partial M_{p3}} \right)_0$$

$$\frac{\left(\frac{\partial \omega_2^2}{\partial \omega_1} \right)_0}{\left(\frac{\partial M_{p3}}{\partial M_{p3}} \right)_0} a_{12} = \frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} \cdot \frac{i_2 d_1}{\left(\frac{\partial \omega_2}{\partial M_{p2}} \right)_0}; \quad a_{13} = \frac{v_k}{v_{10}} \frac{d_1 \left(\frac{\partial M_{q1}}{\partial M_{p3}} \right)_0}{R \left(\frac{\partial \omega_1}{\partial M_{p3}} \right)_0};$$

$$a_{21} = \frac{\omega_{10}}{\omega_{20}} \left(\frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_1} \right)_0; \quad a_{22} = \frac{M_{q20}}{\omega_{20}} \left(\frac{\partial M_{q2}}{\partial \omega_2} \right)_0; \quad a_{31} = \frac{\omega_{10}}{v_{k0}} R d_2 \left(\frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_1} \right)_0 \quad a_{32} =$$

$$= \frac{s_0}{v_{k0}} d_2 R \left(\frac{\partial \omega_1}{\partial s} \right)_0; \quad a_{41} = \frac{\omega_{20}}{M_{q20}} \left(\frac{\partial M_{q2}}{\partial \omega_2} \right)_0; \quad a_{51} = \frac{\omega_{10}}{\lambda_0} \alpha_2 \alpha_4;$$

bu yerda α_2, α_4 — markazdan qochma mayatnik kattaliklari.

Vaqt bo'yicha mahsulot massasi qatlami qalinligi orttir-masi:

$$\Delta x_{yw} = k_{yw} k_v \Delta x_v (t - \tau_8)$$

yoki operator ko'rinishda:

$$\Delta x_{yw}(p) = k_{yw} k_v e^{-p\tau_8} \Delta x_v(p),$$

bu yerda τ_8 — kesish uskunasi dan maydalagichgacha bo'lgan mahsulot massasining transportyordagi kechikish vaqti.

Tenglamalar sistemasini birgalikda $\Delta x_{yu}(p)$, $\Delta x_s(p)$ larga nisbatan operator ko'rinishda yozib, boshqarish obyektining uzatish funksiyasini aniqlash mumkin.

$$W(p) = \frac{\Delta x_n(p)}{\Delta x_s(p)} = \frac{(k_{02}p + k_{01})b_{11}}{T_{02}p^2 + T_{01}p + 1} k_n k_v e^{-p\tau_8},$$

bu yerda

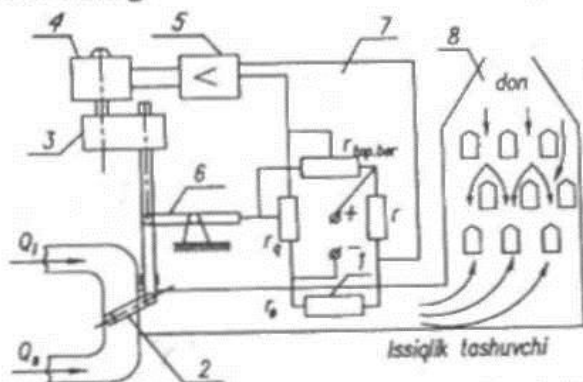
$$k_{01} = \frac{a_{32}C_1}{C_1 - C_3}; \quad C_1 = 1 + a_{22}a_{41} - \frac{a_{12}a_{21}}{a_{11}a_{51} + 1}; \quad C_2 = 1 - \frac{a_{13}a_{31}}{a_{11}a_{51} + 1};$$

$$k_{02} = \frac{a_{32}T_2}{C_1 - C_3}; \quad T_{01} = \frac{T_3C_4 + T_2C_2}{C_1 - C_3}; \quad C_3 = \frac{a_{13}a_{31}(1 + a_{22}a_{41})}{1 + a_{11}a_{51}};$$

$$T_{02} = \frac{T_1 T_3}{C_1 - C_3}; C_4 = 1 - \frac{a_{12} a_{21}}{a_{11} a_{31} + 1}; b_{11} = a_5 \frac{v_{kv}}{q_{01}}; a_5 = QB,$$

bu yerda: Q —hosildorlik; B —o‘rsh qismining qamrab olish kengligi; q_{01} —1 sekund ichida o‘tayotgan mahsulot massasi hajmi.

38-misol. 3.5-rasmda keltirilgan ABS uchun KMT-4 tipidagi haroratni qabul qiluvchi organ r_0 ning differensial tenglamasini tuzing.



3.5-rasm. Don quritish agregatida issiqlik tashuvchi haroratini ABS ning prinsipial sxemasi:

1—datchik termorezistor; 2—to‘siq (zaslonka); 3—reduktor; 4—elektr dvigatel; 5—doimiy tok kuchaytirgichi; 6—suriluvchi balka; 7—o‘lcho‘v ko‘prigi; 8—don quritish shaxtasi.

Yechish. KMT-4 tipidagi yarim o‘tkazgichli harorat datchigini kuchli issiqlik-fizik ko‘rsatkichli, bir jinsli element sifatida qabul qilish mumkin. Berilgan datchik uchun issiqlik balansi tenglamasining operator ko‘rinishi quyidagicha:

$$(T_d p + 1) \Delta \theta_d = \Delta \theta_n.$$

Elektr datchiklarda noelektrik kattaliklarning chiqish parametri elektr parametr hisoblanadi. Bu holda r_0 qarshilik chiqish parametridir:

$$r_0 = r_n e^{\frac{R}{273+0_d}},$$

bu yerda: B —datchik tipiga bog‘liq bo‘lgan doimiy koef-
fitsient. Chiziqlashtirilgandan keyin

$$\Delta r_0 = -\frac{B}{273 + \theta_{d0}} r_0 e^{\frac{B}{(273 + \theta_{d0})}} \Delta \theta_d = k \Delta \theta_d,$$

bunda $\Delta \theta_d$ ning o‘rniga $\Delta \theta_d = \frac{1}{k} \Delta r_0$ ni qo‘yib quyidagini
hosil qilamiz:

$$(T_d p + 1) \Delta r_0 = k \Delta \theta_n,$$

bu yerda uzatish funksiyasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

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

39-misol. 3.5-rasmda ko‘rsatilgan ABS boshqarish obyekti - don quritgichining uzatish funksiyasini aniqlang va differensial tenglamasini tuzing.

Yechish. Differensial tenglamani tuzish uchun quritgichni uchta elementar bo‘g‘inga bo‘lish maqsadga muvofiq. Bular havo o‘tkazgich, don mahsuloti uchun sig‘im va donli massa. Aralashtiruvchi to‘siq (zaslonka)dan quritgichgacha bo‘lgan havo o‘tkazgichni sof kechikish bo‘g‘ini deb hisoblash mumkin. Uning chiqish qismidagi aralash iliq havo sarfi quyidagi tenglama orqali yozilishi mumkin:

$$Q_{\text{ilq}} = k_h (Q_s + Q_{\text{ilq}})(t - \tau_h),$$

bu yerda k_h —havo uzatgichda kirishdan chiqishga havo uzatish koeffitsienti (FIK) Q_s va Q_{ilq} — sovuq va issiq havo sarfi.

$\tau_{x,u} = \frac{l_{x,u}}{v_{x,u}}$ —havo uzatgich kirishida Q_{ilq} havo paydo bo‘li-
shidagi sof kechikish vaqti; $l_{x,u}$ va $v_{x,u}$ — havo uzatgich
uzunligi va undagi havo harakati tezligi. Oxirgi ikkita bo‘g‘in
uchun operator ko‘rinishidagi tenglama:

$$[T_k T_d p^2 + (T_k + T_d)p + 1] \Delta \theta_d = k \Delta Q_{\text{ilq}}$$

bu yerda T_k – qurulish kamerasing vaqt doimiysi; T_d - don massasing issiqlik yutish vaqt doimiysi; $\Delta\theta_d$ — don massasing harorat orttirmasi; k - don quritgichning uzatish koeffitsienti.

Laplas o'zgartgichi yordamida birinchi tenglamani quyidagi ko'rinishda berish mumkin:

$$Q_{isiq}(p) = \int_0^{\infty} k_k(Q_s + Q_{isiq})(t - \tau)e^{-p\tau} dt = k_k e^{-\tau p} (Q_s + Q_{isiq}) p.$$

Bundan havo uzatgichning uzatish funksiyasi quyidagicha:

$$W(p)_{h.u.} = \frac{Q_{isiq}(p)}{(Q_s + Q_{isiq})(p)} = k_k e^{-\tau p}.$$

Qolgan ikkita bo'g'inning uzatish funksiyasi ikkinchi tenglamadan aniqlanadi:

$$W(p)_{d,q} = \frac{\Delta\theta_d}{\Delta Q_{isiq}} = \frac{k_{d,q}}{T_k T_d p^2 + (T_k + T_d)p + 1}.$$

Obyekt uchun umumiy uzatish funksiyasi:

$$W(p) = \frac{\Delta\theta_d}{\Delta Q_s + Q_{isiq}} = W(p)_h, W(p)_{d,q} = \frac{k_{d,q} k_k e^{-\tau p}}{T_k T_d p^2 + (T_k + T_d)p + 1}$$

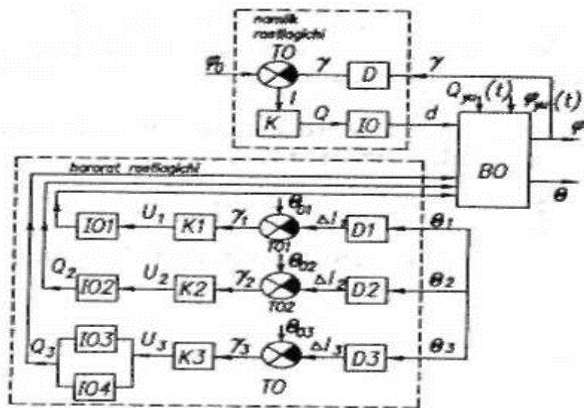
40-misol. 3.6-rasmda keltirilgan obyektning haroratini boshqaruvchi inkubator kamerasing uzatish funksiyasi va differensial tenglamasini aniqlang.

Yechish. Inkubator kamerasini ikki sig'imli obyekt, ya'ni bu yerda birinchisi kamera sig'imining o'zi, ikkinchisi tuxum kamerasiga joylashtirilgan sig'im massasi ko'rinishida faraz qilinsa bo'ladi.

Kameraning o'zi uchun quyidagini yozish mumkin:

$$C_k = \frac{d\theta_k}{dt} = Q_{kir} - Q_{chiq}; Q_{chiq} = \rho_k \theta_k,$$

bu yerda C_k , θ_k , ρ_k — mos ravishda issiqlik sig'imi, harorat va kameraning o'z-o'zini to'g'rilash koeffitsienti.



3.6-rasm. Inkubatsion kamera avtomatik boshqaruv tizimining funksional sxemasi.

Tuxum hajmi uchun quyidagini yozish mumkin:

$$V_t \gamma_t C_t \frac{d\theta_t}{dt} = \alpha_t S_t (\theta_k - \theta_t),$$

bu yerda V_t , γ_t , C_t , θ_t , α_t , S_t — hajm, zichlik, issiqlik sig'imi, issiqlik berish va tuxum yuzasi.

Yuqoridagi ikkita tenglamani birgalikda θ_t va Q_{kir} nisbatan yechib, operator ko'rinishda quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$[T_t T_k p^2 + (T_t + T_k)p + 1]\theta_t = k Q_{kir}$$

Uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W(p) = \frac{\theta_t}{Q_{kir}} = \frac{k}{T_t T_k p^2 + (T_t + T_k)p + 1}$$

41-misol. Simobli harorat o'lchagich, ya'ni haroratni qabul qiluvchi organing chiziqli differensial tenglamasini tuzing va uzatish funksiyasini aniqlang.

Yechish. Dinamik xususiyatiga ko'ra simobli harorat o'lchagichni ikkita sig'imli element: birinchisi-oynali ballon, ikkinchisi-ballondagi simob hajmi ko'rinishida tasavur qilsa bo'ladi.

Har bir sig'im uchun issiqlik balansi tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$v_1 \rho_1 c_1 \frac{d\Delta\theta_1}{dt} = \alpha_1 s_1 (\Delta\theta_{T,h} - \Delta\theta_1).$$

va

$$v_2 \rho_2 c_2 \frac{d\Delta\theta_2}{dt} = \alpha_2 s_2 (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2),$$

bu yerda $\Delta\theta_{T,h}$, $\Delta\theta_1$ va $\Delta\theta_2$ — mos ravishda tashqi havo, shisha idish va simob haroratlari orttirmasi;

$v_1, v_2 \rho_1, \rho_2 c_1, c_2$ — mos ravishda simob hajmi va shisha idish devori hajmi, zichligi;

s_1 va s_2 — shisha idish yuza hajmi va simob hajmi;

α_1 va α_2 — havodan shisha ballonga va shisha ballondan simobga issiqlik uzatish koeffitsienti.

Ikkala tenglamani o'zgartirib, quyidagini topamiz:

$$T_1 \frac{d\Delta\theta_1}{dt} + \Delta\theta_1 = \Delta\theta_{T,h};$$

$$T_2 \frac{d\Delta\theta_2}{dt} + \Delta\theta_2 = \Delta\theta_1;$$

bu yerda

$$T_1 = \frac{v_1 \rho_1 c_1}{\alpha_1 s_1}; T_2 = \frac{v_2 \rho_2 c_2}{\alpha_2 s_2}.$$

Operator ko'rinishida

$$(T_1 p + 1)\Delta\theta_1 = \Delta\theta_{T,h},$$

$$(T_2 p + 1)\Delta\theta_2 = \Delta\theta_1$$

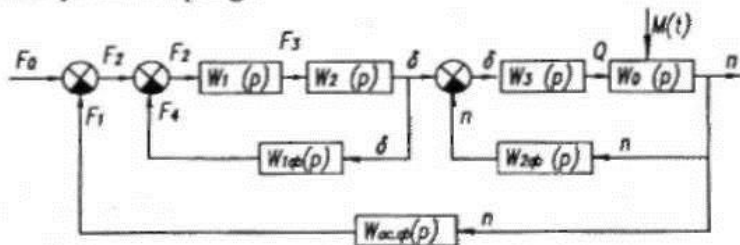
tenglamalarni birgalikda $\Delta\theta_{T,h}$ va $\Delta\theta_2$ larga nisbatan yechib, yakuniy ko'rinishda quyidagini olamiz:

$$[T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1]\Delta\theta_2 = \Delta\theta_{T,h},$$

bu yerdan

$$W(p) = \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_{T,h}} = \frac{1}{T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1}$$

42-misol. 3.3-rasmda keltirilgan ichki yonuv dvigateli (IYoD) aylanish chastotasining yoniq ABS ini uzatish funksiyasini toping.



3.7-rasm.

Yechish. ABS ning tarkibiy tuzilish sxemasi 3.7-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdagi tarkibiy sxemaga mos holda uni quyidagicha yozish mumkin:

$$W_d(p) = \frac{W_3(p) \cdot W_0(p)}{1 + W_{sup.}(p) \cdot W_0(p) \cdot W_{T,h,2}(p)} = \frac{k_d}{T_d p + 1};$$

bu yerda $k_d=1,25$ va $T_d=1,6$ s deb qabul qilish mumkin. 3.3-rasmdagi zolotnikli servomotorning uzatish funksiyasi 3.7-rasmdagi tarkibiy sxemaga mos keladi

$$W(p)_s = W(p)_1 \cdot W(p)_2 = \frac{1}{T_s p};$$

bu yerda $T_s=0,5$ s deb qabul mumkin.

Markazdan qochma mayatnikning uzatish funksiyasi (28-misol)

$$W(p)_{T,h} = \frac{k_m}{T_2^2 p^2 + T_1 p^2 + 1};$$

bu yerda $k_m=7$, $T_2=0,095$ s, $T_1=0,06$ s.

Qayta bog'lanishli izodrom uskunasi uzatish funksiyasi

$$W(p)_{IT,b} = \frac{kT_k p}{T_k p + 1};$$

bu yerda $k = 0,2$; $T_k = 0,002$ s.

Tarkibiy sxemalarni ekvivalent almashtirish qoidalaridan foydalanib yopiq ABSning chiqish kattaliklari bo'yicha uzatish funksiyasini quyidagicha yozish mumkin:

$$W(p)_{yop} = \frac{y}{x} = \frac{W(p)_s \cdot W(p)_d}{1 + W(p)_s \cdot W(p)_{IT,b} + W(p)_s \cdot W(p)_d W(p)_{T,b}};$$

$$W(p)_{yop} = \frac{b_0 p^3 + b_1 p^2 + b_2 p + b_3}{a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5};$$

bu yerda

$$\begin{aligned} b_0 &= k_d T_2^2 T_k = 2,27 \cdot 10^{-5}; & b_1 &= (T_2^2 + T_1 T_k) k_d = 0,0114; \\ & & b_2 &= k_d (T_1 + T_k) = 0,078; \\ b_3 &= k_d = 1,25; & a_0 &= T_s T_d T_k T_2^2 = 1,44 \cdot 10^{-5}; \\ a_1 &= (T_1 T_d T_2^2 + T_s T_k T_2^2 + T_1 T_s T_d T_k + k T_d T_k T_2^2) = 7,3 \cdot 10^{-3}; \\ a_2 &= (T_s T_2^2 + T_1 T_s T_d + T_1 T_s T_k + T_k T_s T_d + k T_k T_2^2 + k T_k T_d T_1) = 0,053; \\ & & a_3 &= (T_1 T_s + T_s T_d + T_s T_k + k T_k T_1 + k T_k T_d) = 0,127; \\ a_4 &= (T_s + k T_k + k_d k_m T_k + T_d + T_1) = 0,52; & a_5 &= k_m k_d = 8,8, \end{aligned}$$

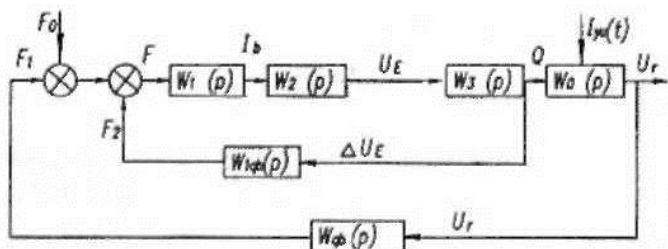
bu yerda ABS ining uzatish funksiyasi

$$W(p)_{yop} = \frac{2,27 \cdot 10^{-5} p^3 + 0,0114 p^2 + 0,078 p + 1,25}{1,44 \cdot 10^{-5} p^5 + 7,3 \cdot 10^{-3} p^4 + 0,053 p^3 + 0,127 p^2 + 0,52 p + 8,8}$$

43-misol. 31-misolda ko'rsatilgan generator yopiq ABS ning uzatish funksiyasini toping.

Yechish. ABSning tarkibiy sxemasi 3.8-rasmda ko'rsatilgan. Uning uzatish funksiyasi umumiy ko'rinishda quyidagicha aniqlangan.

$$W(p)_{yop} = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_0(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_{IT,b}(p) + W_1(p) \cdot W_2(p) \times \overbrace{\times W_0(p) \cdot W_{T,b}(p)}^{\cdot}}$$



3.8-rasm.

Berilgan $W_o(p)$ uzatish funksiyasida $k_g=1,5, T'_d=0,02$ s deb qabul qiluvchi organ uchun $W_{T.b.}(p): k = 0,009, T_d=0,08$ s, differensial qayta bog'lanish transformatori uchun $W_{T.b.1}(p) k_1=0,02, T'_1=0,26$ s, $T_{m2}=0,1$ s, $T_2'^2=0,13$ s, kuchaytiruvchi - o'zgaruvchi element uchun $W_1(p) : k_{12}=12, T_2=0,005$ s, $T_1=0,2$ s, ijrochi organ uchun $W_2(p): k_{1o}=1,8, T_{1o}=0,01$ s qabul qilish mumkin. Berilganlarni asosiy tenglamalarga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned}
 W(p)_{yop} &= \frac{k_g k_{1o} k_{12}}{(T'_{d0} p + 1)(T_{1o} p + 1)(T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1)} \\
 &+ \frac{k_{12} k_{1o} k_1 T_{m2} p}{(T_2'^2 p + T_1 p + 1)(T_{1o} p + 1)(T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1)} + \\
 &+ \frac{k_g k_{1o} k_{12} k}{(T'_{d0} p + 1)(T_{1o} p + 1)(T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1)(T_d p + 1)} = \\
 &= \frac{k_g k_{1o} k_{12} (T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1)(T_d p + 1)}{(T'_{d0} p + 1)(T_{1o} p + 1)(T_d p + 1)(T_2'^2 p + T_1 p + 1)(T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1)} + \\
 &+ \frac{k_{12} k_{1o} k_1 T_{m2} p (T_d p + 1) + (T_d p + 1) + (T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1) k_g k_{1o} k_{12} k}{(T'_{d0} p + 1)(T_{1o} p + 1)(T_d p + 1)(T_2'^2 p + T_1 p + 1)(T_2'^2 p^2 + T_1 p + 1)}.
 \end{aligned}$$

Yakuniy o'zgarishlardan keyin:

$$W(p)_{yop} = \frac{b_0 p^3 + b_1 p^2 + b_2 p + b_3}{a_0 p^6 + a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3 + a_4 p^2 + a_5 p + a_6 + a_7};$$

bu yerda:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= T_2^2 T_d k_s = 0,34; & b_1 &= (T_2^2 + T_1 T_d) k_s = 4,86; \\
 b_2 &= (T_d + T_1) k_s = 11,1; & b_3 &= k_s = k_a k_{i.o} k_{12} = 32,4; \\
 a_0 &= T_{d.v}^2 T_{i.o} T_d T_2^2 T_1^2 = 1,03 \cdot 10^{-8}; \\
 a_1 &= [T_{d.v}^2 T_{i.o} T_d (T_2^2 T_1 + T_2^2 T_1) + T_d (T_{d.v}^2 + T_{i.o}) T_2^2 T_1^2] = 2 \cdot 10^{-6}; \\
 a_2 &= \{T_{d.v}^2 T_{i.o} T_d (T_2^2 + T_2^2 + T_1 T_1) + [T_{d.v}^2 T_{i.o} + (T_{d.v} + T_{i.o}) T_d] \cdot \\
 &\quad (T_2^2 T_1 + T_2^2 T_1) + (T_{d.v} + T_{i.o} + T_d) \cdot T_2^2 T_1^2\} = 2,5 \cdot 10^{-3}; \\
 a_3 &= \{T_{d.v}^2 T_{i.o} T_d (T_1 + T_1) + [T_{d.v}^2 T_{i.o} + (T_{d.v} + T_{i.o}) T_d] (T_2^2 + T_2^2 + T_1 T_1) + \\
 &\quad + (T_{d.v} + T_{i.o} + T_d) (T_2^2 T_1 + T_2^2 T_1) + T_2^2 T_1^2\} = 4 \cdot 10^{-3}; \\
 a_4 &= \{T_{d.v}^2 T_{i.o} T_d + [T_{d.v}^2 T_{i.o} + (T_{d.v} + T_{i.o}) T_d] (T_1 + T_1) + (T_{d.v} + T_{i.o} + T_d) + \\
 &\quad + (T_2^2 + T_2^2 + T_1 T_1) + (T_2^2 T_1 + T_2^2 T_1) + k_{12} k_{i.o} k_1 T_{m2} T_{d.v} T_d\} = 0,047; \\
 a_5 &= [T_{d.v}^2 T_{i.o} + (T_{d.v} + T_{i.o}) T_d + T_2^2 + T_2^2 + T_1 T_1 + (T_{d.v} + T_{i.o} + T_d) \\
 &\quad (T_1 + T_1) + k_{12} k_{i.o} k_1 T_{m2} (T_{d.v} + T_d) + k_s k_d T_2^2] = 0,11; \\
 a_6 &= T_{d.v} + T_{i.o} T_d + T_1 + T_1 + k_{12} k_{i.o} k_1 T_{m2} T_1 k_s k_d = 0,69; \\
 a_7 &= k_s k_d = 0,29.
 \end{aligned}$$

Koeffitsientlarning sonli qiymatlarida uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W(p)_{\text{vop}} = \frac{0,34 p^3 + 4,86 p^2 + 11,1 p + 32,4}{1,03 \cdot 10^{-8} p^7 + 2 \cdot 10^{-6} p^6 + 2,5 \cdot 10^{-3} p^5 + 4 \cdot 10^{-3} p^4 + 0,047 p^3 + 0,11 p^2 + 0,69 p + 0,29}$$

3.2. Avtomatik boshqarish sistemalarining (ABS) barqarorligini tekshirish

1. Ishning maqsadi

ABSlarining barqarorligini tekshirish usullarini o'r-ganish.

Umumiy ma'lumotlar

Boshqarish tizimlarining asosiy dinamik xususiyat-laridan biri ularning barqarorligidir.

Barqarorlik - bu sistemaning shunday xususiyatiki, bunda u o'zining ichki kuchlari yordamida tenglikni buzgan kuchlarni yengib, boshlang'ich holatiga qaytishi tushuniladi.

Agar barqarorlik holatidan kichik bir og'ishdan so'ng sistema dastlabki holatiga qayta olmasa yoki undan uzoqlashib borsa, bunday tizim barqaror *bo'lmagan sistema* deb ataladi.

Boshqarish sistemaning barqarorlik shartlarini matematik aniqlash uchun mezon deb ataluvchi ABS larida qoila-niluvchi chiziqli differensial tenglamalarni analiz qilishning *algebraik* va *chastotaviy* mezonlari mavjud. Ushbu mezonlar ochiq va yopiq zanjirli avtomatik boshqaruv sistemalari uchun qo'llaniladi.

Algebraik mezonlar 5-6-tartibdan yuqori bo'lmagan differensial tenglamalar bilan ifodalanuvchi sistemalar tadqiqi uchun qo'llaniladi.

Chastotaviy mezonlar esa grafoanalitik usulga tegishli bo'lib, barcha tartibdagi differensial tenglamalar bilan xarakterlanadigan sistemalar tadqiqi uchun qo'llaniladi.

Rauss va Gurvis mezonlari algebraik mezonlar sifatida qo'llaniladi.

Rauss mezoni - sistemalar xarakteristik tenglamalari analizining eng oddiy usuli bo'lib, masala yechishda olib boriladigan matematik operatsiyalar ketma-ketligi ko'rinishida bo'ladi:

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

Tenglama shunday yoziladiki, bunda $a_0 > 0$ bo'lishi kerak.

Keyin berilgan tenglama koeffitsientlaridan jadval tuziladi. Buning uchun birinchi gorizont qatorga juft, ikkinchi gorizont qatorga toq indeksli koeffitsientlar yoziladi. Uchinchi qatordan boshlab koeffitsientlar yu qoridagi qatorlarning hisoblangan koeffitsientlari orqali ko'rsatiladi. Jadvalda umuman $n+1$ ta qator bo'ladi:

$$\begin{vmatrix} a_0 & a_2 & a_4 \dots \\ a_1 & a_3 & a_5 \dots \\ b_0 & b_2 & b_4 \dots \\ b_1 & b_3 & b_5 \dots \\ c_0 & c_2 & c_4 \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

bu yerda $b_0 = \frac{a_2 a_1 - a_0 a_3}{a_1}$; $b_2 = \frac{a_4 a_1 - a_0 a_5}{a_1}$; $b_1 = \frac{a_3 b_0 - a_1 b_2}{b_0}$ va hokazo.

Ko'pincha bu koeffitsientlar quyidagicha yoziladi:

$$b_0 = a_2 - \frac{a_0}{a_1} a_3; \quad a_3 = a_2 - \lambda_1 a_3; \quad b_2 = a_4 - \lambda_1 a_5;$$

$$b_1 = a_3 - \frac{a_1}{b_0} b_2; \quad b_3 = a_5 - \lambda_2 b_4 \text{ va hokazo.}$$

Rauss barqarorlik mezonini quyidagicha ta'riflanadi:

—agar Rauss jadvalining birinchi ustunidagi elementlar bir xil ishorali bo'lsa, ya'ni a_0 koeffitsient ishorasiga to'g'ri kelsa, tizim *barqaror* deyiladi;

—agar $a_0 > 0$ bo'lsa, $a_1 > 0$, $b_0 > 0$, $b_1 > 0$ va h.k. bo'lishi kerak. Agarda ustundagi biron-bir qiymat 0 ga teng bo'lib qolsa, unda sistema *barqarorlik chegarasida* deyiladi;

—agar jadvalning birinchi ustunidagi biror bir koeffitsient 0 dan kichik bo'lsa, ushbu sistema *noturg'un* hisoblanadi.

Gurvis mezonini — Rauss mezoniga o'xshash bo'lib, bunda ham tenglamalar koeffitsientlari jadval ko'rinishida yoziladi va barqarorligi bir necha aniqlovchilar ishorasiga qarab ifodalanadi.

Gurvis aniqlovchilari quyidagicha yoziladi: a_1 dan a_n gacha bo'lgan koeffitsientlar asosiy diagonal mdeks-larining o'sib borishi bo'yicha joylashtiriladi. Ustunlarga indeks qiymatlari pastdan yuqoriga o'sib borishi, yuqo-ridan pastga kamayib borishi bo'yicha yoziladi. Indekslari n dan yuqori va 0 dan kichik bo'lgan koeffitsientlar o'rniga 0 qo'yiladi:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \dots 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \dots 0 \\ 0 & b_1 & b_3 \dots 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Gurvis barqarorlik mezoni quyida ifodalanadi: n -tartibli chiziqli tizimning barqaror bo'lishi uchun berilgan xarakteristik tenglamadagi n ta aniqlovchilar 0 dan katta bo'lishi zarur va yetarli:

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= a_0 > 0; \\ \Delta_1 &= a_1 > 0; \end{aligned}$$

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

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0; \dots \Delta_n > 0.$$

Yuqori darajali tenglamalar uchun $a > 0$; $a_1 > 0 \dots$; $a_{n-1} > 0$ va $a_n > 0$ koeffitsientlarning musbat kattaliklaridan tasn'qari quyidagi tenglama bajarilishi kerak.

$G(p) = a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3$ tenglama uchun barqarorlik sharti:

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0.$$

$G(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4$ tenglama uchun barqarorlik sharti:

$$\Delta_3 = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_4 a_1^2 > 0.$$

$G(p) = a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5$ tenglama uchun barqarorlik sharti:

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0,$$

$$\Delta_4 = (a_1 a_2 - a_0 a_3)(a_3 a_4 - a_2 a_5) - (a_1 a_4 - a_0 a_5)^2 > 0,$$

$G(p) = a_0 p^6 + a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3 + a_4 p^2 + a_5 p + a_6$ tenglama uchun barqarorlik sharti:

$$\Delta_3 = a_3(a_1a_2 - a_0a_3) - a_1(a_1a_4 - a_0a_5) > 0,$$

$$\Delta_5 = (a_1a_2 - a_0a_3)[a_5(a_3a_4 - a_2a_5) + a_6(2a_1a_5 - a_3^2)] + (a_1a_4 - a_0a_5) \times \\ \times [a_1a_3a_6 - a_5(a_1a_4 - a_0a_5)] - a_1^3a_6^2 > 0.$$

Yuqoridagi misollardan ko'rinib turibdiki, jadvalni tuzish qoidasiga ko'ra manfiy indeksli koeffitsientlarning musbat bo'lishi zarur va yetarlidir.

$$C_{1n} > 0; n = 1, \dots, N.$$

Agar sistema barqaror bo'lsa, birinchi ustundagi ishoralarning o'zgarish soni xarakteristik tenglama o'ng ildizlarining soniga teng bo'ladi.

Rauss-Gurvis mezoni bo'yicha tizim barqarorlik chegarasida bo'lganda ARS parametrlarining chegaraviy qiymatlarini topish uchun qulay. Bu qiymatlar $\Delta_n=0$ va $C_{1n}=0$ shartlaridan topiladi.

$\Delta N = a_n \Delta_{n-1}$, bo'lgani sababli $\Delta N=0$ tavsifli tenglama ildizlaridan biri nolga teng bo'lganda sistema nodavriy barqarorlik chegarasida bo'ladi.

Chiziqli avtomatik roslash sistemaning chastotaviy turg'unlik mezoni 1938-yilda Mixaylov tomonidan ishlab chiqilgan.

Chastotaviy usullarning afzalligi shundaki, alohida bo'g'inlar bilan bir qator sistema to'liq holda tekshiriladi. Bu mezonlar sistemani yuqori tartibli differensial tenglamalar bilan aniqlanadigan hollarda ishlatish uchun qulaydir.

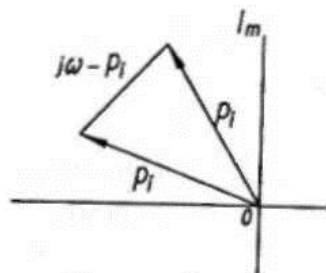
Roslash tizimi n-tartibli tenglamaga ega bo'lsin deb faraz qilaylik. Agar bu yerda p ni jca bilan almashtirsak,

$$D(i\omega) = a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_1(j\omega) + a_0,$$

$$j = -1^{1/2}, j^2 = -1, j^3 = -j, j^4 = 1, j^5 = -j, j^6 = 1, \dots$$

p_1, p_2, \dots, p_n ko'phadning ildizlari desak,

$$D(i\omega) = (j\omega - p_1)(j\omega - p_2) \dots (j\omega - p_n).$$



3.9-rasm.

Grafik ravishda har bir kompleks ildizni kompleks maydonda bir nuqta orqali tasvirlash mumkin (3.9-rasm). Shuning uchun tenglamada har bir ko'paytmani $(p-p_1)$ vektorlarning ayirmasi ko'rinishida berish mumkin. Agar $p=j\omega$ deb faraz qilsak, mavhum o'qdagi ω ni $-\infty$ dan $+\infty$ gacha o'zgartirilsa,

$j\omega-p$ va $j\omega-p_1$ kompleks ildizlari soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda aylanadi va ularning argumenti orttirmasi $+\pi$ qiymatga ega bo'ladi va $j\omega-p_1$ va $j\omega-p_2$ va $j\omega-p_2^1$ vektorlari soat strelkasi bo'yicha aylanib, ularning argumenti orttirmasi $-\pi$ ga teng bo'ladi. Shunday qilib, xarakteristikali tenglamadagi p ildiz uchun mavhum o'qdagi chap tarafdagi yuzasining argumenti orttirmasi $\arg(j\omega-p)$ ning qiymati $+\pi$ ga teng, o'ng tarafdagi yuzaning ildizi uchun $-\pi$.

Hal qiluvchi natijaviy argument orttirmasi $\Delta \arg D(j\omega)$ alohida qismlar argumentlari orttirmasining yig'indisiga teng.

Agar tavsifli tenglamadagi n ildizlar ichida m o'ng ta-rafidagi yuzada joylashgan bo'lsa:

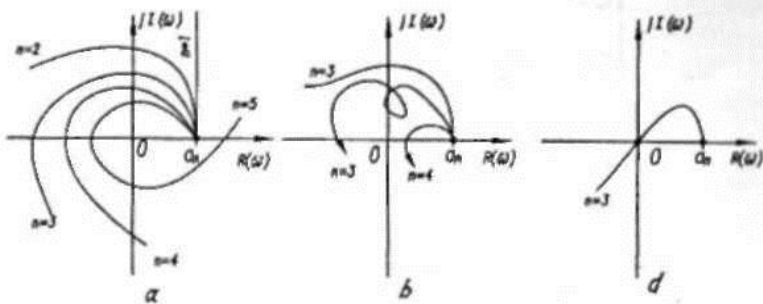
$$\Delta \arg D(j\omega) = \underset{\substack{-\infty < \omega < \infty \\ \text{chap tarafdagi} \\ \text{yuzasi uchun}}}{(n-m)\pi} - \underset{\substack{\text{o'ng tarafdagi} \\ \text{yuzasi uchun}}}{m\pi} = (n-2m)\pi.$$

Agar ko'phadning haqiqiy qismi ω ning o'zgarishini faqat juft darajalaridan iborat bo'lsa hamda mavhum qismi toq darajalarini tashkil qilsa, bu holda ω ning o'zgarishini faqat 0 dan ∞ gacha bo'lgan oraliqda qabul qilish mumkin. Bu yerda tavsifli ko'phad godografining argumenti orttirmasining qiymati:

$$\Delta \arg D(j\omega) = (n-2n)\pi/2.$$

Agar sistema turg'un holatga ega bo'lsa, $m=0$, bu yerdan ko'rindiki,

$$\Delta \arg D(j\omega) = n\pi/2.$$



3.10-rasm. Mixaylov godograflari:

a—barqaror sistemalar uchun; *b*—barqaror bo'lmagan sistemalar uchun; *d*—barqarorlik chegarasida bo'lgan sistemalar uchun.

Agar $D(j\omega)$ tavsifli funksiyasining godografi ω ning 0 dan ∞ gacha o'zgarilishida musbat yo'nalishda kompleks tekislikning n kvadratlarini aylanib chiqsa (n -ko'rilayotgan sistema tavsifli tenglamasining darajasi), rostlash sistema barqaror bo'ladi (3.10-rasm).

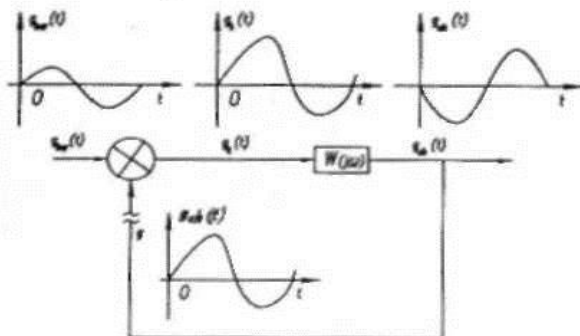
Naykvist mezoni

Bu mezon 1932-yilda amerikalik fizik X.Naykvist tomo-nidan ishlab chiqilgan.

Rauss, Gurvis, Mixaylov mezonlaridan farqli ravishda Naykvist mezoni avtomatik boshqaruv sistemalarini ochiq zanjir bo'yicha amplituda-faza xarakteristikasi yordamida tekshirish imkonini beradi. Bu esa ushbu mezonni real sistemalarda ochiq zanjir bo'yicha tekshirishda Mixaylov mezoniga nisbatan ancha qulayligini ko'rsatadi. Bu mezon asosan, tipik bo'g'inlardan tashkil topgan bir zanjirli sistemalar uchun nisbatan qulaydir.

Bu mezonni ochiq zanjir bo'yicha qanday fizik xossaga ega ekanini ko'rib chiqamiz. Umumiy holda ochiq zanjirli sistemaning uzatish funksiyasi quyidagi ko'ri-nishga ega:

$$W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{s_0 p^n + s_1 p^{n-1} + \dots + s_n}, \text{ bu yerda } m \leq n.$$



3.11-rasm. Ochiq zanjirli roslash sistemasi uchun Naykvist mezon.

Agar $p=j\omega$ desak,

$$W(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{Q(j\omega)} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = U(\omega) + jV(\omega),$$

$W(j\omega)$ — kompleks ko'phad.

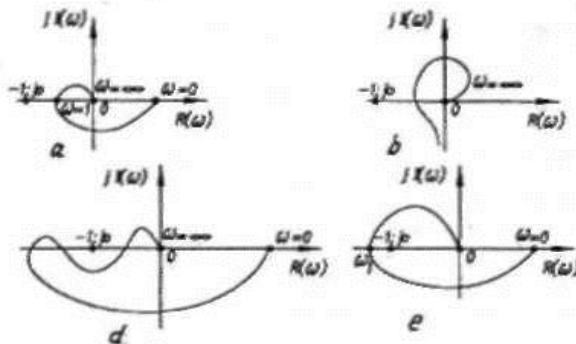
Sistemani ochiq zanjir holda 3.11-rasmdagidek tas-virlash mumkin.

Agar $W(j\omega)$ bo'g'inning kirish qismiga berilayotgan signal ma'lum amplitudali (g_m) garmonik tebranishlar ko'rini-shida bo'lsa: $g(t) = g_m \sin \omega t$, $\omega = \omega \pi$ (kesishish chastotasi) (3.11-rasm). Bu holda $W(j\omega)$ bo'g'in hosil qilgan $\varphi(\omega)$ faza π siljishga teng bo'ladi. Bunda manfiy qayta bog'lanish signali $g(t)$ bilan bir fazada bo'lgani sababli signallarning shu daqiqadagi qiymatlari bir-biri bilan qo'shiladi.

Agar $\omega = \omega \pi$ chastotasida $W(j\omega) = -1$ yoki $g(t)$ tashqi ta'sir to'xtagan paytda ham sistema zanjiridagi tebranishlar davom etaversa, sistema barqarorlik chegarasida hisoblanadi va $W(j\omega)$ xarakteristikasi $(-1; 0)$ nuqta orqali o'tadi.

Agar $\omega = \omega \pi$ chastotasida $W(j\omega) = 1$ bo'lsa, konturdagi signallar amplitudasi to'xtovsiz ortib boradi. Bunda $W(j\omega)$ har qaysi $(-1; 0)$ nuqtani o'z ichiga oladi va bunday sistema noturg'un hisoblanadi.

Agar $\omega = \omega \pi$ kritik chastotada $W(j\omega) = 1$ bo'lsa, zanjiridagi tebranishlar tashqi ta'sir to'xtagandan so'ng to'xtaydi. Bu holda sistema barkamollikka ega bo'lib, $W(j\omega)$ xarakteristikasi $(-1; 0)$ nuqtani o'z ichiga olmaydi.



3.12-rasm. Amplituda—faza—chastota xarakteristikalari.
a, b, d—barqaror sistemalar uchun; *e*—barqaror bo'lmagan sistemalar uchun.

Shunday qilib, $(-1;0)$ nuqtaning alohida muhim roli shundaki, birinchidan, bu nuqta manfiy qayta bog'lanishni musbat qayta bog'lanishga aylanish qiymatiga mos keladi; ikkinchidan $W(j\omega)$ bo'g'indagi signallarning kuchayishva pasayish rejimlari chegarasi hisoblanadi. Naykvist mezonining asosiy ta'rifi: agar $W(j\omega)$ amplituda—faza xarakteristikasi ochiq zanjir bo'yicha $(-1; 0)$ nuqtani o'z ichiga olmasa, avtomatik boshqarish sistemasi turg'un hisoblanadi. Bu ta'rif ochiq zanjirli sistemalar uchun o'rinli hisoblanadi (3.12-rasm).

3.2.1. Avtomatik boshqarish sistemalarini algebraik barqarorlik mezonlari asosida tadqiq qilishga misollar

44-misol. Quyidagi xarakteristikaga ega bo'lgan sistemaning barqarorligini Raus mezon bo'yicha aniqlang:

$$14p^4 + 7p^3 + 8p^2 + 3p + 1 = 0$$

Yechish. Qatorlar soni $n+1=5$ ta bo'lgan jadval tuzamiz:

$$\begin{vmatrix} a_0 & a_2 & a_4 \\ a_1 & a_3 & a_5 \\ b_0 & b_2 & b_4 \\ b_1 & b_3 & b_5 \\ c_0 & c_2 & c_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 14 & 8 & 1 \\ 7 & 3 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ -0,5 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Bunda: $b_0 = 8 - (14/7) \cdot 3 = 2$; $b_1 = 3 - (7/2) \cdot 1 = -0,5$;
 $b_2 = 1 - (14/7) \cdot 0 = 1$; $b_3 = 0 - (7/2) \cdot 0 = 0$;
 $c_0 = b_2 - (b_3 / b_1) \cdot b_3 = 1$.

Rauss barqarorlik shartiga asosan, sistema barqaror emas, chunki birinchi ustundagi koeffisientlardan biri manfiy qiymatga ega ($b_j < 0$).

45-misol. Quyidagi xarakteristik tenglamaga ega bo'lgan sistemaning barqarorligini Rauss mezonini bo'yicha aniqlang:

$$0,65 \cdot 10^{-7} p^6 + 3,34 \cdot 10^{-5} p^5 + 0,024 p^4 + 0,45 p^3 + 1,08 p^2 + 1,06 p + 1 = 0$$

Yechish. Qatorlar soni $n+1=7$ ta bo'lgan Rauss jadvalini tuzamiz:

$$\begin{array}{c|cccc} a_0 & a_2 & a_4 & a_6 \\ a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \\ b_0 & b_2 & b_4 & b_6 \\ b_1 & b_3 & b_5 & b_7 \\ c_0 & c_2 & c_4 & c_6 \\ c_1 & c_3 & c_5 & c_7 \\ d_0 & d_2 & d_4 & d_6 \end{array} = \begin{array}{ccc|ccc} 0,65 \cdot 10^{-7} & 0,024 & 1,08 & 1 & & \\ 3,34 \cdot 10^{-5} & 0,45 & 1,06 & 0 & & \\ 0,023 & 1,078 & 1 & 0 & & \\ 0,448 & 1,058 & 0 & 0 & & \\ 1,024 & 1 & 0 & 0 & & \\ 0,623 & 0 & 0 & 0 & & \\ 1 & 0 & 0 & 0 & & \end{array}$$

Jadvalning asosiy tashkil etuvchilarini aniqlaymiz

$$b_0 = 0,024 - (0,65 \cdot 10^{-7} / 3,34 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,45 = 0,024 - 2 \cdot 10^{-3} \times 0,45 = 0,023; \quad b_2 = 1,08 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,06 = 1,078;$$

$$b_4 = 1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0 = 1;$$

$$b_1 = 0,45 - (3,34 \cdot 10^{-5} / 0,023) \cdot 1,078 = 0,45 - 1,5 \cdot 10^{-3} \times 1,078 = 0,448; \quad b_3 = 1,06 - 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 1,058;$$

$$c_0 = 1,078 - (0,023 / 0,448) \cdot 1,058 = 1,024; \quad c_2 = b_4 = 1;$$

$$c_1 = b_3 - (b_5 / c_0) \cdot c_2 = 1,058 - (0,448 / 1,024) \cdot 1 = 0,623;$$

$$d_0 = c_2 - (c_0 / c_1) \cdot c_3 = 1 - (1,024 / 0,623) \cdot 0 = 1.$$

Yuqoridagi tengliklardan ko'rinadiki, qurilayotgan sistema barqaror, chunki birinchi ustundagi barcha koeffi-tsientlar 0 dan katta.

46-misol. Quyidagi xarakteristik tenglamaga ega siste maning barqarorligini Rauss mezoni bo'yicha aniqlang:

Bundan ko'rinadiki, Rauss sharti bajarildi, demak, sistema barqarorlik chegarasida joylashgan, chunki keltiril-gan tenglama koeffitsientlaridan biri $p=0$.

47-misol. Quyidagi xarakteristik tenglama A ning qanday qiymatlarida barqaror bo'lishini aniqlang.

$$p^4 + 6p^3 + 5p^2 + 3p + A = 0,$$

bu yerda $a_0=1$; $a_1=6$; $a_2=5$; $a_3=3$; $a_4=A$.

Yechish. Yuqoridagi tenglamaning a_5 va boshqa yuqori indeksli a'zolari yo'qligi uchun $b_2=a_4=A$ deb olamiz. $b_2=A$ va $b_0 = a_2 - (a_0/a_1)a_3 = 5 - (1/6)3 = 9/2$ kattaliklarni $b_1 = a_3 - (a_1/b_0)b_2 > 0$ tengsizli qo'yib, $b_1 = 3 - (6/9/2)A > 0$ tengsizlikni hosil qilamiz, bu yerda $A < 9/4$. Demak, $A < 9/4$ qiymatda sistema barqaror, $A > 9/4$ qiymatda esa barqaror emas. $A=9/4$ qiymatda esa sistema barqarorlik chegarasida joylashgan bo'ladi, chunki Rauss jadvali bo'yicha $b_1=0$.

48-misol. Quyidagi xarakteristik tenglamaga ega bo'lgan sistemaning barqarorligini Gurvis mezoni bo'yicha aniqlang.

$$a_0p^4 + a_1p^3 + a_2p^2 + a_3p + a_4 = 0,$$

bu yerda $a_0=2 \cdot 10^{-6}$; $a_1=2 \cdot 10^{-2}$; $a_2=3$; $a_3=130$; va $a_4=10^5$.

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 \cdot 10^{-2} & 130 & 0 & 0 \\ 2 \cdot 10^{-6} & 3 & 10^5 & 0 \\ 0 & 2 \cdot 10^{-2} & 130 & 0 \\ 0 & 2 \cdot 10^{-6} & 3 & 0 \end{vmatrix}$$

Aniqlovchilarni hisoblab quyidagi qiymatlarga ega bo'lamiz

$$\Delta_1 = a_1 = 2 \cdot 10^{-2} > 0; \Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 3 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot 130 \approx 0,06 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_3 \Delta_2 - a_1^2 a_4 = 130 \cdot 0,06 - (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 10^5 < 0$$

Uchinchi aniqlovchi $\Delta_3 < 0$.

Demak, aytish mumkinki, berilgan sistema barqaror emas.

49-misol. Agar sistema quyidagi ko'rinishda ochiq zanjirli uzatish funksiyasiga ega bo'lsa, uning yopiq sistema bo'yicha barqarorligini Gurvis mezo'i bo'yicha aniqlang:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)p^2}$$

Yechish. ABS sida, asosan, man'iy teskari bog'lanishlardan foydalanilgani uchun, $W_{Tb}(p) = 1$ bo'lganida, yopiq zanjirli sistemaning uzatish funksiyasi

$$W_{yop}(p) = \frac{k}{Tp^3 + p^2 + k}$$

bu yerdan tavsifli tenglama

$$Tp^3 + p^2 + k = 0; a_0 = T; a_1 = 1; a_2 = 0; a_3 = k.$$

Koeffitsientlardan bittasi 0 ga teng bo'lganligi uchun, Gurvis mezo'i bo'yicha sistema T va k larning barcha musbat qiymatlarida barqaror emas:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & k & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & k \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & k \\ T & 0 \end{vmatrix} = -Tk < 0.$$

Δ_2 aniqlovchisi biz isbotlashimiz kerak bo'lgan qiymalga ega bo'ldi.

50-misol. 3.8-rasmda tarkibiy sxema asosida keltirilgan sinxron generator avtomatik rostdash sistemasining barqarorligini Gurvis mezonini bo'yicha aniqlang.

Yechish: $G(p)=0$ sistemasini tavsifli tenglamasi

$$1,12 \cdot 10^{-7} p^6 + 2,97 \cdot 10^{-5} p^5 + 7 \cdot 10^{-4} p^4 + 0,0147 p^3 + 0,127 p^2 + 1,47 p + 4,6 = 0,$$

bu yerda $a_0 = 1,12 \cdot 10^{-7}$; $a_1 = 2,97 \cdot 10^{-5}$; $a_2 = 7 \cdot 10^{-4}$;
 $a_3 = 0,0147$; $a_4 = 0,127$; $a_5 = 1,47$; $a_6 = 4,6$.

Berilgan tenglamadagi koeffitsientlar 0 dan katta bo'lganligi uchun Gurvis mezonini bo'yicha sistema barqarorligi quyidagi ko'rinishdagi tenglama uchun tekshirib ko'rish yetarli, ya'ni:

$$\Delta_3 = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1(a_1 a_4 - a_0 a_5) = 0,0147(2,97 \cdot 10^{-5} \cdot 7 \times 10^{-4} - 1,12 \cdot 10^{-7} \cdot 0,0147) - 2,97 \cdot 10^{-5} \cdot (2,97 \cdot 10^{-5} \cdot 0,127 - 1,12 \cdot 10^{-7} \cdot 1,47) = 1,74 \cdot 10^{-10} > 0;$$

$$\Delta_5 = (a_1 a_2 - a_0 a_3)[a_5(a_3 a_4 - a_2 a_5) + a_6(2 a_1 a_5 - a_3^2)] + (a_1 a_4 - a_0 a_5) \times [a_1 a_3 a_6 - a_5(a_1 a_4 - a_0 a_5)] - a_1^3 a_6^2 = (2,97 \cdot 10^{-5} \cdot 7 \cdot 10^{-4} - 1,12 \times 10^{-7} \cdot 0,0147) \cdot [1,47(0,0147 \cdot 0,127 - 7 \cdot 10^{-4} \cdot 1,47) + 4,6(2 \cdot 2,97 \times 10^{-5} \cdot 1,47 - 0,0147^2)] + (2,97 \cdot 10^{-5} \cdot 0,127 - 1,12 \cdot 10^{-7} \cdot 1,47) [2,97 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0147 \cdot 4,6 - 1,47(2,97 \cdot 10^{-5} \cdot 0,127 - 1,12 \cdot 10^{-7} \times 1,47)] - (2,97 \cdot 10^{-5})^3 \cdot 4,6^2 = 18,6 \cdot 10^{-12} > 0.$$

Gurvis mezonini shartlari bajarilgani uchun avtomatik rostdash sistemasi barqaror.

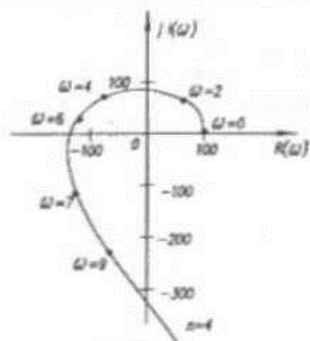
3.2.2. Avtomatik boshqarish sistemalari barqarorligini chastota mezonlari bo'yicha tadqiq qilishga misollar

51-misol. Quyidagi tavsifli tenglama uchun barqarorlikni Mixaylov mezonini bo'yicha aniqlang:

Bu yerda $R(\omega)=0,1\omega^4-10\omega^2+100$;

$I(\omega)=-\omega^3+40\omega$; $j^2=-1$; $j^3=-j$; $j^4=1$ ni 0 dan ∞ gacha o'zgartirib $R(\omega)$ va $I(\omega)$ larning qiymatlarini olamiz va jadvalga yozamiz.

ω	0	2	4	6	7	9	10	∞
$R(\omega)$	100	61,6	-34,4	-130	-150	-54	100	$+\infty$
$I(\omega)$	0	72	96	24	-63	-269	-600	$-\infty$



3.13-rasm.

Yuqoridagi qiymatlarga ko'ra Mixaylov godografini quramiz. Bu yerda godograf $\varphi = 4 \frac{\pi}{2}$ burchakka burildi. Bu egri chiziq Mixaylov mezoni shartlariga to'liq javob beradi, demak bu sistema barqaror hisoblanadi.

52-misol. Quyidagi uzatish funksiyasiga ega bo'lgan yopiq zanjirli avtomatik sistemaning barqarorligini Mixaylov mezoni bo'yicha aniqlang.

$$W(p) = \frac{100}{10^{-5} p^6 + 10^{-6} p^5 + 10^{-4} p^4 + 8 \cdot 10^{-3} p^3 + 0,1 p^2 + 10 p + 200}$$

Yechish. Avtomatik sistemaning tenglamasini quyidagicha yozish mumkin.

$$G(p) = 10^{-5} p^6 + 10^{-6} p^5 + 10^{-4} p^4 + 8 \cdot 10^{-3} p^3 + 0,1 p^2 + 10 p + 200 = 0.$$

Mixaylov egri chizig'ini qurish uchun funksiyaning aniq va mavhum qismlarini aniqlab olamiz.

$$R(\omega) = -10^5 \omega^5 + 10^{-4} \omega^4 - 0,1 \omega^2 + 200;$$

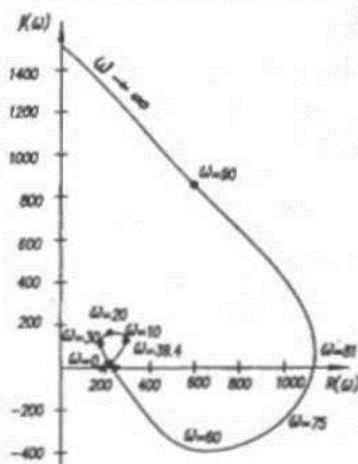
$$I(\omega) = 10^{-6} \omega^5 - 8 \cdot 10^{-3} \omega^3 + 10 \omega.$$

ω ni 0 dan ∞ gacha o'zgartirib, $R(\omega)$ va $I(\omega)$ larning qiymatlarini hisoblaymiz.

ω	0	10	20	30	39,4	60	75	78	81	90	100	∞
$R(\omega)$	200	191	176	184	234	670	1130	1040	1040	637	-800	$-\infty$
$I(\omega)$	0	92	139	108	0	-350	-380	-220	0	973	3000	

Bu jadvalga asosan godograf quramiz. Berilgan mezonning shartiga ko'ra ko'riylayotgan sistema barqaror emas.

53-misol. Mixaylov barqarorlik mezonidan foydalanib quyidagi uzatish funksiyasiga ega bo'lgan ochiq zanjirli sistemaning K kuchaytirish koeffitsienti qiymatini toping:



3.14-rasm. Mixaylov godografi.

$$W(p) = \frac{K}{9 \cdot 10^{-4} p^4 + 3 \cdot 10^{-2} p^3 + 0,6 p^2 + p + 1},$$

bu holda yopiq zanjirli sistema barqarorlik chegarasida joylashadi.

Yechish. Ushbu holat uchun yopiq zanjirli sistemaning tenglamasi quyidagicha aniqlanadi:

$$G(p) = 9 \cdot 10^{-4} p^4 + 3 \cdot 10^{-2} p^3 + 0,6 p^2 + p + 1 + K.$$

$G(p)$ funksiyani haqiqiy va mavhum qismlarini ajratamiz:

$$R(\omega) = 9 \cdot 10^{-4} \omega^4 - 0,6 \omega^2 + 1 + K;$$

$$I(\omega) = \omega - 3 \cdot 10^{-2} \omega^3.$$

Agar ABS barqarorlik chegarasida joylashsa, Mixaylov godografi koordinata boshidan o'tadi, ya'ni $\omega=0$ da $R(\omega)=0$ va $I(\omega)=0$ bo'ladi.

Ikkinchi tenglama: $\omega^2 = \frac{1}{3} \cdot 10^2$ ekanligini ko'ramiz,
 $\omega^2 = \frac{1}{3} \cdot 10^2$ ni $R(p)=0$ tenglamaga qo'yib quyidagini olamiz:

$$1 - \frac{0,6}{3}10^2 + 1 + K = 0,$$

bu yerda $k = 18$, $K > 18$ bo'lganda sistema barqaror emas.

54-misol. Quyidagi tavsifli tenglamaga ega ABS ning barqarorligini Mixaylov mezonini bo'yicha aniqlang.

$$p^4 + 2p^3 + 10p^2 + 32p + 9 = 0.$$

Yechish. $p=j\omega$ bo'lganda, tenglamaning haqiqiy va mavhum qismlarini aniqlaymiz.

$$R(\omega) = \omega^4 - 10\omega^2 + 9 = 0; \quad I(\omega) = -2\omega^3 + 32\omega = 0.$$

$I(\omega)$ mavhum qismining ildizini $\omega_1 = 0$ $\omega_2 = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$
va $R(\omega)$ haqiqiy qismining ildizini hisoblaymiz.

$$\omega_{2,4} = \frac{10}{2} \pm \sqrt{25 - 9}; \quad \omega_2 = 1; \quad \omega_4 = -3.$$

55-misol. Uchta bo'g'indan tashkil topgan, ketma-ket ulangan va teskari qayta bog'lanishga ega bo'lgan yopiq ABS ning barqarorligini Naykvist mezonidan foydalanib aniqlang.

Birinchi bo'g'inning differensial tenglamasi aniq emas, shuning uchun $W_1(j\varphi)$ amplituda-faza-chastota xarakteristikasi (AFCHX) aniqlangan va 3.1-jadvalda keltirilgan. Ikkinchi va uchinchi tenglamalarni quyidagicha yozish mumkin:

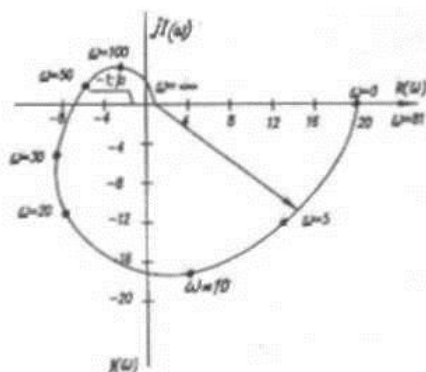
$$(0,01p+1)y=10x \quad \text{va} \quad (0,05p+1)y=5x.$$

Yechish. Yopiq sistema barqarorligini aniqlash uchun uning ochiq holdagi amplituda-faza xarakteristikasi barcha bo'g'inlarning xarakteristikalari ko'paytmasiga teng:

$$W(j\varphi) = W_1(j\varphi) \cdot W_2(j\varphi) \cdot W_3(j\varphi);$$

$W_1(j\varphi)$ — kattaliklar jadvalda berilgan; $W_2(j\varphi)$ va $W_3(j\varphi)$ lar analitik usulda aniqlanadi:

$$W_2(j\omega) = \frac{10}{0,01j\omega + 1} \quad \text{va} \quad W_3(j\omega) = \frac{5}{0,05j\omega + 1}.$$



3.15-rasm. Nykvist godografi (AFCHX)

ω —kattalik uchun 0 dan ∞ gacha oraliqda bajarib, sistemaning amplituda-faza-chastota xarakteristikasini olamiz. Barcha hisoblar jadvalda keltirilgan.

AFCH tavsifi koordinatasi — 1 dan $j0$ ga ochiq zanjirli sistemaning nuqtalarini o'z ichiga oladi, demak, sistema yopiq holatda barqaror bo'lmaydi.

3.1-jadval

Chastota ω, c^{-1}	AFCHX			
	$W_1(j\omega)$	$W_2(j\omega)$	$W_3(j\omega)$	$W(j\omega)$
0	$0,4-j0$	$10-j0$	$5-j0$	$20-j0$
5	$0,35-j0,15$	$9,95-j0,5$	$4,7-j1,7$	$14,5-j12,1$
10	$0,3-j0,3$	$9,9-j1,0$	$4,0-j2,0$	$4,2-j18,6$
20	$0,2-j0,4$	$9,6-j1,9$	$2,5-j2,5$	$-7,6-j13$
30	$1,1-j0,4$	$9,2-j2,8$	$1,5-j2,3$	$-9,4-j5,5$
50	$-0,1-j0,4$	$8-j4$	$0,7-j1,7$	$-6,5+j2,1$
100	$-0,2-j0,35$	$5-j5$	$0,2-j1,0$	$-1,3+j2,6$
200	$-0,1-j0,2$	$2-j4$	$0,05-j0,5$	$-0,05+j0,5$
∞	0	0	0	0

56-misol. 3.3 va 3.7-rasmlardakeltirilgan prinsipial va tarkibiy sxemali ichki yonuv motorining aylanish chas-totasi avtomatik roslash sistemasining barqarorligini Naykvist mezoni bo'yicha aniqlang.

Yechish. I nuqtada $W_{T.b.}(p)$ bo'g'ini chiqishida sistemani ABS ning uzatish funksiyasini tuzamiz:

$$W(p) = \frac{W_s(p)W_d(p)W_{T.b.}(p)}{1 + W_s(p)W_{I.T.b.}(p)} = \frac{\frac{1}{T_s p} \cdot \frac{k_d}{T_d p + 1} \cdot \frac{k_M}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}}{1 + \frac{1}{T_s p} \cdot \frac{k T_k p}{T_M p + 1}}$$

Matematik o'zgarishlardan keyin

$$W(p) = \frac{b_0 p + b_1}{a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p} \text{ ifodaga ega bo'lamiz,}$$

bu yerda : $b_0 = k_d k_M T_k = 1,25 \cdot 7 \cdot 0,002 = 17,5 \cdot 10^{-3}$;

$$b_1 = k_d k_M = 1,25 \cdot 7 = 8,8;$$

$$a_0 = T_s T_k T_d T_2^2 = 0,5 \cdot 0,002 \cdot 1,6 \cdot 0,095^2 = 1,44 \cdot 10^{-5};$$

$$a_1 = T_s T_k T_d T_1 + T_s T_k T_2^2 + T_s T_d T_2^2 + k T_k T_d T_2^2 = \\ = 0,5 \cdot 0,002 \cdot 1,6 \cdot 0,06 + 0,5 \cdot 0,002 \cdot 0,095^2 + 0,5 \cdot 1,6 \times \\ \times 0,095^2 + 0,2 \cdot 0,002 \cdot 1,6 \cdot 0,095^2 = 73,4 \cdot 10^{-4};$$

$$a_2 = T_s T_k T_d + T_s T_k T_1 + T_s T_d T_1 + T_s T_2^2 + k T_k T_d T_1 + k T_k T_2^2 = \\ = 0,5 \cdot 0,002 \cdot 1,6 + 0,5 \cdot 0,002 \cdot 0,06 + 0,5 \cdot 1,6 \cdot 0,06 + \\ + 0,5 \cdot 0,95^2 + 0,2 \cdot 0,002 \cdot 1,6 \cdot 0,06 + 0,2 \cdot 0,002 \cdot 0,95^2 = \\ = 53,2 \cdot 10^{-3};$$

$$a_3 = T_s T_k + T_s T_d + T_s T_1 + k T_k T_d + k T_k T_1 = 0,5 \cdot 0,002 + \\ + 0,5 \cdot 1,6 + 0,5 \cdot 0,06 + 0,2 \cdot 0,002 \cdot 1,6 + 0,2 \cdot 0,002 \times \\ \times 0,06 = 0,83; \quad a_4 = T_s + T_k = 0,5 + 0,002 = 0,502.$$

$j\omega$ o'rtacha p ning sonli qiymatini qo'yib ABS ni AFCH xarakteristikasini topamiz:

$$W(j\omega) = \frac{b_1 + j \cdot b_0 \omega}{A + jB} = \frac{-8,8 + j17,5 \cdot 10^{-3} \omega}{73,4 \cdot 10^{-4} \omega^4 - 0,83 \omega^2 + j(1,44 \cdot 10^{-5} \omega^5 - \\ - 53,2 \cdot 10^{-3} \omega^3 + 0,5 \omega)}$$

bu yerda: $A=73,4 \cdot 10^{-4}\omega^4 - 0,83\omega^2$;
 $B=1,44 \cdot 10^{-5}\omega^5 - 53,2 \cdot 10^{-3}\omega^3 + 0,5\omega$.

$W(j\omega)$ xarakteristikasini haqiqiy $R(\omega)$ va mavhum $I(\omega)$ qismlarga ajratish uchun surat va maxrajini $A-jB$ kompleks sonlarga ko'paytiramiz.

Shunda

$$W(j\omega) = \frac{(b_1 + jb_0\omega)(A - jB)}{A^2 + B^2} = \frac{Ab_1 + Bb_0\omega}{A^2 + B^2} + j \frac{Ab_0\omega - Bb_1}{A^2 + B^2} =$$

$$= R(\omega) + jI(\omega).$$

Quyidagi kattaliklar qiymatini topamiz:

$$A_1b_1 = 65 \cdot 10^{-3}\omega^4 - 7,3\omega^2;$$

$$Bb_1 = 12,7 \cdot 10^{-5}\omega^5 - 47 \cdot 10^{-2}\omega^3 + 4,4\omega;$$

$$Ab_0\omega = 12,8 \cdot 10^{-5}\omega^5 - 14,5 \cdot 10^{-3}\omega^3;$$

$$Bb_0\omega = 0,25 \cdot 10^{-6}\omega^6 - 9,3 \cdot 10^{-4}\omega^4 + 0,88 \cdot 10^{-2}\omega^2;$$

$$A^2 = 53,5 \cdot 10^{-6}\omega^8 - 12 \cdot 10^{-3}\omega^6 + 0,7\omega^4;$$

$$B^2 = 2 \cdot 10^{-10}\omega^{10} - 2,88 \cdot 10^{-5}\omega^5(53,2 \cdot 10^{-3}\omega^3 - 0,5\omega) +$$

$$+ 28,2 \cdot 10^{-4}\omega^6 - 53,2 \cdot 10^{-3}\omega^4 + 0,25\omega^2 = 2 \cdot 10^{-10}\omega^{10} - 1,5 \times$$

$$\times 10^{-6}\omega^8 + 28,3 \cdot 10^{-4}\omega^6 - 53,2 \cdot 10^{-3}\omega^4 + 0,25\omega^2;$$

$$A^2 + B^2 = 2 \cdot 10^{-10}\omega^{10} + 52 \cdot 10^{-6}\omega^8 - 92 \cdot 10^{-4}\omega^6 +$$

$$+ 65 \cdot 10^{-2}\omega^4 + 0,25\omega^2.$$

Shunday qilib, quyidagini topamiz:

$$W(j\omega) = \frac{0,25 \cdot 10^{-6}\omega^6 + 640 \cdot 10^{-4}\omega^4 - 7,3\omega^2}{2 \cdot 10^{-10}\omega^{10} + 52 \cdot 10^{-6}\omega^8 - 92 \cdot 10^{-4}\omega^6 + 0,65\omega^4 + 0,25\omega^2} +$$

$$+ j \frac{10^{-6}\omega^5 + 0,455\omega^3 - 4,4\omega}{2 \cdot 10^{-10}\omega^{10} + 52 \cdot 10^{-6}\omega^8 - 92 \cdot 10^{-4}\omega^6 + 0,65\omega^4 + 0,25\omega^2};$$

bu yerdan

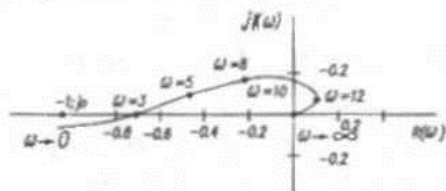
$$R(\omega) = \frac{25 \cdot 10^{-8}\omega^4 + 6,4 \cdot 10^{-2}\omega^2 - 7,3}{2 \cdot 10^{-10}\omega^8 + 52 \cdot 10^{-6}\omega^6 - 92 \cdot 10^{-4}\omega^4 + 0,65\omega^2 + 0,25};$$

$$I(\omega) = \frac{10^{-6}\omega^4 + 0,455\omega^2 - 4,4}{2 \cdot 10^{-10}\omega^9 + 52 \cdot 10^{-6}\omega^7 - 92 \cdot 10^{-4}\omega^5 + 0,65\omega^3 + 0,25\omega}.$$

ω ga 0 dan ∞ gacha bo'lgan qiymatlarni qo'yib, $R(\omega)$ va $I(\omega)$ kattaliklarni topamiz.

ω	0	1	3	5	8	10	12	20	∞
$R(\omega)$	-29	-8,2	-0,71	-0,48	-0,18	-0,04	0,024	0,009	0
$I(\omega)$	$-\infty$	-0,45	-0,006	0,06	0,14	0,16	0,073	0,009	0

Ochiq zanjirli ABS ni AFCHX si qurilgan. Ochiq zanjirli sistema xarakteristikasining koordinatasi $-1; j0$ nuqtalarni o'z ichiga olmaydi. Shunday qilib, Naykvist mezoni shartiga ko'ra ABS yopiq holatda barqaror.



3.16-rasm. Ochiq zanjirli sistema uchun AFCHX.

3.2.3. Amplituda-faza-chastotali logarifmik xarakteristikalarni aniqlashga doir misollar

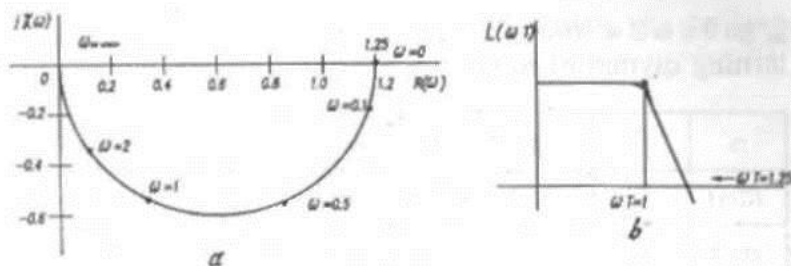
57-misol. $k=1,25$ va $T=1,6$ s bo'lganda uzatish funksiyasi $W(p) = \frac{k}{Tp+1}$ bo'lgan bo'g'inning amplituda-faza-chastota va logarifmik amplituda xarakteristikalarini quring.

Yechish. Amplituda-faza-chastota xarakteristikasini qurish uchun $W(p)$ tenglamaga $p=j\omega$ ni qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$W(j\omega) = \frac{k}{T(j\omega)+1} = \frac{k}{1+T^2\omega^2} - j \frac{kT\omega}{1+T^2\omega^2} = \frac{1,25}{1+2,56\omega^2} - j \frac{2\omega}{1+2,56\omega^2} = R(\omega) - jI(\omega).$$

$0 \leq \omega \leq \infty$ oraliqda qiymatlarni keltirib quyidagi bog'liqlikni hosil qilamiz:

ω	0	0,1	0,5	1	2	10	∞
$R(\omega)$	1,25	1,2	0,74	0,35	0,11	0,005	0
$I(\omega)$	0	-0,2	-0,61	-0,57	-0,35	-0,07	0



3.17-rasm.

a—inersion bo'g'inning godografi, *b*— inersion bo'g'inning logarifmik amplituda xarakteristikasi (LAX).

Berilgan jadval bo'yicha godograf chizamiz (3.17-rasm, *a*).
Logarifmik amplituda xarakteristikasi:

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg \frac{1,25}{\sqrt{1,25 + 2,56\omega^2}} =$$

$$= 20 [\lg 1,25 - 0,51 \lg(1,25 + 2,56\omega^2)].$$

Bu tavsifnomani $L(\omega T)$; ωT masshtabda qurish qulay. Bu holda asimptotik LAT (3.17-rasm, *b*) $\omega T=1$ nuqtada siniq chiziq. Siniq chiziqdan chap tomoni gorizontaal (qiymati $20 \lg 1,25$), o'ng tomoni qiya chiziq LAT ning chastota o'qi bilan kesishgan nuqtasi quyidagi shart asosida aniqlanadi:

$$L(\omega_s) = 20 \lg \frac{k}{\omega_s T_s} = 0,$$

bu yerda $T_s = k = 1,25$.

58-misol. $k=0,2$; $T=0,002$ s bo'lganda, $W(p) = \frac{kTp}{Tp+1}$ differensiallovchi bo'g'in uchun logarifmik amplituda xarakteristikasini aniqlang va amplituda-faza-chastota xarakteristika godografini quring.

Yechish. Amplituda-faza-chastota xarakteristikasi $W(p)$ funksiyasiga $p=j\omega$ tenglikni qo'yish yo'li bilan olinadi:

$$W(j\omega) = \frac{kT(j\omega)}{T(j\omega)+1} = \frac{kT^2\omega^2}{1+T^2\omega^2} + j \frac{kT\omega}{1+T^2\omega^2} = R(\omega) + jI(\omega) =$$

$$= \frac{8 \cdot 10^{-7}\omega^2}{1+4 \cdot 10^{-6}\omega^2} + j \frac{4 \cdot 10^{-4}\omega}{1+4 \cdot 10^{-6}\omega^2};$$

ω ga $0 \leq \omega \leq \infty$ oralig'ida qiymatlar qo'yib, $R(\omega)$ va $I(\omega)$ larning qiymatini hisoblash mumkin.

ω	0	100	200	500	1000	2000	∞
$R(\omega)$	0	$7,7 \cdot 10^3$	0,028	0,1	0,16	0,19	0,2
$I(\omega)$	0	0,4	0,07	0,1	0,08	0,047	0

Kompleks $R(\omega)$, $I(\omega)$ tekisligida qurilgan godograf 37-rasmda ko'rsatilgan.

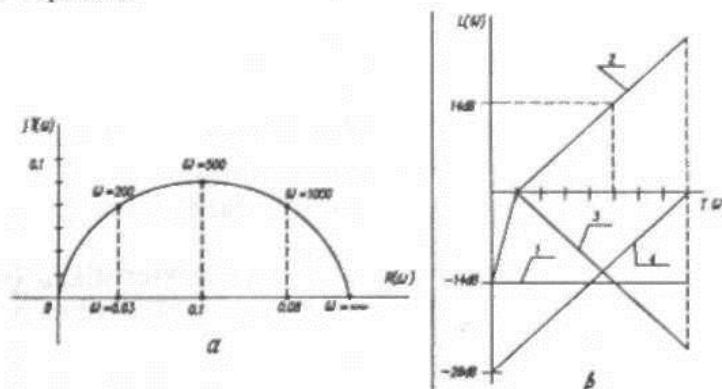
Logarifmik amplituda xarakteristikasini quyidagi tenglamadan olish mumkin.

$$W(j\omega) = kT(j\omega) \frac{1}{T(j\omega) + 1},$$

bundan

$$\begin{aligned} L(\omega) &= 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg k + 20 \lg |Tj\omega| - 20 \lg |Tj\omega + 1| = \\ &= 20 \lg 0,2 + 20 \lg |0,002\omega| - 20 \lg \sqrt{1 + 4 \cdot 10^{-6} \omega^2}. \end{aligned}$$

Logarifmik amplituda xarakteristikasi 3.18-rasm, b da ko'rsatilgan. U har bir qo'shiluvchi uchun (1,2,3) alohida quriladi, keyin grafiklar jamlanadi va oxirgi yakuniy grafik (4) topiladi.



3.18-rasm:

a —differensial bo'g'inining godografi, b —differensial bo'g'inining logarifmik amplituda-faza-chastota xarakteristikasi (AFCHX).

59-misol. Quyidagi uzatish funksiyasiga ega bo'lgan ikkinchi tartibli bo'g'inning faza chastotaviy xarakteristikasini quring:

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + \varepsilon T_2 p + 1},$$

bunda: $k = 7$; $T_2 = 0,095s$; $\varepsilon = 0,63$.

Yechish. Uzatish funksiyasiga $p=j\omega$ ni kiritib, amplituda-faza-chastota xarakteristikasini olinadi.

$$W(j\omega) = \frac{k}{(1 - T_2^2 \omega^2) + j0,63T_2 \omega} = k \frac{1 - T_2^2 \omega^2}{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + 0,4T_2^2 \omega^2} - jk \frac{0,63T_2 \omega}{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + 0,4T_2^2 \omega^2}.$$

Bundan faza-chastota xarakteristikasi

$$\varphi = \arctg \frac{0,63T_2 \omega}{1 - (T_2 \omega)^2}.$$

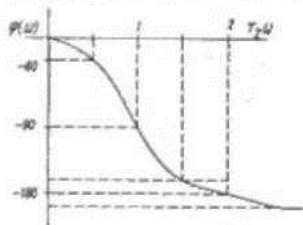
$\varphi(\omega)$ grafi 3.19-rasmda ko'rsatilgan.

60-misol. 59-misoldan logarifmik amplituda xarakteristikasini quring.

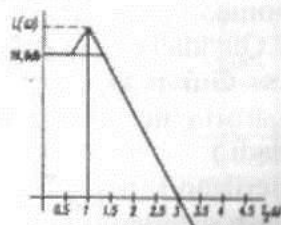
Yechish. Berilgan LAT

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + 0,4T_2^2 \omega^2}} = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + 0,4T_2^2 \omega^2}.$$

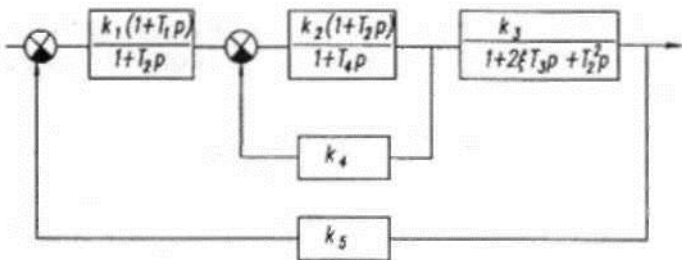
$L(\omega)$ grafi 3.20-rasmida keltirilgan.



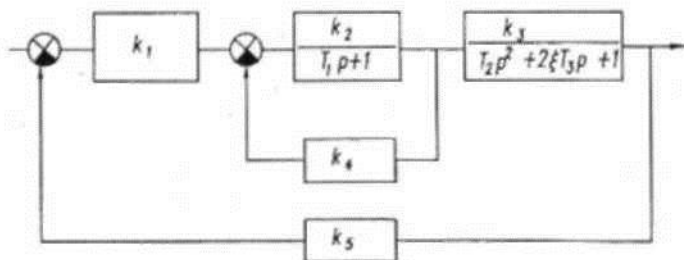
3.19-rasm. Tebranuvchan bo'g'inning faza-chastota xarakteristikasi.



3.20-rasm. Markazdan qochma mayatnikning logarifmik-amplituda xarakteristikasi.



3.21-rasm.



3.22-rasm.

TOPSHI RIQLAR

1. Berilgan sxema asosida (3.21, 3.22-rasmlar) ochiq va yopiq zanjir bo'yicha Mixaylov, Naykvist chastotaviy mezonlari asosida ABS larining barqarorligini aniqlang (topshiriqlar 3.2-jadvalda keltirilgan. Variantlar o'qituvchi tomonidan beriladi).

2. Quyida keltirilgan xarakteristikali tenglamalar asosida Raus-Gurvis algebraik mezonlari asosida ABS larining barqarorligini aniqlang. (Variantlar o'qituvchi tomonidan beriladi.)

Berilgan tarkibiy tuzilish sxemalari asosida avtomatik roslash sistemasining barqarorligini Mixaylov va Naykvist mezonlari asosida aniqlang.

Sxema, 1/r	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	ξ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0,8	80	0,7	0,02	0,5	—	—	0,1	0,2	0,01	0,1	0,1	0,3
2	2	10	40	0,8	0,05	0,5	—	—	0,1	0,1	—	—	—	0,2
3	1	0,7	80	0,7	0,03	0,5	—	—	0,1	0,2	0,02	0,1	0,1	0,3
4	2	10	80	0,9	0,5	0,4	—	—	0,1	0,1	—	—	—	0,2
5	1	0,6	80	0,7	0,02	0,5	—	—	0,1	0,2	0,03	0,1	0,1	0,3
6	2	15	40	0,8	0,05	0,5	—	—	0,1	0,1	—	—	—	0,2
7	1	0,8	100	0,6	0,03	0,5	—	—	0,1	0,2	0,04	0,1	0,1	0,3
8	2	15	80	0,9	0,05	0,4	—	—	0,1	0,1	—	—	—	0,2
9	1	0,7	100	0,6	0,02	0,5	—	—	0,1	0,2	0,05	0,1	0,1	0,4
10	2	20	40	0,8	0,05	0,5	—	—	0,2	0,1	—	—	—	0,3
11	1	0,6	100	0,6	0,02	0,5	—	—	0,1	0,2	0,06	0,1	0,1	0,4
12	2	20	80	0,8	0,05	0,4	—	—	0,2	0,1	—	—	—	0,3
13	1	0,8	90	0,8	0,03	0,4	—	—	0,1	0,2	0,01	0,1	0,1	0,4
14	2	25	60	0,9	0,05	0,5	—	—	0,2	0,1	—	—	—	0,3
15	1	0,7	90	0,8	0,02	0,4	—	—	0,1	0,2	0,02	0,1	0,1	0,4
16	2	25	80	0,8	0,05	0,4	—	—	0,2	0,1	—	—	—	0,3
17	1	0,6	90	0,8	0,03	0,4	—	—	0,1	0,2	0,03	0,1	0,1	0,5
18	2	30	40	0,9	0,05	0,5	—	—	0,3	0,1	—	—	—	0,4
19	1	0,8	70	0,9	0,02	0,4	—	—	0,1	0,2	0,04	0,1	0,1	0,5
20	2	30	40	0,8	0,05	0,4	—	—	0,3	0,1	—	—	—	0,4
21	1	0,7	70	0,9	0,03	0,4	—	—	0,1	0,2	0,05	0,1	0,1	0,5
22	2	8	40	0,9	0,05	0,5	—	—	0,3	0,1	—	—	—	0,4
23	1	0,6	70	0,9	0,03	0,4	—	—	0,1	0,2	0,06	0,1	0,1	0,5
24	2	8	40	0,8	0,05	0,4	—	—	0,3	0,1	—	—	—	0,4

Berilgan tenglamalar asosida avtomatik rostdash sistemasining barqarorligini Rauss-Gurvis mezonlari asosida aniqlang.

$$a_0 \cdot p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0.$$

1. $p^4 + 2p^3 + 10p^2 + 12p + 10 = 0.$
2. $0,1p^5 + 2p^4 + 2,5p^3 + 8p^2 + 50 = 0.$
3. $0,05p^4 + 0,8p^3 + 0,02p^2 + p + 2 = 0.$
4. $0,4p^4 + 0,02p^3 + 3p^2 + 0,6p + 0,4 = 0.$
5. $0,002p^3 + 0,04p^2 + 0,6p + 0,4 = 0.$
6. $p^5 + 2p^4 + 4p^3 + 6p^2 + p + 10 = 0.$
7. $4 \cdot 10^{-3} p^4 + 2 \cdot 10^{-4} p^3 + 0,1p^2 + p + 4 = 0.$
8. $15p^4 + 0,5p^3 + 4p^2 + p + 6 = 0.$
9. $12p^5 + 14p^4 + 4p^3 + 0,2p^2 + p + 2 = 0.$
10. $10 \cdot 10^{-3} p^3 + 4 \cdot 10^{-5} p^2 + 8 \cdot 10^{-4} p + 2 \cdot 10^{-5} = 0.$
11. $3 \cdot 10^{-6} p^4 + 5 \cdot 10^{-3} p^3 + 3 \cdot 10^{-2} p^2 + p + 0,8 = 0.$
12. $0,02p^5 + 0,4p^4 + 0,4p^3 - 0,2p^2 + p = 0.$
13. $p^3 + 2 \cdot 10^{-2} p^2 + 1,004 \cdot 10^6 p + 10^7 = 0.$
14. $0,1 \cdot 10^{-5} p^4 + 1,35 \cdot 10^{-3} p^3 + 4,85 \cdot 10^{-2} p^2 + 0,71p + 6 = 0.$
15. $p^6 + 6p^5 + 21p^4 + 44p^3 + 62p^2 + 52p + 24 = 0.$
16. $p^4 + 8p^3 + 18p^2 + 16p + 5 = 0.$
17. $0,1 \cdot 10^3 p^5 + 1,4 \cdot 10^{-3} p^4 + 2,1 \cdot 10^{-2} p^3 + 0,04 \cdot 10^2 p^2 + p + 10^3 = 0.$
18. $7p^4 + 12p^3 + 8,6p^2 + p + 23 = 0.$
19. $0,4 \cdot 10^{-3} p^5 + 0,01 \cdot 10^{-2} p^4 + 0,004p^3 + 0,2p^2 + 0,8p + 10 = 0.$
20. $0,8p^4 + 4p^3 + 2p^2 + p + 8 = 0.$
21. $4p^3 + 2,2p^2 + 8,6p + 4 = 0.$
22. $84p^5 + 56p^4 + 62p^3 + 32p^2 + 24p + 16 = 0.$
23. $p^6 + 0,4p^5 + 0,2p^4 + 4p^3 + 8p^2 + 0,6p + 10 = 0.$
24. $0,6p^5 + 0,2p^4 + p^3 + 0,2p^2 + 0,1p + 0,4 = 0.$
25. $24p^4 + 12p^3 + 6p^2 + p + 4 = 0.$
26. $0,02p^6 + 0,4p^5 + 0,001p^4 + 0,002p^3 + 0,1p^2 + p + 20 = 0.$
27. $0,1p^5 + 0,06p^4 + 0,003p^3 + 0,8p^2 + 0,2p + 0,008 = 0.$

Nazorat savollari

1. Avtomatik boshqaruv sistemalarining dinamik xarakteristikalari qanday usullar asosida aniqlanadi?
2. Dinamik xarakteristikalar qanday parametrlar asosida aniqlanadi?
3. ABS larining tipik elementlar bo'g'inlari haqida tushun-cha bering.
4. ABS larining uzatish funksiyalari qanday aniqlanadi?
5. ABS larining tarkibiy tuzilish sxemalarini ekvivalent almashtirish sxemasi qanday aniqlanadi?
6. ABS larining barqarorligi algebraik (Raus-Gurvis) mezonlar asosida qanday aniqlanadi?
7. ABS larining barqarorligi chastotaviy (Mixaylov, Naykvist, AFCHX, logarifmik) usullar yordamida qanday aniqlanadi.

Elektr ijro mexanizmlari

Mexanizm markasi	Valdagi nominal moment, N·m	Boshlang'ich moment, N·m	Chiqish valining bir marta to'liq aylanishi, s	Chiqish valining maksimal aylanish burchagi, grad.	50 Hz chastotada ta'minlash kuchlanishi, V	Qo'llanilayotgan quvvat, W	Ijro mexanizmining o'lchamlari, mm
ПР-М	9,8	—	10,30	180	220	50	280×122× ×288
ПР-1М	968	—	60,90,120	—	—	—	230×122× ×180
ИМ-2/120	19,6	2964	120	120	220	30	246×230× ×210
МЭО-1,6/40	15,7	23,5	40	120	220	40	234×234× ×213
МЭО-4/100	39,2	58,8	100	90,240	220	64	260×330× ×300

1	2	3	4	5	6	7	8
МЭО-10/100	98	1666	100	90,240	220	64	260×330× ×300
МЭО-63/250	617,4	1048,6	250	90,240	220	585	425×456× ×590
ИМТ-4/35	39,2	58,8	2,5	350	220,380	270	455×210× ×220
МЭК-10К/120	98	147	120	90,270	127,220	180	326×313× ×435
МЭК-25К/2СМ	245	411,6	40	90,240	220,380	115	490×523× ×392
БИМ-25/120	24,5	34,3	120	120	127	30	246×230× ×210
БИМ-25/100	25	30,8	100	90,270	220	150	313×374× ×480

Qarshilik termometrlari

Markasi	Shkala ko'rsatkichi, °C	O'lchash chegarasi, °C	Issqlik inersiyasi ko'rsatkichi	Sezgir elementlar soni
TCM-X	23	-50...100	4 min	1
TCM-X1	23	-50...100	4 min	1
TMC-6097	23,24	-50...150	4 min	1
TMC-3071	23,24	-50...250	30 sek	1
TMC-5071	23,24	-50...150	120 sek	1
TCM-010	23	-50...100	2,5 min	1
TCM-020	23	-50...100	2,5 min	2
TCM-5114	23	-50...100	25 sek	1
TCM-8012	23	0...50	20 min	1
TCM-148	23	0...120	80 sek	1
TCM-8034M	23	-50...85	30 sek	1
Platinali				
ТСП-8021	22	0...50	20 min	1
ТСП-6108	22	-50...60	20 sek	1
ТСП-154	21	-50...140	20 sek	1
ТСП-6105	22	-260...200	9 sek	1
ТСП-955M	22	0...100	9 sek	1

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirahmedov D.A. Avtomatik boshqarish nazariyasi. T., 1993.
2. Kolesov P.V. Qishloq xo'jaligi agregatlari hamda ustanovalarining elektr jihozlari va ularni avtomatlashtirish. T., 1980.
3. Бородин И.Ф., Недилько Н.И. Автоматизация технологических процессов. М., 1988.
4. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов. М., 1974.
5. Иващенко Н.И. Автоматическое регулирование. М., 1978.
6. АСУ влажностно-тепловых параметрами. М., 1988.
7. Санковский Е.А., Шаталов А.С. и др. Теория автоматического управления. М., 1977.
8. Бесекерский В.А. и др. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. М., 1978.
9. Макаров И., Евтихийев Н. Н. и др. Основы автоматизации управления производством. М., 1983.
10. Yusupbekov N.R. va b. Avtomatika va ishlab chiqarish protsesslarining avtomatlashtirilishi. T., 1982.