AVTOMATIK ROSTLASHNING ASOSIY QONUNLARI

Sabirov Ulug‘bek Kuchkarovich
Andijon davlat texnika instituti Dotsent,
uqsabirovasu1951@gmail.com
Tel. +998 979951802

Annotatsiya: Maqolada avtomatik rostlashning integral (I-qonun), proportsional (P-qonun), proportsional-integral (PI-qonuni), proportsional-differentsial (PD-qonuni), proportsional-integral-differentsial (PID-qonuni) qonunlarining asosiy tavsiflari taqdim etilgan. Har bir rostlash qonuni struktura sxemalarda va rostlash jarayonlari grafiklarda ifodalangan. Ushbu maqola o`quvchilarga avtomatik rostlashning turli qonunlarini qiyosiy tahlil qilish imkoniyatini beradi.

Kalit so‘zlar: boshqaruv sifati, avtomatik rostlash, I - qonun, P - qonun, PI - qonuni, PD - qonuni, PID - qonuni.

Аннотация: В статье даны основные описания интегрального (И-закона), пропорционального (П-закона), пропорционально-интегрального (ПИ-закона), пропорционально-дифференциального (ПД-закона) и пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД-закона) законов автоматического регулирования. Каждый закон регулирования представлен в структурных схемах, а процессы регулирования — в графиках. Данная статья предоставляет читателям возможность провести сравнительный анализ различных законов автоматического регулирования.

Ключевые слова: качество управления, автоматическое регулирование, И - закон, П - закон, ПИ - закон, ПД - закон, ПИД - закон.

Abstract: The article provides basic descriptions of the integral (I-law), proportional (P-law), proportional-integral (PI-law), proportional-differential (PD-law) and proportional-integral-differential (PID-law) laws of automatic control. Each control law is presented in structural diagrams, and the control processes are presented in graphs. This article provides readers with the opportunity to conduct a comparative analysis of various automatic control laws.

Keywords: control quality, automatic control, I-law, P-law, PI-law, PD-law, PID-law.

Kirish.

Ma`lumki, avtomatik boshqaruv tizimlari (ABT) qonunlarining asosiy maqsadi belgilangan boshqaruv maqsadlariga ma'lum sifat bilan erishishni ta'minlashdir. Boshqaruv sifati deganda boshqaruvning kutilayotgan va haqiqiy natijalari o'rtasidagi muvofiqlikni tushunamiz. Avtomatik rostlash (boshqaruv) qonunlari yordamida hal qilinadigan ba'zi masalalar sifatida quyidagilarni ta`kidlash mumkin:

ISSN 3030-3907

• muayyan texnologik jarayonni tavsiflovchi har qanday fizik miqdorning (parametrning) doimiyligini yoki uning ma'lum bir qonunga muvofiq o'zgarishini ta`minlash;

• ob'yekt parametrlarining o'zgarishiga yoki tashqi ta'sirlarga muvofiq boshqaruv tizimini moslashtirish;

• optimal boshqaruv harakatlarini shakllantirish;

• bir nechta mumkin bo'lgan ish rejimlaridan eng yaxshi rejimlarni avtomatik tanlash;

• xatolikni (mos kelmaslikni) nolga yoki ahamiyatsiz qiymatga kamaytirish.

Rostlash qonuni deganda ABTning dinamik ish rejimlarida rostlash ta`sirining m_{rost} rostlanadigan parametrga bog'liqligi $m_{rost} = f(j)$ tushuniladi.

Odatda, avtomatik rostlashning quyidagi asosiy qonunlari farqlanadi [1-8, 14-21]:

- integral (I - qonun);
- proportsional (P - qonun);
- proportsional-integral (PI qonuni);
- proportsional-differensial (PD - qonuni);
- proportsional-integral-differensial (PID qonuni).

Rostlash qonunlari rostlagichning asosiy elementlariga qo'shimcha elementlarni kiritish orqali olinadi.

Avtomatik rostlashning asosiy qonunlari, odatda, tizimni avtomatik ravishda optimal holatga keltirish uchun muhim nazariy printsiplarga asoslanadi. Quyidagi asosiy qonunlar avtomatik rostlash (boshqarish) tizimlarida qo'llaniladi:

1. Integral (I) rostlash: boshqaruvning bu turi xatolikning vaqt davomida yig'ilgan qiymatini hisobga oladi. Ya'ni, tizim vaqt o'tishi bilan xatolikni yo'qotishga intiladi, bu esa tizimni yanada barqaror qiladi va uzoq vaqt davomida xatolikni kamaytiradi. Integral (I-qonun) barqaror holatda yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Shu bilan birga, I-rostlagich o`tish jarayonning va umuman tizimning barqarorligini pasayishiga olib keladi.

2. Proportional (P) rostlash: boshqaruvning bu turi tizimning xatolik qiymatiga proporsional javob beradi. Agar xatolik katta bo'lsa, tizim tezda korrektsiyalanadi, ammo xatolik kamayganida korrektsiyalash kamayadi. Bu oddiy va samarali, lekin ba'zida xatolikni to'liq yo'qotish uchun etarli bo'lmasligi mumkin. Proportsionallik (P-qonun) boshqariladigan o'zgaruvchining og'ishiga asoslangan rostlashni ifodalaydi. Ushbu qonunga ko'ra, rostlagich chiqishidagi signalning qiymati har doim uning kirish miqdori qiymatiga qat'iy proportsionaldir.

3. Proportsional-integral (PI-qonuni). Proportsional va integral boshqaruv qonunlarining ijobiy xususiyatlarini birlashtirishga imkon beradi.

ISSN 3030-3907

4. Proportsional-differensial (PD-qonun). O`tish rejimida tizimning harakatini yaxshilash uchun boshqaruv qonuniga xatoning hosilasi kiritiladi.

5. PID rostlash: bu uchta boshqaruvning kombinatsiyasidan iborat bo'lib, tizimda xatolikni minimallashtirishga xizmat qiladi. P (Proportional), I (Integrallash), va D (Differentsial) qismlarining moslashuvi orqali tizimni yanada optimallashtirish mumkin. PID boshqaruvi ko'plab sanoat tizimlarida keng qo'llaniladi. Proportsional-integral-differentsial (PID-qonuni) PI va PD rostlagichlarning ijobiy xususiyatlarini birlashtiradi. Integral komponent tufayli statik xatolik yo'q qilinadi va rostlash qonunida hosilaning mavjudligi tufayli yuqori chastotalarda rostlagichning kuchaytirish koeffitsiyenti oshadi, bu uning tezligini oshiradi.

Yuqoridagilardan tashqari, quyidagi rostlash va boshqarish qonunlari va usullari turli ABTda qo`llaniladi

1. Differentsial (D) rostlash: bu boshqaruv turi xatolikning o'zgarish tezligini nazorat qiladi. Agar xatolik juda tez o'zgarsa, tizim tezda javob qaytaradi. Bu, ayniqsa, tizimning o'zgarishiga tez javob berish kerak bo'lsa, foydalidir.

2. Teskari aloqa (feedback): avtomatik rostlash tizimida teskari aloqa tizimning chiqish qiymatlarini qayta ishlashga asoslangan. Tizimning chiqish signali orqaga qayta uzatilib, tizimni maqsadga mos ravishda sozlaydi, bu esa tizimni har doim optimal holatda ushlab turish imkoniyatini beradi.

3. Nochiziqli boshqaruv qonunlari orasida releli qonunlar eng keng tarqalgan. Ikki pozitsiyali va uch pozitsiyali boshqarish qonunlari mavjud.

4. Optimal boshqaruv: boshqaruvning bu turida tizimning barcha parametrlarini optimallashtirishga qaratilgan yondashuvlar qo'llaniladi. Bu usul muayyan matematik modellarga asoslanadi va tizimni eng yaxshi ishlashiga imkon yaratadi.

Avtomatik rostlash qonunlarining amaliy natijalari turli manbalarda [9, 14-21] tahlil qilingan.

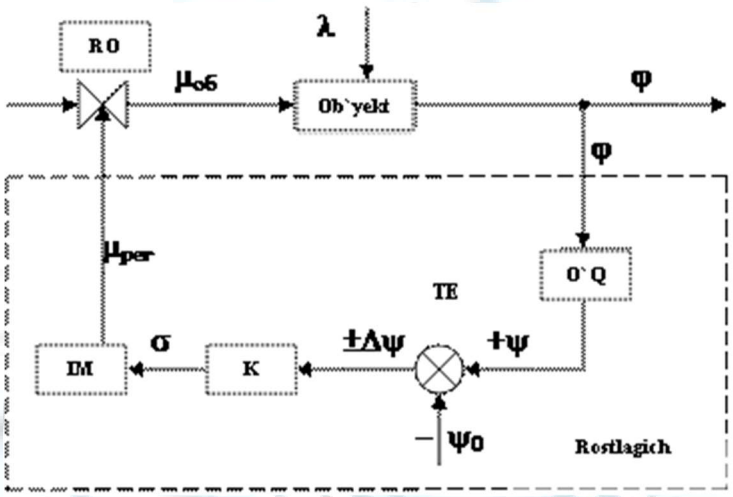
Muhokamalar. Avtomatik rostlash qonunlarining amal qilishi chiziqli yoki chiziqlantirish mumkin bo`lgan ABT uchun o`rinli hisoblanadi. Bundan tshqari, ko`rilayotgan rostlash qonunlari uzluksiz jarayonlarda ustivorlik qiluvchi muayyan fizik parametrlarni avtomatik rostlashni nazarda tutadi.

Avtomatik rostlashning uzluksiz qonunlarini amalga oshiruvchi rostlagichlarga proportsional (P), integral (I), differentsial (D) va ularning kombinatsiyalaridan iborat rostlagichlar kiradi: proportsional-integral (PI), proportsional-differensial (PD) va proportsional-integral-differensial (PID). Ushbu qonunlarga ko'ra, uzluksiz sanoat kontrollerlari P-kontroller, PI-kontroller, PD-kontroller va PID-kontrollerlari sifatida belgilanadi.

ISSN 3030-3907

Quyida avtomatik rostlashning integral (I-qonun), proportsional (P-qonun), proportsional-integral (PI-qonuni), proportsional-differentsial (PD-qonuni), proportsional-integral-differentsial (PID-qonuni) qonunlarini ko`rib chiqamiz.

I–rostlash qonuni. I–rostlash qonunining struktura sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. I –rostlash qonunining struktura sxemasi: RO – rostlash organi, O`Q – o`lchov qurilmasi, TE – taqqoslovchi element, K – kuchaytirgich, IM – ijro mexanizmi.

I –rostlagichning asosiy elementlari: o'lchash qurilmasi (O`Q), taqqoslash elementi (TE), kuchaytirgich (K), ijro mexanizmi (IM). Ular rostlagichda ketma-ket ulanadi, shuning uchun rostlagichning uzatish funktsiyasini olish uchun ularni eng oddiy deb hisoblagan holda, ushbu elementlarning uzatish funktsiyalarini bilish kerak bo'ladi.

1. O`Q - bu parametrni $j$ o'lchash uchun datchik (sensor) (bosim, harorat, daraja va boshq.). Uni proportsional element deb hisoblaymiz. Bu erda o'lchash natijasi quyidagicha: $\psi = k_{O`Q}\varphi$. $k_{O`Q}$ - o'lchash qurilmasining kuchaytirish koeffitsiyenti. O'lchash qurilmasining uzatish funktsiyasi:

$$W_{O`Q}(p) = \frac{\psi(p)}{\varphi(p)} = k_{O`Q} \quad (1)$$

2. TE - taqqoslash elementida datchik va boshlang`ich signalni belgilovchi qurilmadan kelgan signallar ishoralari hisobga olingan holda bir-biriga qo'shiladi va xatolik signali hosil bo'ladi:

$$\pm\Delta\psi = (\psi - \psi_0) \quad (2)$$

Taqqoslash elementining uzatish funktsiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W_{TE}(p) = \frac{\Delta\psi}{(\psi - \psi_0)} = 1 \quad (3)$$

ISSN 3030-3907

3. K - kuchaytirgich kuchsiz signalini D_k ijro mexanizmining ishlashini boshqaradigan kuchli signalga s kuchaytirish uchun mo'ljallangan, shuning uchun uni proportsional element deb hisoblash mumkin. Shunda kuchaytirgichning tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\sigma = k_{BQ}\Delta\psi \tag{4}$$

bu erda k_{BQ} - boshqaruv qurilmasining (BQ) kuchaytirish koeffitsienti. Kuchaytirgichning uzatish funksiyasi quyidagicha:

$$W_K(p) = \frac{\sigma(p)}{\Delta\psi(p)} \tag{5}$$

4. IM - ijro mexanizmi rostlash organini (RO) harakatga keltiradi. Ko'pincha, harakat doimiy tezlikda sodir bo'ladi, chunki u doimiy tezlikka ega bo'lgan elektr motor bilan jihozlangan. Shuning uchun ijro mexanizmini ideal integrallovchi element sifatida tasniflash mumkin. IMning tenglamasi:

$$T_{IM}\frac{d\mu_{rost}}{dt} = \sigma \tag{6}$$

IMning uzatish funksiyasi:

$$W_{IM}(p) = \frac{1}{T_{IM}p} \tag{7}$$

Rostlagichning uzatish funksiyasi:

$$W_{rost}(p) = \frac{\mu_{rost}(p)}{\varphi(p)} = W_{O`Q}\cdot W_{TE}\cdot W_K\cdot W_{IM} \tag{8}$$

$$= k_{O`Q}\cdot 1\cdot k_{BQ}\cdot\frac{1}{T_{IM}p}$$

Oxirgi munosabatdan operator ko'rinishidagi rostlagich tenglamasini olamiz:

$$T_{IM}p\mu_{rost} = k_{O`Q}\cdot k_{BQ}\varphi \tag{9}$$

undan rostlagichning differentsial tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{d\mu_{rost}}{dt} = \frac{k_{O`Q}\cdot k_{BQ}}{T_{IM}p} \tag{10}$$

Bu tenglamaning echimi rostlash qonunini beradi:

$$\mu_{rost} = \frac{k_{O`Q}\cdot k_{BQ}}{T_{IM}p}\int\varphi dt \tag{11}$$

Bu tenglamadan kelib chiqadiki, rostlash organining harakati m_{rost} vaqt t ichida o'lchangan qiymatning integraliga proportsionaldir (I-qonun). Avtomatikaga oid adabiyotlarda bu qonun quyidagicha tasvirlangan:

$$\mu_{rost} = \frac{k_p}{T_I}\int\varphi dt \tag{12}$$

bu erda T_I – integrallash vaqti; k_p – rostlagichning kuchaytirish koeffitsienti.

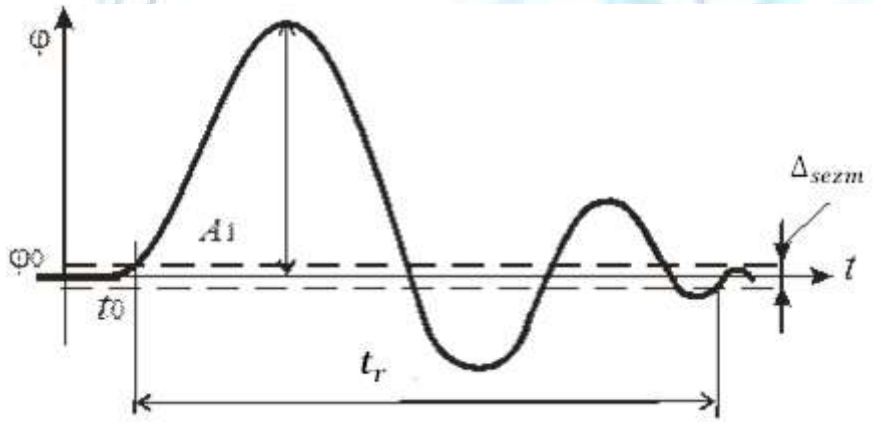
ISSN 3030-3907

3.19-rasmda I-rostlash jarayoni grafigi ko`rsatilgan, bu erda I-rostlagich bilan rostlash jarayoni: φ_0 - parametrning belgilangan qiymati; Δ_{sezm} - rostlagichning sezmaslik zonasi; A_1 - dinamik og'ish; t_r - rostlash vaqti.

I-qonunning afzalliklari: statik rejimlarda aniq rostlash (statik xatoliksiz).

Kamchiliklari: yomon dinamik xususiyatlar: dinamik og'ish A_1 va rostlash vaqti t_r katta. Buning sababi, rostlash organi rostlagichning sezmaslik zonasiga kirguncha usluksiz harakat qiladi.

I-qonunning afzalliklari va kamchiliklarini rostlash jarayonining grafigida (2-rasm) ko'rish mumkin, bu ob'ektga og`diruvchi ta`sir qo'llanilganda, rostlanadigan parametrning j vaqt o'tishi bilan o'zgarishida ko`rish mumkin.

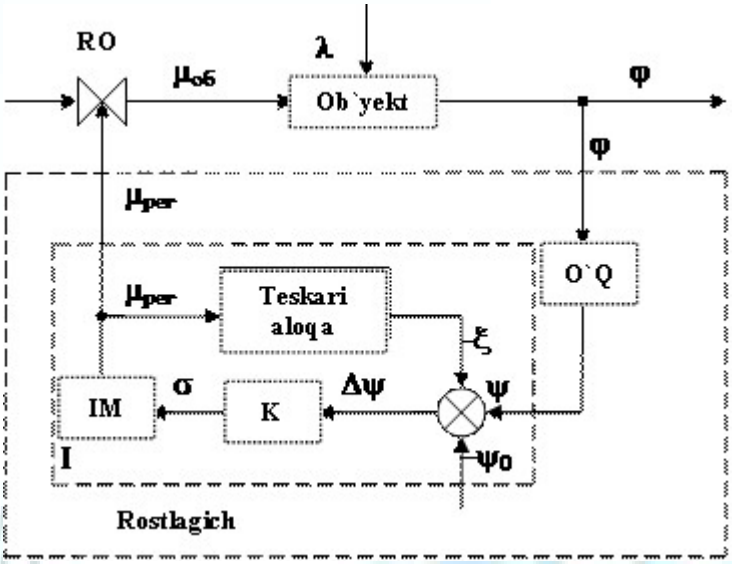


2-rasm. Rostlash jarayoni grafigi.

Rostlagichning dinamik xususiyatlarini yaxshilash uchun vaqti-vaqti bilan rostlash organini oraliq holatda to'xtatib turish, uning doimiy harakatlanishiga yo'l qo'ymaslik kerak. Shu maqsadda tartibga soluvchi qonunni o'zgartiradigan rostlash organining pozitsiyasiga teskari aloqa zanjirlari kiritiladi.

P–rostlash qonuni. Ushbu qonun rostlagichga rostlash organining pozitsiyasi bo'yicha qat'iy manfiy (salbiy) teskari aloqani kiritish orqali olinadi. Qattiq bog'lanish teskari aloqaniga proportsional elementning kiritilganligini anglatadi. Qayta aloqali rostlagichning struktura sxemasi 3–rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



3–rasm. Qayta aloqali rostlagichning struktura sxemasi.

Ushbu sxemada ham rostlagichning asosiy elementlari I-qonunni ko'rib chiqishdagi kabi bir xil, ya'ni ularning uzatish funktsiyalari ma'lum deb taxmin qilamiz.

Qattiq qayta aloqa tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\zeta = k_{tes.a}\mu_{rost} \tag{13}$$

Qattiq qayta aloqaning uzatish funktsiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W_{tes.a}(p) = \frac{\zeta(p)}{\mu_{rost}(p)} = k_{tes.a} \tag{14}$$

Rostlagichning uzatish funktsiyasi sxemada ajratib ko`rsatilgan murakkab ulanishning I uzatish funktsiyasini va IMning uzatish funksiyasini ko'paytirish orqali olinadi:

$$W_{rost}(p) = \frac{\mu_{rost}(p)}{\varphi(p)} = W_I(p)W_{O`Q}(p) \tag{15}$$

Teskari aloqali murakkab ulanishning I uzatish funktsiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W_I(p) = \frac{W_{TE} \cdot W_K \cdot W_{IM}}{1 + W_{TE} \cdot W_K \cdot W_{IM}W_{tes.a}} \tag{16}$$

Shunda rostlagichning uzatish funktsiyasi quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$W_{rost}(p) = \frac{\mu_{rost}(p)}{\varphi(p)} = \frac{k_{O`Q} \cdot 1 \cdot k_{BQ} \cdot \frac{1}{T_{IM}p}}{1 + k_{BQ} \cdot k_{tes.a} \cdot \frac{1}{T_{IM}p}} \tag{17}$$

$$= \frac{k_{O`Q} \cdot k_{BQ}}{T_{IM}p + k_{BQ} \cdot k_{tes.a}}$$

Oxirgi munosabatdan rostlagich tenglamasini olamiz:

ISSN 3030-3907

$$T_{IM}\frac{d\mu_{rost}}{dt} + k_{BQ}k_{tes.a}\mu_{rost} = k_{O`Q}k_{BQ}\varphi \quad (18)$$

Bu birinchi tartibli inertsial ob'ektning tenglamasi. Soddalashtirib ($T_{IM} = 0$) rostlagichning soddalashtirilgan tenglamasini olamiz:

$$\mu_{rost} = \frac{k_{O`Q}}{k_{tes.a}}\varphi \quad (19)$$

Bu tenglamadan μ_{rost} - rostlanadigan parametrning o'zgarishiga proportsional ekanligi aniq bo'ladi (P-qonun).

Avtomatikaga oid ayrim adabiyotlarda bu qonun quyidagicha tasvirlangan:

$$\mu_{rost} = k_p\varphi \quad (20)$$

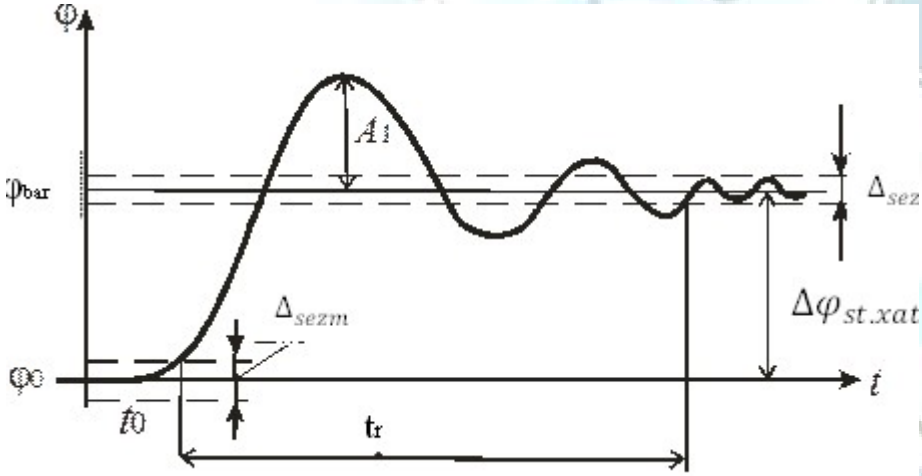
bu erda $k_p = \frac{k_{O`Q}}{k_{tes.a}}$ – rostlagichning kuchaytirish koeffitsienti.

P-qonunining afzalliklari - bu rostlagichning yaxshi dinamik xususiyatlari. Rostlash organi teskari aloqaning ta'siri tufayli oraliq holatda to'xtaydi, uning kattaligi rostlash organi harakatlanishi m_{rost} bilan ortib boradi.

$$\Delta\psi = (\psi - \psi_0) - \zeta;\ y = y_0 + x \text{ bo'lganda } D_y = 0 \quad (21)$$

Kamchiliklari: tizimning statik ish rejimlarida rostlash xatosi paydo bo'ladi (rostlashning statik xatoligi), chunki rostlagich o'chirilganda teskari aloqa o'chmaydi.

Rostlagichning afzalliklari va kamchiliklarini rostlash jarayonining grafigida ko'rish mumkin (4-rasm):



4-rasm. P-rostlagich bilan rostlash jarayoni.

P-qonundan foydalanganda dinamik og'ish A_1 va rostlash vaqti t_r I-qonuniga qaraganda kamroq, shuning uchun P-qonun rostlashning ruxsat etilgan (mumkin bo`lgan) statik xatoligida $\varphi_{st.xat}$ qo'llaniladi.

ISSN 3030-3907

PI-rostlash qonuni. Ushbu qonun tartibga soluvchi organning pozitsiyasiga moslashuvchan manfiy (salbiy) teskari aloqani kiritish orqali olinadi. Moslashuvchan ulanish deganda, teskari aloqa haqiqiy (real) differentsiyalovchi elementni o'z ichiga oladi, uning kirish signali vaqtning dastlabki momentida maksimal bo'ladi va vaqt o'tishi bilan yo'qoladi. Binobarin, vaqtning dastlabki daqiqalarida rostlagich P-qonuniga muvofiq ishlaydi va oxirida, qayta aloqa o'chirilganda, u I-qonuniga muvofiq ishlaydi.

PI-rostlagichning struktura sxemasi P-rostlagichniki bilan bir xil, faqat teskari aloqa boshqacha - moslashuvchan. Rostlagichning asosiy elementlari P-rostlagichniki bilan bir xil: O`Q, TE, BQ, IM, faqat teskari aloqaning uzatish funktsiyasini hisobga olish kerak.

Moslashuvchan teskari aloqa tenglamasi quyidagicha:

$$T_{tes.a}\frac{d\zeta}{dt}+\zeta=T_{tes.a}\frac{d\mu_{rost}}{dt} \tag{22}$$

Demak, teskari aloqaning uzatish funksiyasi quyidagicha:

$$W_{tes.a}(p)=\frac{\zeta(p)}{\mu_{rost}(p)}=\frac{T_{tes.a}p}{T_{tes.a}p+1} \tag{23}$$

Rostlagichning uzatish funksiyasini P-qonunida olingandek harakat qilib olamiz:

$$W_{rost}(p)=\frac{\mu_{rost}(p)}{\varphi(p)}=W_I(p)W_{O`Q}(p) \tag{24}$$

$$=\frac{k_{O`Q}\cdot k_{BQ}(T_{tes.a}p+1)}{T_{IM}p(T_{tes.a}p+1)+k_{BQ}\cdot T_{tes.a}p}$$

Ushbu ifodadan rostlagichning operator ko'rinishidagi tenglamasi chiqadi:

$$T_{IM}p(T_{tes.a}p+1)\mu_{rost}+k_{O`Q}T_{tes.a}p\mu_{rost} \tag{25}$$

$$=k_{O`Q}\cdot k_{BQ}(T_{tes.a}p+1)\varphi$$

Bu erdan rostlagichning tenglamasi quyidagicha bo`ladi:

$$T_{IM}T_{tes.a}\frac{d^2\mu_{rost}}{dt^2}+\left(T_{IM}+k_{O`Q}T_{tes.a}\right)\frac{d\mu_{rost}}{dt}=$$

$$=k_{O`Q}\cdot k_{BQ}T_{tes.a}\frac{d\varphi}{dt}+k_{O`Q}\cdot k_{BQ}\varphi \tag{26}$$

$T_{IM}=0$ deb qabul qilib, ushbu tenglamani soddalashtiramiz:

$$T_{tes.a}\frac{d\mu_{rost}}{dt}=k_{O`Q}T_{tes.a}\frac{d\varphi}{dt}+k_{O`Q}\varphi \tag{27}$$

Uning echimi (o'zgaruvchilarni ajratish usuli bilan) quyidagi ifodani beradi:

$$\mu_{rost}=k_{O`Q}\varphi+\frac{k_{O`Q}}{T_{tes.a}}\int\varphi dt \tag{28}$$

ISSN 3030-3907

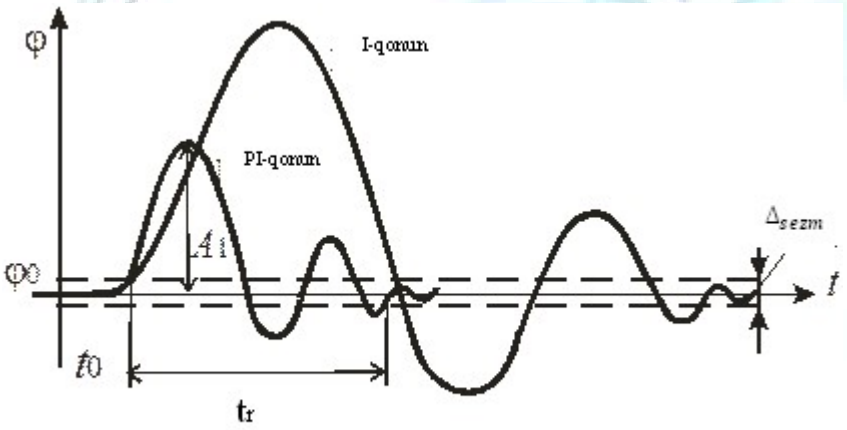
Ushbu tenglamadan ko'rinib turibdiki, rostlash organining harakati m_{rost} rostlanadigan parametrga va uning vaqt bo'yicha integraliga proportsionaldir (PI-qonuni).

Adabiyotlarda bu tenglama quyidagicha keltiriladi:

$$\mu_{rost} = k_p\varphi + \frac{k_p}{T_I}\int \varphi dt \qquad (29)$$

bu erda k_p va T_I PI-rostlagichni sozlash parametrlari (kuchaytirish koeffitsiyenti va integrallash vaqti).

PI-rostlagichli rostlash jarayonining grafigi 5–rasmda keltirilgan.



5–rasm. PI-rostlagichli rostlash jarayonining grafigi.

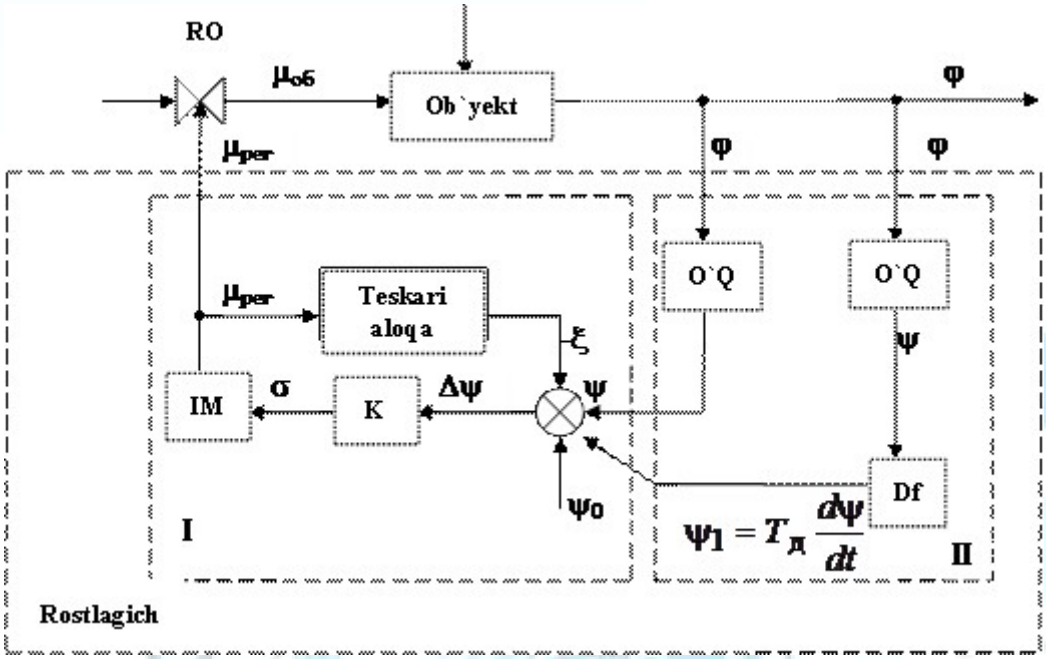
Grafikdan ko'rinib turibdiki, parametrining dinamik og'ishi A_1 va rostlash vaqti t_r I-qonuniga qaraganda kam. Bundan tashqari, statik rejimlarda rostlash xatoligi yo'q, chunki rostlagichning sezmaslik zonasi Δ_{sezm} chegaralarida parametrining φ o'rtacha qiymati belgilangan φ_0 qiymatiga teng.

Ushbu afzalliklarga ko'ra, PI-qonuni texnologik jarayonlarni rostlashda eng ko'p qo'llaniladigan qonun hisoblanadi.

PD- va PID-rostlash qonunlari. Ushbu rostlash qonunlari rostlanadigan parametrning φ o'zgarish tezligiga asoslangan rostlagichlarga qo'shimcha impuls kiritish orqali olinadi.

Rostlagichning struktura sxemasi 6–rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



6–rasm. PD- va PID- rostlagichlarga ega ABTning struktura sxemasi.

Df - differentsiator - signalni y vaqt bo'yicha differentsiallash qurilmasi (signalining y o'zgarish tezligi olinadi).

Rostlash qonunlarini olishda xulosalarni soddalashtirish uchun differentsiator sifatida ideal differentsiallash elementi ishlatiladi. Shunda differensiatorning tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\psi_1 = T_D \frac{d\psi}{dt} \tag{30}$$

bu erda T_D - differentsiallash vaqti.

Differentsiatorning uzatish funktsiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$W_D(p) = \frac{\psi_1(p)}{\psi(p)} = T_D p \tag{31}$$

Rostlagich elementlarning murakkab birlashuvi sifatida I va II murakkab elementlarning ketma-ket ulanishi sifatida ifodalanishi mumkin. I ulanishning uzatish funksiyasini W_I sifatida olamiz. II ulanishning uzatish funksiyasi $O`Q$ va Df elementlarining uzatish funksiyalari yig‘indisi bilan ifodalanadi:

$$W_I(p) = W_{O`Q}(p) + W_{O`Q}(p) \cdot W_D(p) \tag{32}$$

$$W_{rost}(p) = W_I \cdot W_{II}. \tag{33}$$

Parametrning o'zgarish tezligi bo'yicha qo'shimcha signalni Df kiritish natijasini ko`rib chiqamiz. Buni bilvosita j va dj/dt signallarining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi grafigida ko'rish mumkin (7-rasm).

Bu erda T - parametrining j tebranish davri.

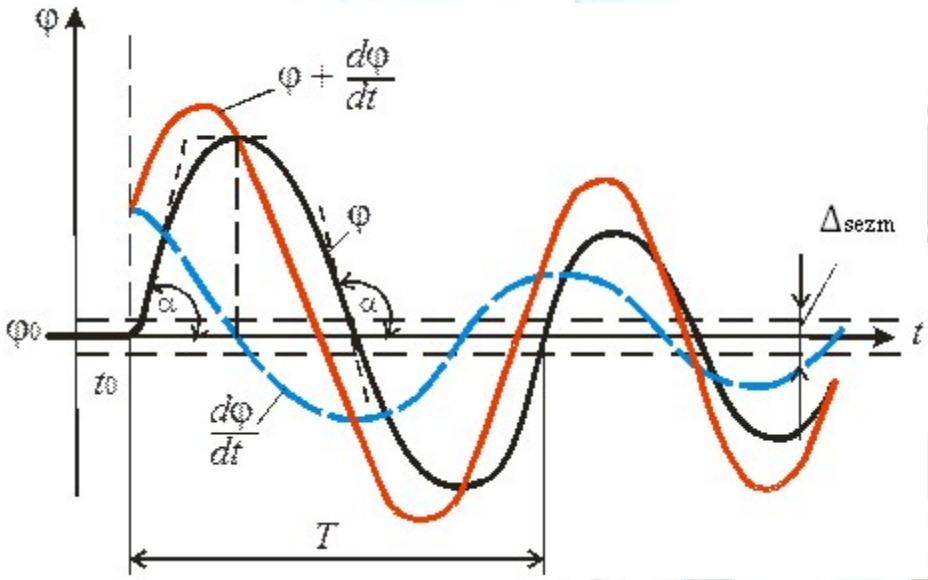
ISSN 3030-3907

Faraz qilaylik, grafikda ko'rsatilganidek, o'lchangan parametr qonunga j muvofiq o'zgarsin. Grafikdagi o'zgarish tezligi $\varphi\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)$ teginish nuqtasida $(tg\alpha)$ tangensning moyillik (egilish) burchagi α ning tangensidir - bu hosilaning grafik tasviridan ma'lum. Shunda u uzilgan-chiziqli (shtrixli) egri chiziq bo'ylab sifat jihatidan $\frac{d\varphi}{dt}$ o'zgaradi.

Rostlagichga (taqqoslash elementiga) signallar summasi $\left(\varphi + \frac{d\varphi}{dt}\right)$ beriladi, u grafikda j va $\frac{d\varphi}{dt}$ signallarni grafik qo'shish orqali olinadi. Bu quyidagi afzalliklarni beradi:

1. Tezlik impulsi $\frac{d\varphi}{dt}$, rostlagichni parametr j sezmaslik zonasidan Δ_{sezm}tashqariga chiqmasidan oldin ishlashga majbur qiladi.

2. Vaqtning boshlang`ich momentlarida (tebranishlar davrining $T$ birinchi choragi chegaralarida) $j$ va $\frac{d\varphi}{dt}$ bo`yicha impulslar qo`shiladi (bir xil ishoraga ega). Rostlagichga qo`shilgan kuchli signal beriladi, uning ta`sirida rostlash o`rgani katta qiymatga suriladi (harakatlanadi). Natijada, muhit yoki energiyaning rostlanadigan ob`yektga kelishi tezroq ro`y beradi va muhit yoki energiyaning balansi ob`yektda tezroq o`rnatiladi.



7-rasm. j va dj/dt signallarining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi grafigi.

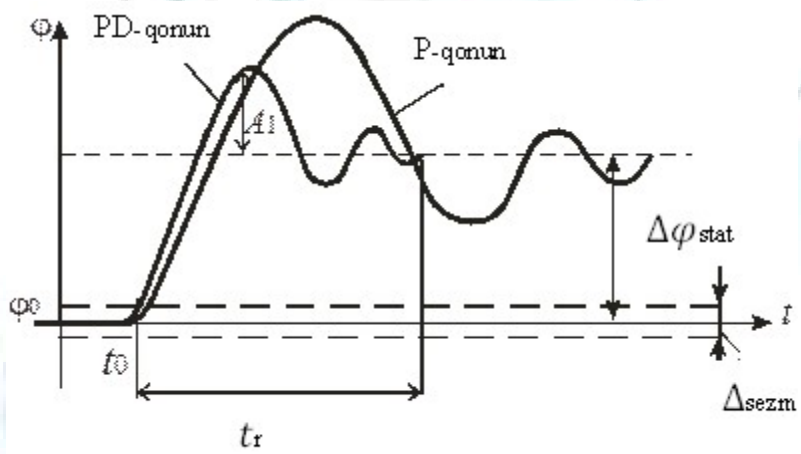
3. Bu umuman olganda, parametrining dinamik og'ishi A_1 va rostlash vaqti t_r tezlik bo`yicha impuls kiritilmagan rostlagichlarga nisbatan kam bo`ladi.

ISSN 3030-3907

PD-rostlash qonuni. Bu qonun P-rostlash qonuniga tezlik $\frac{d\varphi}{dt}$ bo`yicha qo`shimcha impuls kiritilishi orqali olinadi.

Rostlagichning uzatish funktsiyasini olib, undan differentsial tenglamani olib, uni soddalashtirib ($T_{IM} = 0$) PD-rostlash qonunining tenglamasi olinadi. PD-rostlash qonunining tenglamasi adabiyotlarda quyidagi ko`rinishda keltiriladi:

$$\mu_{rost} = k_p\varphi + k_p \cdot T_D \frac{d\varphi}{dt} \quad (34)$$



8–rasm. PD-rostlash jarayonining grafigi.

Tenglamadan ko`rinib turibdiki, rostlash organining harakati $m_{rost}$, rostlanuvchi parametrning $j$ o`zgarishiga va o`zgarish tezligiga mutanosib (proportsional) – bu PD-rostlash qonunidir. Rostlash jarayonining grafigi 8–rasmda keltirilgan.

Grafikdan ko`rinib turibdiki, PD-rostlash qonunida parametrining dinamik og'ishi A_1 va rostlash vaqti t_r P-qonuniga qaraganda kam.

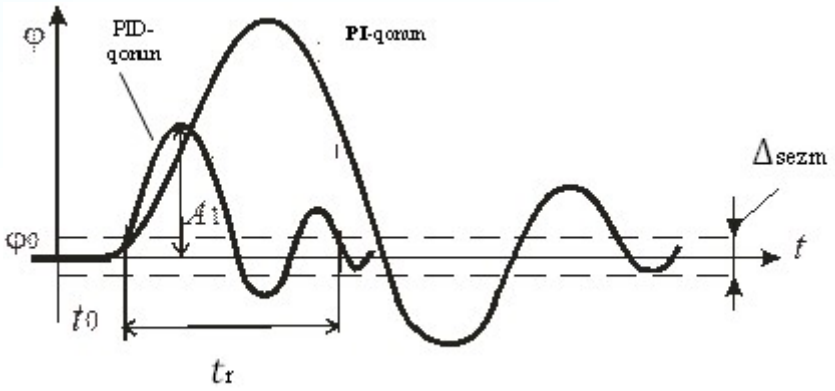
PID-rostlash qonuni. Bu qonun parametrning o'zgarish tezligiga qo'shimcha impulsni PI-qonuniga kiritish orqali olinadi.

Xuddi yuqoridagi kabi, rostlagichning uzatish funktsiyasini olib, undan differentsial tenglamani olib, uni soddalashtirib ($T_{IM} = 0$) PID-rostlash qonunining tenglamasini olish mumkin. PID-rostlash qonunining tenglamasi adabiyotlarda quyidagi ko`rinishda keltiriladi:

$$\mu_{rost} = k_p\varphi + \frac{k_p}{T_I}\int \varphi dt + k_p \cdot T_D \frac{d\varphi}{dt} \quad (35)$$

Tenglamadan ko`rinib turibdiki, rostlash organining harakati $m_{rost}$, rostlanuvchi parametrning $j$ o`zgarishiga, uning vaqt bo`yicha integraliga va hosilasiga mutanosib (proportsional) – bu PID-rostlash qonunidir. Rostlash jarayonining grafigi 9–rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



9–rasm. PID-rostlash jarayonining grafigi.

Grafikdan ko`rinib turibdiki, PID-rostlash qonunida parametrining dinamik og'ishi A_1 va rostlash vaqti t_r PI-qonuniga qaraganda kam.

PID qonuni avtomatik rostlashning asosiy qonunlaridan biri. Bu barcha qonunlar uchun umumiydir. Undan boshqa qonunlarni keltirib chiqarish mumkin.

Xulosalar. Yuqoridagi qonunlar avtomatik boshqaruv tizimini samarali boshqarish va uni optimal holatda ushlab turish uchun qo'llaniladi. Har bir tizimda u yoki bu usullarning kombinatsiyasi tanlanadi, bu tizimning o'ziga xos xususiyatlari va talablariga qarab farqlanadi. 1-jadvalda yuqorida ko`rib chiqilgan avtomatik rostlash qonunlarining qiyosiy tahlili keltirilgan.

1-jadval

Avtomatik rostlash qonunlarining qiyosiy tahlili

Qonun-lar	Asosiy tavsiflari
I-qonun	- boshqarish signali vaqt bo`yicha xatolikning integraliga teng; - rostlash (boshqaruv) organining harakat tezligi xatolik qiymatiga mutanosib; - sozlash parametrlariga ega astatik yoki I-rostlagich tomonidan amalga oshiriladi; - integral rostlagichdan foydalanilganda, statik tartibga solish xatosi har doim nolga teng - bu ushbu rostlagichlarning asosiy afzalligi.
P-qonun	- rostlagichning chiqishidagi signalning qiymati har doim uning kirish miqdori qiymatiga qat'iy proportsionaldir; - kirish signalidagi o'zgarish chiqish signalidagi o'zgarishga qat'iy mos keladi (Inertsiyasizlik);

ISSN 3030-3907

	- rostlashning statik xatoligining mavjudligi. Bu holat ba'zi hollarda P-rostlagichdan foydalanishga imkon bermaydi, ammo ba`zi holatlarda statik xatolik P-qonunining ijobiy xususiyati sifatida ishlatiladi; - tezlikning yuqoriligi. Rostlanadigan o'zgaruvchi belgilangan qiymatdan chetga chiqqanda, rostlagich buzilishning tez kompensatsiyasini ta'minlaydigan og'ishning kattaligiga mutanosib rostlash harakatini ishlab chiqadi; • sozlash parametri - uzatish koeffitsienti, u rostlagichni rostlanadigan qiymatning turli ruxsat etilgan og'ishlariga moslashtirish imkonini beradi.
D-qonun	Agar boshqariladigan o'zgaruvchi y vaqtning istalgan nuqtasida belgilangan qiymatdan tezda chetga chiqa boshlasa, bu holda boshqariladigan o'zgaruvchining o'zgarish tezligiga mutanosib boshqaruv harakatini yaratadigan rostlagichga ega bo'lish maqsadga muvofiqdir. Differensial rostlagich, boshqariladigan o'zgaruvchining og'ish tezligi Δy yuqori bo'lsa, katta rostlash (boshqaruv) ta`sirini u hosil qiladi.
PI-qonun	- sozlash parametrlarining mavjudligi: mutanosiblik koeffitsienti K_p va vaqt konstantasi T_i (rostlagichning integrallash vaqti yoki izodrom vaqti); - astatiklik: ma'lum sharoitlarda rostlash organining harakat tezligining proportsional komponenti bo`lmasligi mumkin, lekin integral komponent saqlanib qoladi, bu PI-rostlagichdan astatik rostlagich sifatida tavsiflaydi (foydalanish mumkin). - strukturaning dinamikligi: PI-rostlagich ikkita parallel ulangan rostlagichlar tizimidir: proportsional va integral; - proportsional-integral boshqaruv past tezlikka ega va dinamik tizimlarni rostlsh uchun to`g`ri kelmaydi. Xatolarni to'planishi va yig'ilishi boshqaruv signalining oshishiga olib keladi, bu esa tizimning buzilishiga olib kelishi mumkin.
PD-qonun	- strukturaviy murakkablik. PD-qonuni ikkita bog'langan bo'g'inlardan iborat: differentsial (D) va proportsional (P); - rostlashning ifodasi. PD-qonuni rostlanadigan o'zgaruvchining va uning hosilasining og'ishi bo`yicha rostlashni ifodalaydi; - differentsiallash doimiyligining mavjudligi. U vaqt o'lchamiga ega va differentsiallash doimiysi yoki etkazib berish vaqti deb ataladi. Differensial komponent rostlash ta`sirini o`tish rejimlarida majburlaydi, shuning uchun u ilgarilovchi boshqaruv elementi deb ataladi; - rostlagichning chiqishiga ta'siri. Rostlanadigan o'zgaruvchi qanchalik katta va tez o'zgarsa, oldindan nazorat qilishning rostlagich chiqishiga ta'siri shunchalik katta bo'ladi;

ISSN 3030-3907

	- barqaror holatda ishlash. Ushbu rejimda PD-rostlagich statik bo'lib qoladi va og'ish to'liq bartaraf etilmaydi.
PID-qonun	- ko'p funksiyalilik. PID kontrollerlari yordamida har qanday nazorat qonunlarini amalga oshirish mumkin; - haqiqiy qiymatni, belgilangan qiymatni, qiymatlardagi farqni va boshqariladigan xususiyatlarning o'zgarish tezligini hisobga olish; - rostlanadigan parametrni tezda mumkin bo`lgan diapazonga qaytarish, qiymatni aniq saqlash va bezovta qiluvchi ta'sirlarga tezda javob berish qobiliyati; - boshqarish signalini tashkil etuvchi uchta komponentning mavjudligi: 1. Proportsional. Parametrning belgilangan qiymati va uning haqiqiy qiymati o'rtasidagi farq asosida shakllanadi. Xarakteristikaning og'ishi qanchalik katta bo'lsa, proportsional signal darajasi shunchalik yuqori bo'ladi. 2. Integral. Boshqariladigan xarakteristikaning qiymatining chetlanishining vaqt bo'yicha integraliga proportsional. Xatolarni qoplashni ta'minlaydi va xarakteristikani belgilangan qiymatlarga qaytarishga imkon beradi. 3. Differentsial. Nazorat qilinadigan parametrning o'zgarish tezligiga mutanosib ravishda ortadi va kamayadi. Tizimdagi to'satdan buzilishlarni qoplaydi, kuchli oshib ketishining oldini oladi va tebranishlarni kamaytiradi. PID-rostlagichlari texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishda va robototexnikada keng qo'llaniladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Адамбаев М.Д. Теория автоматического управления: учебное пособие (для студентов ВУЗов специальности «Приборостроение»)/М. Д. Адамбаев. – Алматы: АУЭС, 2018. – 104 с.
2. Бабичев В.И., Игнатов А.В., Александров Е.В. Теория автоматического регулирования – история, современное состояние и перспективы развития. Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 2.- стр. 446-456.
3. Бесекерский В. А., Попов Е. П. 4-е изд // Теория систем автоматического управления. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с. — ISBN 5-93913-035-6.

ISSN 3030-3907

4. Вайнштейн Р.А. Элементы теории автоматического управления: учеб. Пособие/ Р.А. Вайнштейн, Е.А. Понамарев. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. 84 с.
5. Ким Д. П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для академического бакалавриата / Д. П. Ким. — М.: Издательство Юрайт, 2015. — 276 с. — Серия: Бакалавр. Академический курс.
6. Ковалёв Д.А., Шаряков В.А., Шарякова О.Л. Теория автоматического управления: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2020. – 79 с.
7. Лазута И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные системы [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Лазута, В.С. Щербаков; кафедра «Автоматизация производственных процессов и электротехника». – Электрон. дан. – Омск: СибАДИ, 2017. – Режим доступа: http://bek.sibadi.org/fulltext/esd294.pdf, свободный после авторизации. − Загл. с экрана. ISBN 978-5-93204-890-0.
8. Лиходеев С. И. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде MATLAB [Электронный ресурс] : практикум / С. И. Лиходеев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Сто летовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2022. – 128 с. – ISBN 978-5-9984 1364-3. – Электрон. дан. (7,16 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.
9. Мерзликина Е.И. Сборник задач по курсу «Теория автоматического управления», часть 1: Практикум/ Е.И. Мерзликина. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 48 с.
10. Свердлов Р.В. Линейные системы автоматического управления. Основы анализа, начала синтеза: учеб. пособие. Изд.2-е перераб. и доп./ Р.В. Свердлов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2021. – 159 с.
11. Смирнов, Г. Б. Линейные системы управления в пакете MATLAB: учебное пособие/Г. Б. Смирнов, В. Г. Томашевич. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 76 с.
12. Шамшина И.Г. Основы автоматического управления машиностроительными объектами и системами. Учебное пособие для вузов. — Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. — 128 с.

ISSN 3030-3907

13. Яковлева Д.А. Теория автоматического управления: учебное пособие. / Д.А. Яковлева, Е.Б. Биктеева — М.: ИД Академии Жуковского, 2018. — 80 с.
14. https://ppt-online.org/189517
15. https://lektsia.com/3x358a.html
16. https://infopedia.su/15x1e45.html
17. https://project2425235.tilda.ws/glava8
18. https://studfile.net/preview/3795793/page:3/
19. https://www.kipiavp.ru/info/zakoni-regulirovaniya.html
20. https://termo-k.by/sistemy-avtomaticheskogo-regulirovaniya-teoriya/

ISSN 3030-3907