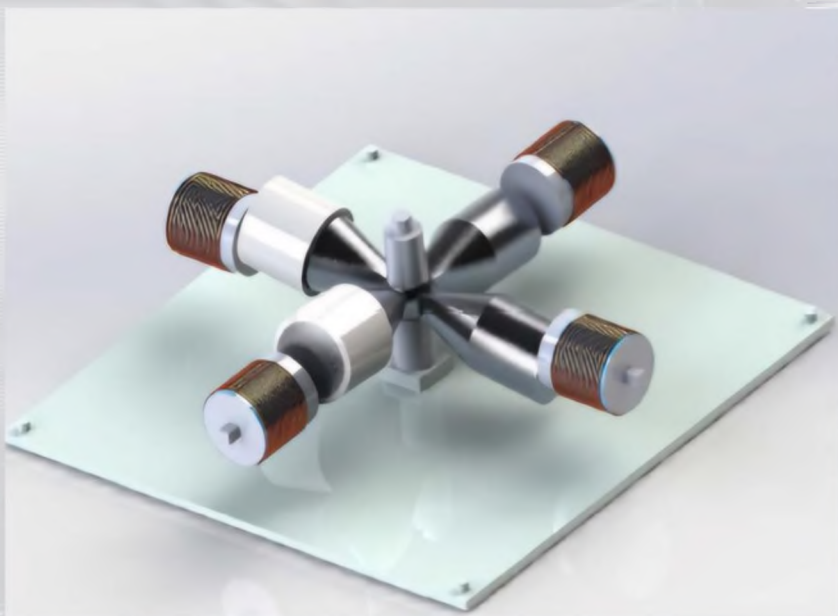


**Amirov Sulton Fayzullayevich
Shoimqulov Asror Abduabiyevich**

**BOSHQARUV VA DIAGNOSTIKA TIZIMLARI
UCHUN VIBRATSIYALARNI O'LCHOVCHI
INDUKSION O'ZGARTIRGICHLAR**

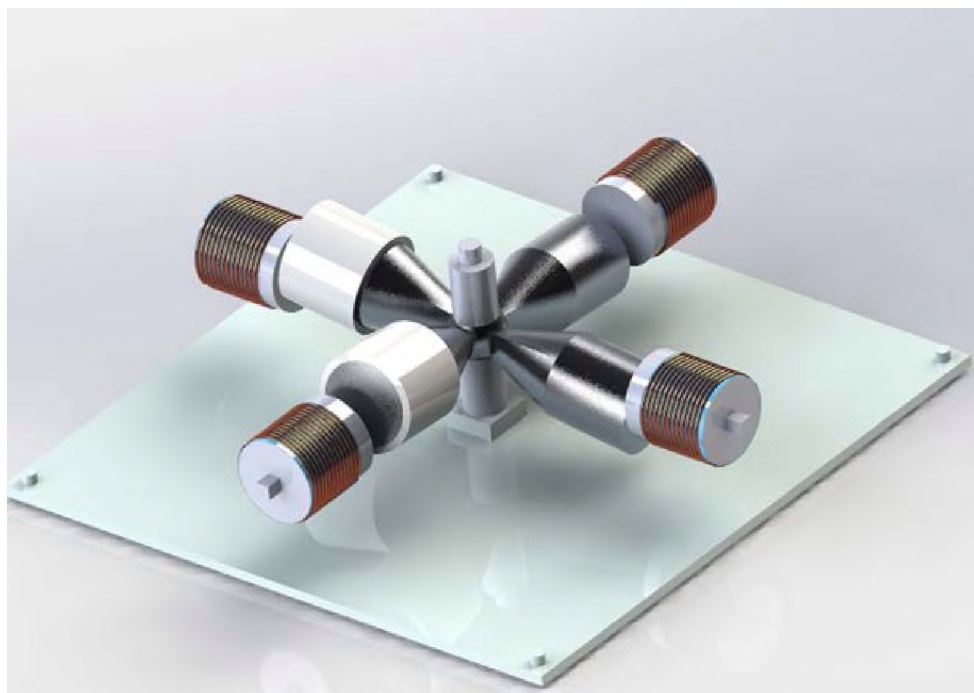


MONOGRAFIYA

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI TRANSPORT VAZIRLIGI
O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
TERMIZ DAVLAT MUHANDISLIK VA AGROTEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI

Amirov Sulton Fayzullayevich
Shoimqulov Asror Abduabiyevich

BOSHQARUV VA DIAGNOSTIKA TIZIMLARI UCHUN
VIBRATSIYALARNI O‘LCHOVCHI INDUKSION
O‘ZGARTIRGICHLAR



Toshkent – 2024

UDK 621.314:658.562

BBK 31.261.63 A 59

S.F. Amirov, A.A. Shoimqulov. Boshqaruv va diagnostika tizimlari uchun vibratsiyalarni o'lchovchi induksion o'zgartirgichlar. Monografiya -Toshkent, TDTu, 2024.-124 bet.

Monografiyada turli yo'nalishlarda chiziqli va burama tebranishlarni yuqori sezgirlik va aniqlik bilan keng chastota diapazonida o'lchay oladigan hamda chiziqli o'zgartirish tavsiflariga ega bo'lgan o'zgartirgichlarni ishlab chiqish, shuningdek temir yo'l transporti obyektlari ish rejimlarini boshqarish va diagnostikalash tizimlari uchun mo'ljallangan induksion vibratsiya o'zgartirgichlarini ishlab chiqish, ularni hisoblash usullarini takomillashtirishning nazariy va tajribaviy masalalari ko'rib chiqilgan.

Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarish obyektlarini boshqaruv va diagnostika tizimlari vibratsiya parametrlarini o'chovchi yangi, turli yo'nalishlarda vibratsiya tebranishlarini yuqori sezgirlikda o'lchay oladigan hamda chastota diapazoni keng va chiziqli o'zgartirish tavsiflariga ega bo'lgan induksion o'zgartirgichlar konstruksiyalari va matematik modellari ishlab chiqilgan.

Vibratsiya parametrlarini o'lchovchi yangi induksion o'zgartirgichlarning hisoblash uslubi magnit zanjirlari parametrlarining xususiyatlarini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan va tuzilgan parametrik struktura sxema orqali induksion vibratsiya o'zgartirgichlari dinamik xarakteristikalarini tadqiq etishni soddalashtirishi hamda ularni loyihalash vaqtini qisqartirilishi ta'minlangan.

Monografiya boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari yo'nalishlarida faoliyat olib borayotgan injener-texnolog va ilmiy xodimlar, tadqiqotchilar, shuningdek magistrantlar, texnika yo'nalishidagi talabalar, o'lchov vositalarini ishlab chiqaruvchi zavodlar mutaxassislari uchun mo'ljallangan.

Toshkent davlat transport universiteti Kengashining 05.12.2024 y. dagi 4-sonli qarori bilan tavsiya etilgan.

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti Kengashining 03.12.2024 y. dagi 5/4-3 -sonli qarori bilan tavsiya etilgan.

Taqrizchilar: t.f.d., professor

A.A. Xalikov

t.f.n. dotsent

B.X. Xushboqov

Toshkent davlat transport universiteti, 2024 y.

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, 2024 y.

ISBN-978-9943-6049-1-9

© S.F. Amirov

© A.A. Shoimqulov

© «MOHIRBEK-ZIYO» nashriyoti

MUNDARIJA

KIRISH.....	4
I- BOB. VIBRATSIYA O‘ZGARTIRGICHLARI HOLATI VA ULARNI ASOSIY XUSUSIYATLARINING QIYOSIY TAHLILI.....	11
1.1. Vibratsiyalarni o‘lchash sharoitlarining tahlili va ularni o‘lchovchi o‘zgartirgichlarga qo‘yiladigan talablar.....	11
1.2. Vibratsiyalarni o‘lchovchi o‘zgartirgichlar tasniflari.....	14
1.3. Vibratsiyalarni o‘lchovchi parametrik o‘zgartirgichlar.....	16
1.4. Vibratsiyalarni o‘lchovchi generator o‘zgartirgichlar.....	25
Birinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	31
II- BOB. INDUKSION VIBRATSIYA O‘ZGARTIRGICHLARI- NING YANGI KONSTRUKSIYALARI VA MATEMATIK MODELLARI.....	33
2.1. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarning yangi konstruksiyalari.....	33
2.2. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlaridagi asosiy munosabatlar.....	43
2.3. Yangi induksion vibratsiya o‘zgartirgichlardagi asosiy munosabatlar.....	48
2.4. Yaratilgan induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining matematik modellari.....	57
Ikkinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	64
III- BOB. INDUKSION VIBRATSIYA O‘ZGARTIRGICHLARI- NING STATIK VA DINAMIK XARAKTERISTIKA- LARI.....	66
3.1. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarning statik xarakteristikalarini.....	66
3.2. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarning dinamik xarakteristikalarini.....	68
3.3. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarning dinamik xarakteristikalarini korreksiyalash.....	79
Uchinchi bob bo‘yicha xulosalar.....	86
IV- BOB. INDUKSION VIBRATSIYA O‘ZGARTIRGICHLARI- NING XATOLIGI VA ISHONCHLILIGI.....	88
4.1. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining xatolik manbalari.....	88
4.2. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining asosiy xatoliklari.....	90
4.3. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining qo‘shimcha xatoliklari.....	97

4.4.	Induksion vibratsiya o'zgartirgichlari korreksiyalovchi sxemalarining xatoligi.....	106
4.5	Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining ishonchliligi.....	112
4.6	Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining asosiy texnik ko'rsatkichlari.....	116
	To'rtinchi bob bo'yicha xulosalar.....	118
	UMUMIY XULOSA.....	120
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	121

KIRISH

Hozirgi kunda temir yo‘l harakat tarkibini xavfsiz, uzluksiz ishlashini va ularning samaradorligini oshirish imkoniyatini ta‘minlovchi texnik vosita va ilg‘or texnologiyalarni ishlab chiqish yetakchi o‘rinni egallamoqda. Ushbu yo‘nalishda texnologik jarayonlar ishlab chiqarish obyektlarida paydo bo‘ladigan vibratsiya parametrlarini nazorat qiluvchi qurilmalarni takomillashtirish muhim vazifalardan hisoblanmoqda. Bu borada lokomotivlardagi turli generatorlar va motorlar ish rejimlarini boshqarish va diagnostikalash tizimlari uchun vibratsiya parametrlarini turli yo‘nalishlarda va yuqori aniqlikda o‘lchovchi o‘zgartirgichlarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Jahonda ishlab chiqarish obyektlar ish rejimlari boshqariladigan va diagnostikalanadigan obyektlarning vibratsiya parametrlarini nazorat qilishda keng foydalaniladigan o‘lchash o‘zgartirgichlarini takomillashtirishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari keng miqyosda olib borilmoqda. Bu borada, turli yo‘nalishdagi chiziqli va burama tebranishlarni yuqori sezgirlik va aniqlik bilan keng chastota diapazonida o‘lchay oladigan hamda chiziqli statik o‘zgartirish tavsiflariga ega bo‘lgan vibratsiyalarni o‘lchovchi o‘zgartirgichlarni yaratish zarurati monografiya mavzusining dolzarbligini izohlaydi.

Mamlakatimizda vibratsiya parametrlarini o‘lchovchi induksion o‘zgartirgichlarni takomillashtirish bo‘yicha ilmiy muammolarni hal qilishga mahalliy olimlardan M.F. Zaripov, R.K. Azimov, I.X. Siddiqov, S.F. Amirov va boshqalar katta hissa qo‘shishgan. Bu olimlarning sa‘y-harakatlari bilan vibratsiya o‘zgartirgichlarini loyihalash va hisoblashning nazariy asoslari ishlab chiqilgan va rivojlantirilgan, mazkur o‘zgartirgichlarning original konstruksiyalari va sxematik yechimlari taklif qilingan va ishlab chiqarishga joriy qilingan.

Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarish obyektlarini boshqaruv va diagnostika tizimlari uchun vibratsiya parametrlarini o‘lchovchi induksion o‘zgartirgichlarni ishlab chiqish bo‘yicha dolzarb masalalarni yechishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar jahonning yetakchi ilmiy markazlarida va oliy ta‘lim

muassasalarida, jumladan Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica va University of Campania “Luigi Vanvitelli” (Italiya), Worcester Polytechnic Institute, Wright State University, University of Michigan va University of California (AQSH), Seoul National University (Janubiy Koreya), University Malaysia Perlis (Malayziya), Forschungslaboratorien der Siemens AG (Germaniya), Universidade Federal de Campina Grande (Braziliya), University of Manitoba (Kanada), Elektrodinamika instituti va Kiyev avtomatika instituti (Ukraina), Samara davlat texnika universiteti, Penza davlat universiteti, Ulyanovsk davlat texnika universiteti va Ufa davlat aviatsiya texnika universiteti (Rossiya), Toshkent davlat texnika universiteti, “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti va Toshkent davlat transport universiteti (O‘zbekiston)da olib borilmoqda.

Biroq, shu bilan birga, turli yo‘nalishdagi chiziqli va burama tebranishlarni yuqori sezgirlik va aniqlik bilan keng chastota diapazonida o‘lchay oladigan hamda chiziqli o‘zgartirish tavsiflariga ega bo‘lgan vibratsiyalarni o‘lchovchi o‘zgartirgichlarni ishlab chiqish, shuningdek ishlab chiqarish obyektlari ish rejimlarini boshqarish va diagnostikalash tizimlari uchun mo‘ljallangan induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarini ishlab chiqish, ularni hisoblash usullarini takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlar yetarli darajada olib borilmagan.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 22 yanvardagi PF-60-son «2022 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi Farmoni, 2017 yil 23 avgustdagi PQ-3238-son «Zamonaviy energiya samarador va energiya tejaydigan texnologiyalarni yanada joriy etish chora-tadbirlari to‘g‘risida», 2017 yil 13 noyabrdagi PQ-3384-son «Elektr energiyasi va tabiiy gaz nazorati va hisobining avtomatlashtirilgan tizimini jadal joriy etish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, jumladan turli yo‘nalishdagi chiziqli va burama tebranishlarni yuqori sezgirlik va aniqlik bilan keng chastota diapazonida o‘lchay oladigan hamda chiziqli

o'zgartirish tavsiflariga ega bo'lgan vibratsiyalarni o'lchovchi yangi o'zgartirgichlarni va ularning matematik modellarini ishlab chiqish, chiziqli va nochiziqli magnit zanjirlarini hisoblash usullarini ishlab chiqish vazifalarini amalga oshirishga ushbu monografiya ma'lum darajada xizmat qiladi.

I- BOB. VIBRATSIYA O‘ZGARTIRGICHLARI HOLATI VA ULAR ASOSIY XUSUSIYATLARINING QIYOSIY TAHLILI

§1.1. Vibratsiyalarni o‘lchash sharoitlarining tahlili va ularni o‘lchovchi o‘zgartirgichlarga qo‘yiladigan talablar

Boshqarilayotgan yoki diagnostika qilinayotgan obyektning ish rejimlari va uni ekspluatatsiya qilish shartlari undagi tebranish parametrlarini o‘lchash uchun bevosita obyektida o‘rnatilgan vibratsiya o‘zgartirgichi(VO‘)ga ko‘rsatadigan ta’sirlarni belgilaydi[19;22;32-36; 80]. VO‘ ish rejimlariga uni o‘rab turgan muhitning ta’siri klimatik, mexanik va boshqa tashqi omillar – elektr, magnit va akustik maydonlar, radiatsiya, ionizatsiya va boshqa omillar ta’siri ko‘rinishida baholanadi[74;91].

VO‘ ga qo‘yilgan vazifa va uni ishlatish sharoitlaridan kelib chiqqan holda uning o‘lchash diapazoniga aniqlik kiritiladi. VO‘ lar yangi konstruksiyalarini ishlab chiqishda yuqorida qayd etilgan omillar har birining ta’sirini baholash va uni o‘lchash natijalariga salbiy ta’sirini kamaytirish yo‘llarini belgilab olish kerak bo‘ladi.

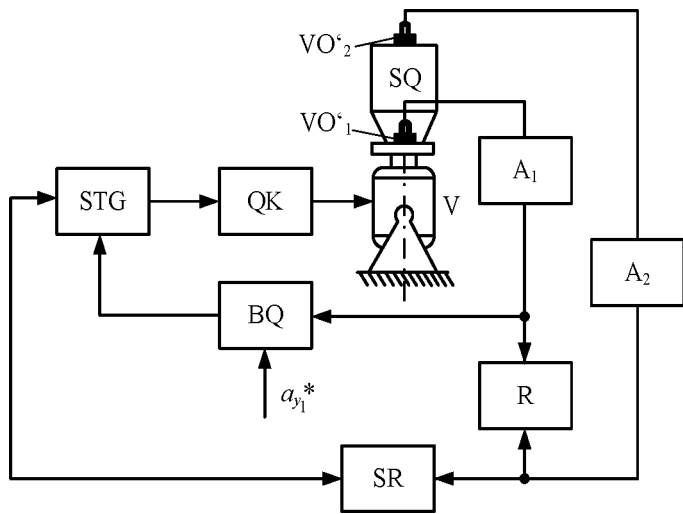
VO‘ larga qo‘yiladigan talablar orasida boshqarilayotgan obyekt vibratsiyasining amplitudasi va chastota diapazoni muhim o‘rin egallaydi[66, 8-20 b.68, 43-45 b.;92-99]. Aytib o‘tish lozimki, ko‘pchilik boshqarilayotgan va diagnostikalanayotgan obyektlar uchun past chastotali vibratsiyalar xarakterli hisoblanadi. Masalan, avtomobillarda vibratsiya tezlanishlarining kattaligi bir necha $g=9,8 \text{ m/s}^2$ gacha bo‘lganda vibratsiya chastotalari 1 dan bir necha o‘n gers (Hz) gacha qiymatlarda o‘zgaradi[45, 334-335 b.], temir yo‘l vagonlari vibratsiyasi chastotasining o‘zgarish diapazoni 2-8 Hz ni tashkil etadi [45, 334-335 b.73, 23-29 b.]. Katta kemalarda vibratsiya chastotalarining o‘zgarish diapazoni 1,5-20 Hz ni, kichik kemalarda esa bu ko‘rsatkich bir necha o‘n Hz gachani tashkil etadi[45, 335 b.]. Samolyotlar qanotlari va fyuzelyaj qayrilishlari oqibatida yuzaga keladigan elastik tebranishlar chastotasi og‘ir samolyotlarda bir necha gersgacha, yengil samolyotlarda – bir necha o‘n gersgacha oraliqda o‘zgaradi, vibratsiya

tezlanishlarining amplituda qiymatlari esa bir necha g gacha yetishi mumkin[45, 335 b.;101].

Raketa – kosmik kemalar konstruksiyalarida tebranishlar chastotasi bir necha oʻn gersgacha, rezonans chastotasi esa 10-100 gers oraliqda boʻladi[45, 324 b.].

Yuqorida keltirilgan maʼlumotlar tahlili shuni koʻrsatadiki, ish rejimlari nazorat qilinadigan va boshqariladigan koʻpchilik obyektlardagi vibratsiya chastotalari noldan bir necha oʻn (taxminan 60) gersgacha boʻlgan oraliqda, vibratsiya tezlanishlarining amplituda qiymatlari esa nisbatan kichik boʻlib, g ning ulushidan bir necha g gacha boʻlgan diapazonda oʻzgaradi.

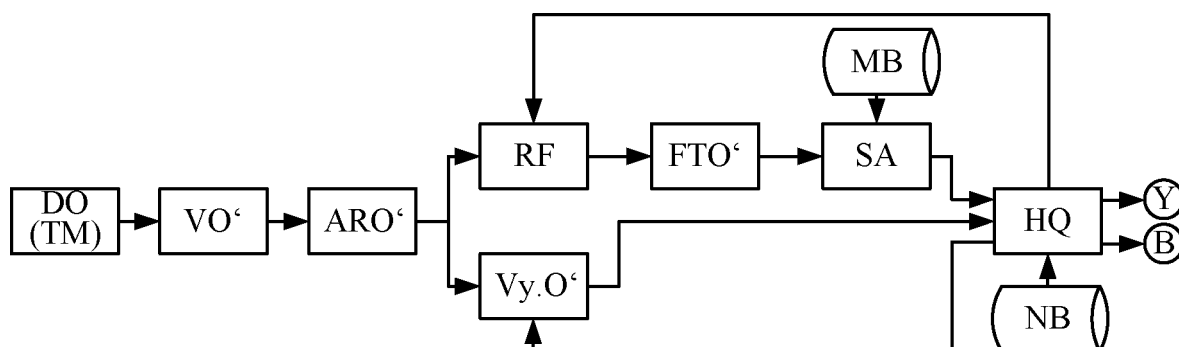
1.1- rasmda vibrosinov boshqaruv tizimining funksional sxemasi keltirilgan [2, 11-12 b.]. Bu tizim vibrosinov mobaynida oʻlchanayotgan vibratsiya parametri



1.1- rasm. Vibrosinov boshqaruv tizimining funksional sxemasi:
 STG – sinusoidal tebranishlar generatori; QK – quvvat kuchaytirgich; VO'1, VO'2, – vibratsiya oʻzgartirgichlari; SQ - sinalayotgan qurilma; V – vibrator; A1, A2 – amplituda analizatorlari; BQ – boshqaruvchi qurilma; R – registrator; SR – skanirlovchi regulyator

$a_{y_1}^*$ ni uning berilgan (oʻrnatilgan) qiymati sinusoidal tebranishlar generatori STG ishlab chiqarayotgan signal amplitudasiga taʼsir koʻrsatish orqali ushlab turish uchun moʻljallangan boʻlib, unda sinalayotgan qurilma (tortuvchi motor, generator, uning ayrim qismlari va h.z.) amplituda-chastotaviy xarakteristika(ACHX)si qiymatlariga qarab skanirlovchi regulyator SR STG skanirlash tezligini boshqaradi. Bu boshqaruv tizimida VO' larining oʻzgartirish funksiyasi chiziqliligiga, sezgiriligiga, aniqligiga, tezkorligiga, chastota diapazoniga va oʻlchash natijalarining koʻzda tutilmagan vibratsiyalarga barqarorligiga yuqori talablar qoʻyiladi.

1.2- rasmda diagnostikalanuvchi obyekt vibrodiagnostika tizimining funksional sxemasi keltirilgan bo'lib [59;81], motorda o'rnatilgan VO' ham yuqorida keltirilgan asosiy talablar qo'yiladi.



1.2- rasm. Tortuvchi motor vibrodiagnostika tizimining funksional sxemasi:
 DO – diagnostikalanuvchi obyekt; VO' – Vibratsiya o'zgartirgichi; ARO' – analog raqamli o'zgartirgich; RF – raqamli filtr; Vy.O' – veyvlent o'zgartirgichi; FTO' – Furiye tezkor o'zgartirgichi; MB – ma'lumotlar bazasi; SA – spektr analizatori; HQ – hisoblash qurilmasi; NB – nosozliklar bazasi; Y – yaroqli; B – brak.

Boshqariladigan va diagnostikalanadigan obyektlar, xususan, temir yo'l transporti tizimi obyektlaridagi vibratsiyalarni o'lchash sharoitlaridan kelib chiqqan holda, ularda o'rnatilgan VO' larga qo'yiladigan asosiy talablarni quyidagicha shakllantirish mumkin[12;13;19, 211-214 b.;22;25, 324-326 b.;26, 13-16 b.;33-36;45, 334-335 b.;47, 97-101 b.;66, 37-38 b.;88-90;100]:

-o'lchanayotgan vibratsiya parametrini elektr signalga o'zgartirish funksiyasining chiziqliligi; -turli xil yo'nalishdagi vibratsiyalarni o'lchay olish imkoniyatining mavjudligi; -o'lchash xatoligining kichikligi; -o'lchash sezgirligining yuqoriligi; -o'lchash natijalarining ko'zda tutilmagan vibratsiyalarga barqarorligi; -o'lchash qurilmasining vibratsiya ta'sirlariga mustahkamligi; -dinamik xarakteristikalarining mu'tadilligi.

Yuqorida qayd etilgan asosiy talablardan tashqari, VO' larga quyidagi qo'shimcha talablar ham qo'yiladi:

- o'lchash natijalarining klimatik omillar, birinchi navbatda atrof-muhit harorati o'zgarishiga bog'liqsizligi;
- tashqi elektr va magnit maydonlari ta'siridan himoyalanganligi;
- gabarit o'lchamlari va massasining kichikligi; -ishlatilishining soddaligi;

- o'lchash signali shaklining uzatish, o'zgartirish va qayta ishlash uchun qulayligi.

§1.2. Vibratsiyalarni o'lchovchi o'zgartirgichlar tasniflari

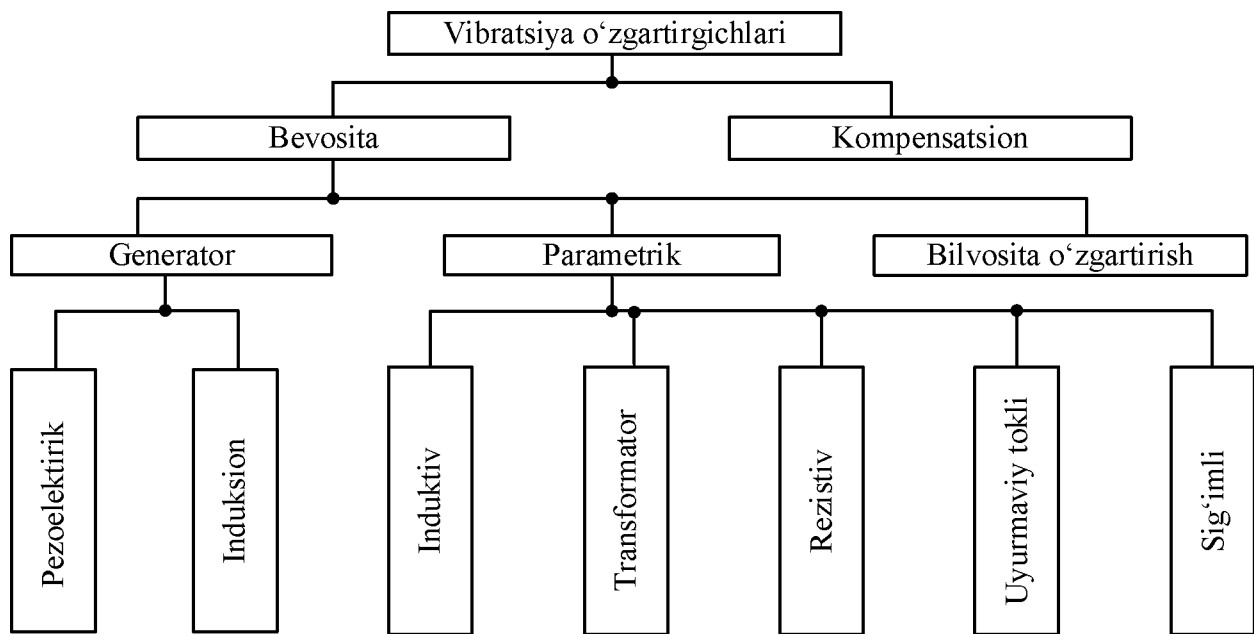
Vibratsiya parametrlarini o'lchashda ikkita o'lchash tamoyili(prinsipi)dan foydalaniladi [45, 330-333 b.; 66, 38 b.;82, 33-34 b.]: 1) kinematik – vibratsiya ostida bo'lgan obyekt koordinatalarini qo'zg'almas koordinatalar sistemasiga nisbatan o'lchash; 2) dinamik – obyekt vibratsiya parametrlari sun'iy ravishda hosil qilingan qo'zg'almas koordinatalar sistemasiga, odatda, vibratsiya ostida bo'lgan obyekt bilan elastik osma orqali bog'langan inersion element(IE)ga nisbatan o'lchanadi. Kinematik prinsipda ishlaydigan VO' lar nisbiy, dinamik prinsipda ishlaydigan VO' lar esa absolyut vibratsiyalarni o'lchovchi VO' lar deb ataladi [66, 38 b.].

Mexanik tebranishlarni o'zgartirish prinsipiga ko'ra VO' lar generator, parametrik va mexanik tebranishlarni o'zga (issiqlik, akustik, optik va boshqa) fizik tabiatli zanjirdagi tebranishlarga aylantirish orqali elektr tebranishlarga o'zgartiruvchi turlarga bo'linadi [66, 37-39 b.].

Generator VO' larda mexanik tebranish energiyasi bevosita elektr energiyasiga o'zgartiriladi. Bu tur VO' larga pezoelektrik va induksion VO' lar kiradi [79, 445-449 b.]. Parametrik VO' larda o'lchanayotgan vibratsiya kattaligining o'zgarishi elektr zanjirining qarshilik, induktivlik, o'zaro induktivlik va sig'im kabi passiv elementlari parametrlari qiymatlarining o'zgarishiga olib keladi [1, 89-92 b.; 66, 77-107 b.].

Vibrometriyaga oid texnik adabiyotlarda VO' larining vazifasiga, qo'llanish xarakteriga, o'lchash prinsipiga, o'zgartirgichni u o'rnatiladigan obyekt bilan bog'liqligiga, o'lchash natijalarini olish usuliga, o'lchanayotgan vibratsiya parametri va komponentining turiga, aniqlik sinfiga, mexanik tebranishlarni boshqa tur tebranishlarga o'zgartirish prinsipiga va foydalanilayotgan fizik hodisaga ko'ra tasniflari keltirilgan bo'lib [4, 43-44 b.; 45, 336-341 b.; 66, 38-39 b.], biz bu yerda

ushbu tasniflar tahliliga batafsil to‘xtalmasdan bir nechta eng muhim belgilariga ko‘ra tuzilgan tasnifiga e‘tiborni qaratamiz (1.3- rasm).



1.3- rasm. VO‘ larning o‘zgartirish usuli va prinsipiga ko‘ra tasnifi

O‘zgartirish usuliga ko‘ra VO‘ lar bevosita (to‘g‘ridan to‘g‘ri) va kompensatsion turlarga bo‘linadi. Hozirgi kunga kelib ko‘pchilik qo‘llanilayotgan VO‘ lar bevosita o‘zgartirishga asoslangan. Kompensatsion VO‘ larning qo‘llanishi faqat inersion navigatsiya sohasi bilan cheklangan [3, 485-532]. Aytib o‘tish joizki, so‘nggi yillarda VO‘ lar metrologik xarakteristikalariga bo‘lgan talablarning ortishi bilan kompensatsion usulga asoslangan VO‘ larga bo‘lgan talab ham ortmoqda, chunki, teskari aloqa hisobidan muvozanatlanuvchi o‘lchash asboblari aniqlik nisbatan yuqori bo‘ladi [28, 76-78 b.].

Vibratsiyalarni o‘lchovchi generator va parametrik o‘lchash o‘zgartirgichlari asosiy xarakteristikalarining qiyosiy tahlili 1.1- jadvalda keltirilgan bo‘lib, ular amaliyotda keng qo‘llanilayotganligini inobatga olib, kelgusi paragraflarda ularning imkoniyatlari bilan batafsilroq tanishamiz.

§1.3. Vibratsiyalarni o‘lchovchi parametrik o‘zgartirgichlar

Parametrik VO‘ (ParVO‘) larda nazorat qilinayotgan obyekt mexanik tebranishi o‘zgarmas yoki o‘zgaruvchan tok manbai elektr energiyasini modulyatsiyalaydi [42, 12-23 b.].

Ishlash prinsipi nuqtayi nazaridan, ParVO‘ lar IVO‘ larga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega [43, 253-279 b.]:

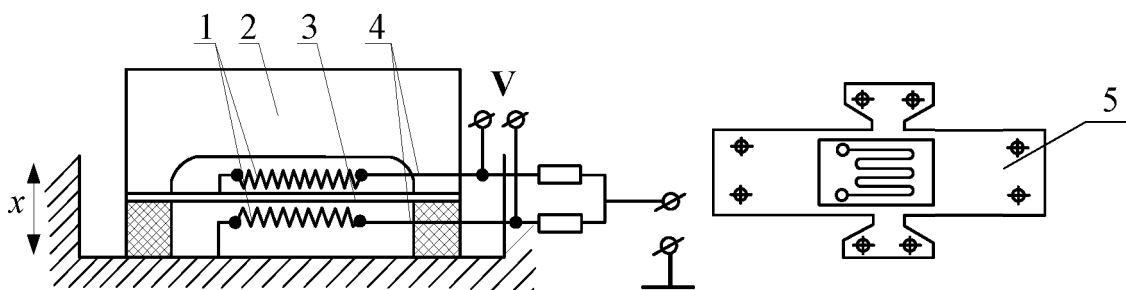
-o‘lchanayotgan kattalik chastota diapazonining quyi chegarasi cheklanmagan; -ma’lum chastotali chiqish signalini kuchaytirish va o‘zgartirish nisbatan oson amalga oshiriladi; -chiqish signalining kattaligi boshqaruv tizimlarida foydalanish uchun yetarli darajada qiymatlarda bo‘ladi; -statik rejimda tarirovkalash imkoniyati mavjud.

Quyida ParVO‘ larning asosiy turlarini ko‘rib chiqamiz.

1. Rezistiv ParVO‘ larning ishlash prinsipi inersion element harakatlanganda paydo bo‘ladigan kuchni VO‘ elektr zanjiri aktiv qarshiligiga o‘zgartirishga asoslangan bo‘lib, u potensimetrik, tenzometrik, yarim o‘tkazgichli tenzorezistorli, yarim o‘tkazgichli, ko‘mirli, elektrolitik, elektron va ionli rusumlarga bo‘linadi [45, 548-556 b.].

1.1. Potensimetrik VO‘ lar vibratsiya parametrlarini elektr kattalikka simli reostat qarshiligini uning aktiv uchastkasi uzunligini inersion element bilan mexanik bog‘langan sirpanuvchi kontakt siljishi orqali o‘zgartirishga asoslangan [66, 83-100 b.]. Amplituda qiymatlari juda katta past chastotali tebranishlarni o‘lchay olishi va chiqish signali qiymatlarining yetarli darajada kattaligi potensimetrik VO‘ larning afzalliklari, chastota diapazonining juda torligi ($10 \div 15$ Hz gacha), gabarit o‘lchamlari va massasining nisbatan kattaligi, statik tavsifining noxizizqligi hamda sirpanuvchi kontakt mavjudligi hisobidan ishlash ishonchliligining pastligi ularni amalda keng qo‘llanilishiga to‘sqinlik qiluvchi kamchiliklari hisoblanadi.

1.2 Tenzometrik VO‘ (TVO‘) larining ishlash prinsipi inersion element harakatlanganda paydo bo‘ladigan kuch ta’sirida metal o‘tkazgich elektr qarshiligini o‘zgarishiga asoslangan bo‘lib, ularning eng ko‘p tarqalgan turi yelimlanuvchi tenzoo‘zgartirgichlardir [66, 97-100 b.]. 1.2- rasmda RF da ishlab chiqarilgan EVA rusumli tezlanish va vibratsiya amplitudasini o‘lchovchi o‘zgartirgichning konstruktiv sxemasi keltirilgan[50]. Bu TVO‘ da tenzoelementlar yupqa prujinaning ikkala tomoniga



1.4- rasm. Simli tenzometrik VO‘ konstruktiv sxemasi: 1 – tenzoelementlar; 2 – inersion element; 3 - sterjen; 4 – amortizatorlar; 5 – yupqa prujina

yelimlangan bo‘lib, amortizatorlarda o‘rnatilgan va inersion element bilan bog‘langan. Ushbu TVO‘ o‘rnatilgan obyektida vibratsiya yuzaga kelganda undagi mexanik tizim inersion element harakati ta’sirida deformatsiyaga uchraydi. Bu o‘lchash qurilmasi yordamida chastota diapazoni $3 \div 160$ Hz va tezlanish diapazoni $3 \div 160$ g bo‘lgan tebranish parametrlarini qayd etishda qo‘llaniladi.

Chet el firmalari tomonidan ishlab chiqarilayotgan va texnik adabiyotlar keltirilgan TVO‘ lar xossalarining tahlili shuni ko‘rsatadiki [2, 518-526 b.; 27; 45, 551 b.; 50-53], TVO‘ lar tuzilishi juda sodda, konstruksiyasi ixcham va narxi arzon bo‘lib, boshqa tur TVO‘ larni deyarli qo‘llanilmasligiga olib keldi.

1.3. Yarim o‘tkazgichli TVO‘ lar yarim o‘tkazgichlardagi tenzoeffektga asoslangan bo‘lib, ularda demormatsiya natijasida yarim o‘tkazgichli tenzoelementning elektr qarshiligi o‘zgaradi. Tenzoelementlar asosan kremniy va germaniydan yasaladi. Yarim o‘tkazgichli TVO‘ lardagi tenzoelementlar xarakteristikalarining haroratga bog‘liqligi va o‘zgartirish funksiyasining nochiziqligi ularni keng qo‘llanish imkoniyatlarini cheklaydi.

2. Elektron va ion VO‘ lar ishlash prinsipi elektron va ion lampalar xarakteristikalarini ular elektrodleri orasidagi masofaga bog‘liq ravishda o‘zgarishiga asoslangan bo‘lib, dinamik xossalarining va vibratsiyaga mustahkamligining yaxshi emasligi sababli hozirgi kunda qo‘llanilmaydi [66, 43-44 b.].

Amaliyotda qoʻllanilayotgan vibratsiyalarni oʻlchovchi generator va parametrik oʻlchash oʻzgartirgichlari asosiy xarakteristikalarining qiyosiy tahlili

VOʻ		Diapazoni		Xatoligi, $\pm\%$ gacha	Massa- si, kg	Afzalliklari	Kamchiliklari
		chastota, Hz	amplituda, mm				
1		2	3	4	5	6	7
Generator	Pezoelektrik	0÷4800	–	±5	0,126	Konstruksiyasining soddaligi; ogʻirlik-gabarit oʻlchamlarining kichikligi; ishonchliligining yuqoriligi; juda tez oʻzgaradigan jarayonlar parametrlarini oʻlchash imkoniyatining mavjudligi.	Graduirovkasining qiyinligi; pezoelement va uning elektr zanjirini namlikdan saqlash uchun puxta izolyatsiyalashni talab etishi; pezomodulning kuch va bosimga bogʻliqligi sababli gischterezis va nochiziqlikning mavjudligi.
		0,7÷10000	–	±5	0,05		
		10÷30000	–	±5	0,00018		
	Induksion	10÷150	0,03÷0,1	±5	1	Chiqish quvvatining kattaligi; konstruksiyasining soddaligi; sezgirligining va ishonchliligining yuqoriligi; foydalanish muddati-ning amalda cheklanmaganligi.	ogʻirlik-gabarit oʻlchamlarining kattaligi; detallarini ekranlashga talabning yuqoriligi; yuqori chastotali manbaga ehtiyoj borligi; koʻrsatishiga atrof-muhit harorati va namligiga bogʻliqligi.
		10÷100	0,25	±15	0,55		
		20÷150	0,025÷0,08	±10	–		
Parametrik	Rezistiv	0÷15	–	1,5	–	Konstruksiyasining soddaligi; ogʻirlik-gabarit oʻlchamlarining kichikligi.	Ogʻir ekspluatatsiya sharoitida ishlay olmasligi; ishonchliligining pastligi; koʻrsatishining harorat oʻzgarishiga bogʻliqligi; oʻlchanayotgan kattalik yoʻnalishiga perpendikulyar yoʻnalishdagi demormatsiyalarga sezirligi nisbatan kattaligi.
		0÷50	–	±5	–		
		3÷160	0,05÷5	±5 (3 Hz da)	–		

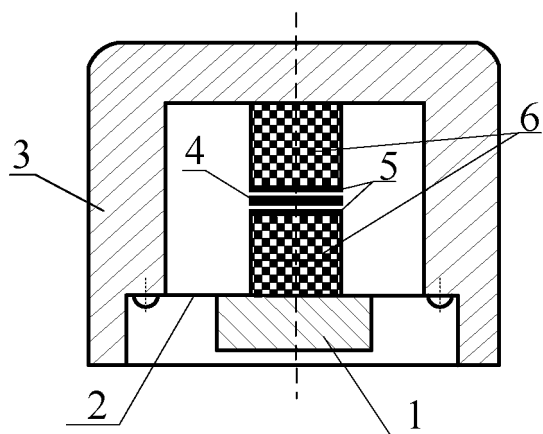
1		2	3	4	5	6	7
Parametrik	Sig' im	50÷2000	0,002÷0,5	±5	–	Konstruksiyasining soddaligi; og'irlik-gabarit o'lchamlarining kichikligi; sezgirligining yuqoriligi; foydalanish muddatining uzoqligi; energiya iste'moli-ning kamligi.	Chiqish quvvatining kichikligi; detallarini ekranlashga talabning yuqoriligi; yuqori chastotali manbaga ehtiyoj borligi; ko'rsatishiga atrof-muhit harorati va namligiga bog'liqligi.
		0÷1000	0,0001÷1	–	–		
	Induktiv	10÷1000	±1	±2	0,9	Ekstremal sharoitlarda ham ishonchliligi-ning yuqoriligi; konstruksiyasining soddaligi; chiqish quvvatining kattaligi; o'ta yuklanishga chidamliligi; amalda yaroqlilik muddatining cheklanmaganligi.	Neytral holatda nol qiymatni hosil qilishning qiyinligi; faqat o'zgaruvchan tokda ishlashi; ko'rsatishining manba kuchlanishi amplitudasi va chastotasiga bevosita bog'liqligi; qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas qismlari o'rtasida elektromagnit tortish kuchining mavjudligi.
		1÷2000	±2	–	0,3		
		6÷200	±2	±5	2,5		
	Transformator	0÷200	0±2,5	±3	7	Manba va o'lchash zanjirlari o'zaro galvanik bog'lanmaganligi; chiqishida manba kuchlanishiga nisbatan kattaroq kuchlanishni hosil qilish imkoniyatining mavjudligi; chiqish quvvatining kattaligi; o'ta yuklanishga chidamliligi; tuzilishining soddaligi; manba chastotasini oshirish bilan sezgirligini oshirish imkoniyatining mavjudligi.	Ko'rsatishiga magnitlanish egri chizig'i va haroratning ta'siri kuchliligi; chulg'amlari o'ralishidagi notekislikning o'zgartirish funksiyasiga salbiy ta'siri; nol signalni rostdash va kompensatsiyalash qiyinligi; faqat o'zgaruvchan tokda ishlashi; statik xarakteristikasi chiziqli qismining cheklangan.
		0÷200	–	±5	25		
		0÷100÷250	–	±5	50		

3. *Sig'im VO'* (SVO') larida tebranish parametrlarining paydo bo'lishi zanjirdagi kondensator sig'imining o'zgarishiga olib keladi [62, 156-161 b.]. Konstruktiv sxemasi 1.5- rasmda keltirilgan SVO' da korpusga u mahkamlangan obyekt vibratsiyasi natijasida inersion element 1 ham tebranadi va buning natijasida kondensator yupqa elektrodleri orasidagi masofa davriy o'zgarishi oqibatida kondensator sig'imi modulyatsiyalanadi. Agar SVO' mexanik tizimining xususiy chastotasi ω_0 o'lchanayotgan vibrotezlanish chastotasi ω_M dan juda katta qilib tanlansa, u holda so'nishni hisobga olmasdan kondensator yupqa elektrodleridagi kuchlanish o'zgarishini quyidagi ifoda orqali yozish mumkin:

$$\Delta U = U \frac{\Delta C}{C} = \frac{U}{\delta \omega_0^2} a, \quad (1.3)$$

bu yerda $C, [F]$; $\delta, [m]$; $U, [V]$ – mos ravishda kondensator sig'imi, uning elektrodleri orasidagi masofa va unga berilgan kuchlanish; a – o'lchanayotgan vibrotezlanish, $[m/s^2]$.

Kondensator elektrodleri orasidagi masofa o'lchanayotgan kattalik funksiyasi bo'lgan SVO' lardan tashqari, yupqa elektrodler aktiv yuzasi va elektrodler orasida gi muhit dielektrik singdiruvchanligi va o'lchanayotgan kattalik funksiyasi bo'lgan SVO' lar ham qo'llaniladi [49, 184-188 b.].

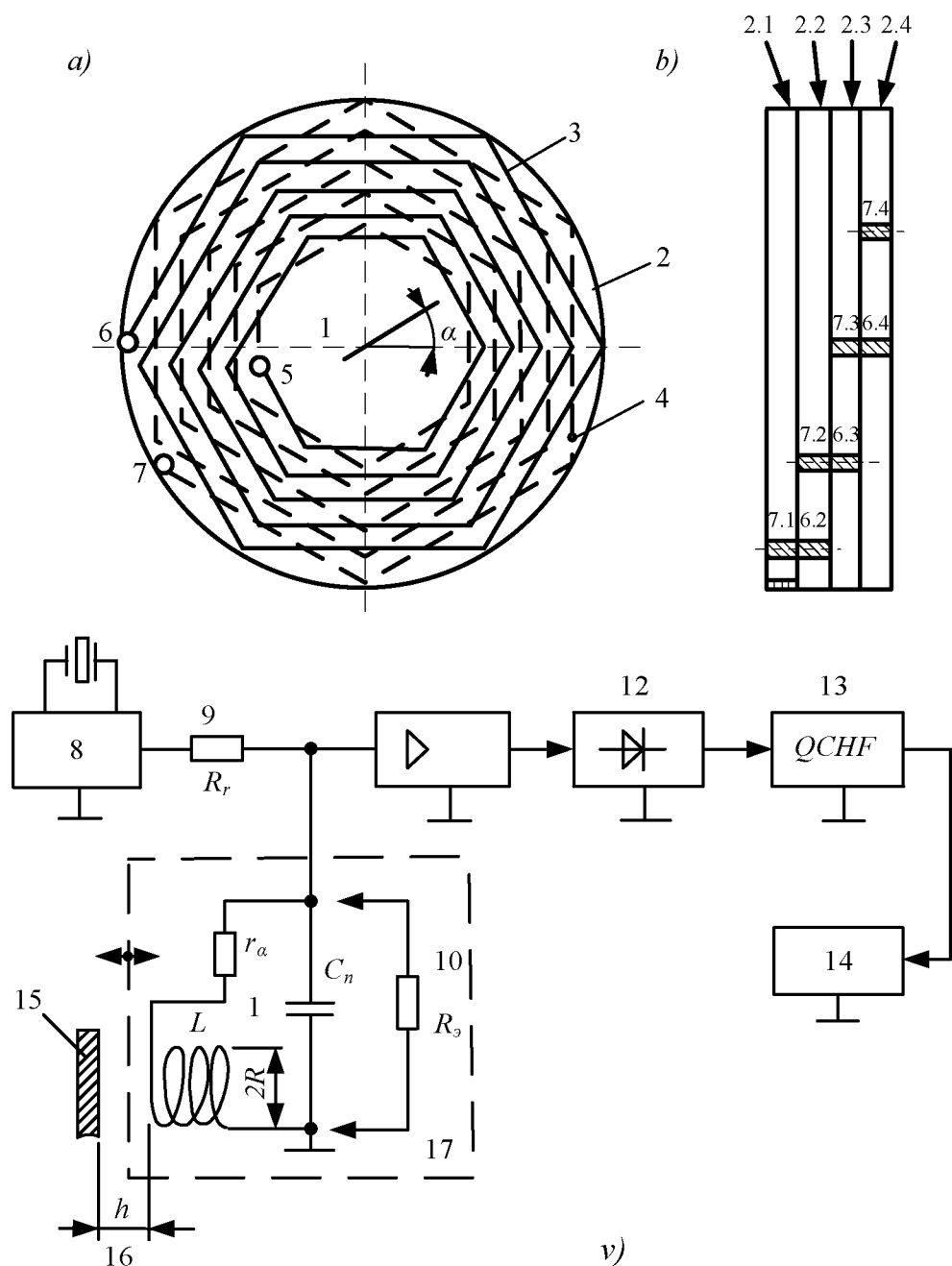


1.5- rasm. Sig'im VO' ning konstruk-tiv sxemasi: 1 – inersion element; 2 – qattiq membrana; 3 – korpus; 4 – dielektrik plastina; 5 – kondensator yupqa elektrodleri; 6 – izolyatsiyalovchi taglik.

Sezgirligining yuqoriligi, tashqi magnit maydoni ta'siriga sezuvchanligining pastligi, konstruksiyasining soddaligi, og'irlik-gabarit o'lchamlarining kichikligi va energiya iste'molining kamligi SVO' larning afzalliklari hisoblanadi. Ushbu VO' larning kamchiliklariga chiqish signaliga atrof-muhit harorati va namligi hamda

tashqi elektr maydoni ta'sirining sezilarli darajada kattaligi, ikkilamchi o'zgartirgich sxemalarining nisbatan murakkabligi kiradi.

4. Uyurmaviy tokli VO'larda vibratsion tebranishlar natijasida elektr o'tkazgich materialdan yasalgan elementda o'zini hosil qilgan magnit maydonini so'ndiruvchi magnit maydoniga ega bo'lgan uyurmaviy toklar paydo bo'ladi. 1.6- rasmda mavjud

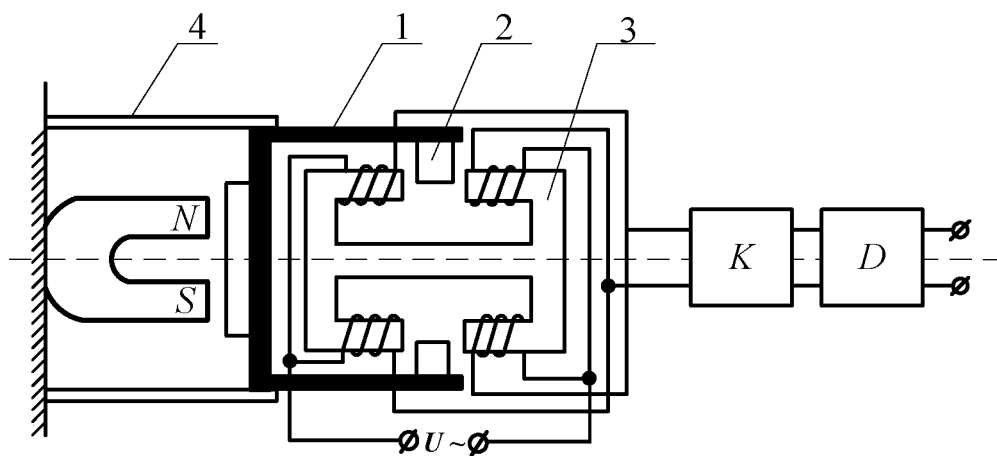


1.6- rasm. Uyurmaviy VO' konstruktiv (a, b) va funksional (v) sxemalari:

- 1 – vibrodatchik; 2 – dielektrik asoslar; 3,4 – spiralsimon ko'pburchakli konsentrik chulg'amlar; 5 – metall kontaktli teshik; 6,7 – kontaktlar; 8 – kvarsli generator; 9 – kuchlanish bo'lgich; 10 – vibrodatchik qarshiligi; 11 – kuchaytirgich; 12 – to'g'rilagich; 13 – quyi chastota filtri (QCHF); 14 – registrator; 15 – rotor; 16 – oraliq; 17 – qo'zg'almas asos.

uyurmaviy tokli VO' lardan birining konstruktiv va funksional sxemalari keltirilgan [66, 147-151 b.]. Ushbu VO' da n ta bir dielektrik asos 2 bo'lib, ular har birining ikki chetida spiralsimon chulg'amlar 3,4 joylashtirilgan (1.6- rasm, a). Bu spiralsimon chulg'amning har biri konsentrik joylashgan ko'pburchak ko'rinishida yasalgan. 3,4 chulg'amlar metall kontaktli teshik 5 yordamida o'zaro ketma-ket va induktiv jihatdan mos ulangan hamda o'zaro $\alpha = 360^\circ/2m$ (bu yerda m – spiraldagi ko'pburchak tomonlarining soni) burchakka burilgan. Chiqish klemmalari hisoblangan 6.1 va 7.n kontakt orqali uyurmaviy tokli VO' ikkilamchi o'lchash sxemasiga ulanadi. 2.2 ... 2.n asoslarning mos 6.2 va 6.n kontaktlari $7_1 \dots 7_{n-1}$ kontaktlar bilan ulangan (1.6- rasm, b). O'lchash jarayonida VO' yuqori chastotali mu'tadil kvars generator 8 dan ta'minlanadi. VO' aylanuvchi rotor 15 dan h oraliq 16 da qo'zg'almas asos 17 da o'rnatiladi. Rotor 15 aylanganda undagi asimmetriya va podshipniklardagi nosozliklar tufayli oraliq masofa h davriy ravishda o'zgarib turadi. Natijada, L, C_n, r_a konturga (1.6- rasm, v) kiritilgan qarshilik uzluksiz ravishda o'zgarishi oqibatida VO' qarshiligi (R_3) 10 o'zgaradi va generator 8 ning yuqori chastotali signali modulyatsiyalanadi. Ushbu signal rotor vibratsiyasining amplituda va chastotasiga bog'liq bo'ladi. Bu va texnik adabiyotlarda keltirilgan boshqa uyurmaviy tokli VO' lar amplitudasi $2 \div 10^3$ mikrometr, chastotasi esa $20 \div 10^3$ gers oraliqda tebranadigan vibratsiyalarni (10 ÷ 15) % xatolik bilan o'lchashda ishlatilishi mumkin [66, 149-150 b.].

5. *Induktiv VO'* larda vibratsiya jarayonida zanjirning induktiv qarshiligi undagi ishchi havo oralig'i kattaligi yoki yuzasi o'zgaradi. 1.7- rasmda differensial induktiv VO' konstruktiv sxemasi keltirilgan [2, 530-532 b.; 65, 245-247 b.]. Ushbu VO' o'rnatilgan obyektida vibratsiya paydo bo'lganda alyuminiy ramkada qotirilgan va inersion element vazifasini bajarayotgan ikkita ferromagnit yakor tebranma harakatga kelib, ishchi havo oraliqlari aktiv yuzalarini differensial sxema bo'yicha o'zgarishiga olib keladi, natijada elektr zanjirining induktivliklari o'zgaradi va VO' chiqishida vibratsiya tebranishiga proporsional bo'lgan elektr signal hosil bo'ladi.

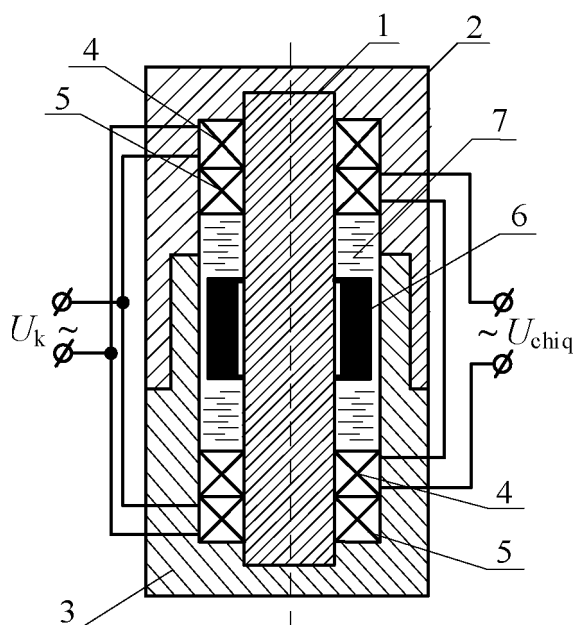


1.7- rasm. Differensial induktiv VO' konstruktiv sxemasi:

1 - alyuminiy ramka; 2 – ferromagnit yakor; 3 – magnit o'tkazgich; 4 - elastik prujina; 5 – doimiy magnit; *K* – kuchaytirgich; *D* – detektor.

Bu VO' da doimiy magnit magnit maydonining alyuminiy ramkada uning tebranma harakati natijasida paydo qiladigan uyurmaviy toklar magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri oqibatida hosil qilgan mexanik kuch mexanik tebranish konturidagi erkin tebranma harakatni so'ndirish (magnit dempfer vazifasini bajarish) uchun xizmat qiladi. Bu VO' ning o'lchash chastota diapazoni $(0 \div 40)$ Hz, undagi mexanik kontur xususiy chastotasi 70 Hz, magnit dempferlash koeffitsiyenti $(0,8 \div 0,9)$, vibrotezlanishlarni o'lchash diapazoni $(0 \div 10)g$, asosiy xatoligi $\pm 5,0 \%$ [2, 526-528 b.].

5. *Transformator VO'* lar induktiv VO' lardan birlamchi (qo'zg'atish) chulg'amidan tashqari ikkilamchi (o'lchash) chulg'aming mavjudligi bilan farq qiladi va chulg'amlar o'rtasidagi o'zaro induktivlik vibratsiya parametrlariga bog'liq ravishda o'zgaradi [41, 89-90 b.]. 1.8- rasmda differensial transformator VO' konstruktiv sxemasi keltirilgan bo'lib [41], undagi qisqa tutashtirilgan halqa bir vaqtning o'zida differensial magnit zanjiri ishchi magnit oqimlari yo'lidagi elektromagnit ekran va inersion element vazifasini bajaradi. Vibrotezlanish bo'lmagan paytda elektromagnit ekran unga ta'sir qilayotgan va qo'zg'atish chulg'ami seksiyalaridan o'tayotgan o'zgaruvchan tok magnit maydoni hosil qilayotgan elastik elektromagnit kuch ta'sirida magnit zanjirining simmetriya o'qida joylashadi. Obyektda o'rnatilgan ushbu VO' da hosil bo'lgan vibrotebranish undagi

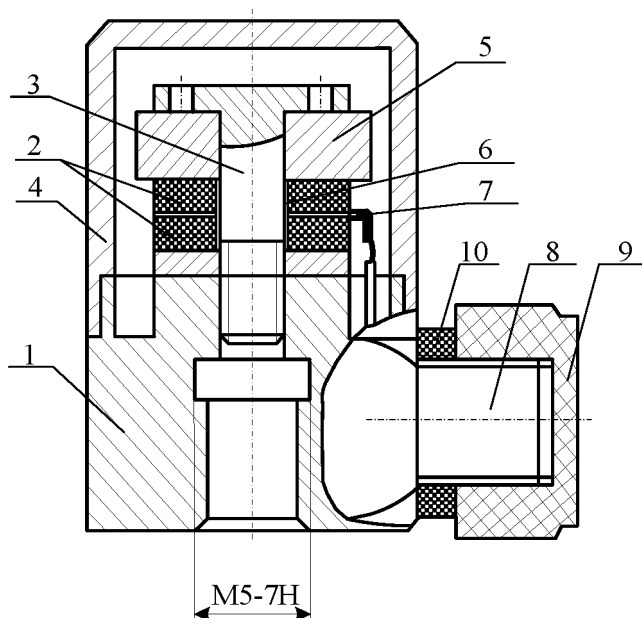


1.8- rasm. Transformator VO' kon-struktiv sxemasi: 1,2,3 - mos ravishda ichki va tashqi ferromagnit silindr silindrlar; 4,5 - mos ravishda ikki seksiyali qo'zg'atish va o'lchash chulg'amlari; 6 – harakatlanuvchi qisqa tutashtirilgan halqa-elektromagnit ekran; 7 – transformator moyi.

inersion element-qisqa tutashtirilgan halqaga uzatiladi, natijada ushbu halqaning tebranishi qo'zg'atish va o'lchash chulg'amlari o'rtasidagi o'zaro induktivlikni o'zgarishiga sababchi bo'ladi, buning oqibatida esa VO' ning differensial sxemasi chiqishida vibrotezlanishga proporsional bo'lgan signal paydo bo'ladi. Transformator moyi bu qurilmada dempfer vazifasini bajaradi.

§1.3. Vibratsiyalarni o'lchovchi generator o'zgartirgichlar

Generator VO' larning eng keng tarqalgan turi *pezoelektrik* VO' (PVO') lar bo'lib, ular, odatda, akselerometr rejimida ishlaydi [61; 79, 447-448 b.]. Pezoelement elastiklik moduli juda katta bo'lganligi bois PVO' larning xususiy chastotasi 10^5 Hz gacha va undan ham katta bo'lishi mumkin. Shuning uchun ham ularning chastota diapazonining yuqori chegarasi bir necha o'n kilogersgacha yetishi mumkin. Konstruktiv sxemasi 1.9- rasmda keltirilgan PVO' [66, 49-73 b.] da pezoelement 2 vibratsiya paytida kattaligi inersion element 5 massasi va tezlanishiga proporsional bo'lgan kuch ta'sirida bo'ladi, natijada pezoelementda hosil bo'ladigan elektr miqdori tezlanishning oniy qiymatiga proporsional bo'ladi. Past chastotali vibratsiyalarda PVO' ning amplituda-chastotaviy xarakteristikasi (ACHX) nulgacha



1.9- rasm. DN-3-M1 rusumli pezoelektrik VO' konstruktiv sxemasi (RF): 1 – asos; 2 – pezoelement; 3 – vint; 4 – qopqoq; 5 – inversion element; 6,8 – vtulka; 7 – kontakt; 9 – kolpachok; 10 – halqa

pasayadi. Ushbu pasayish quyidagi tengsizlik qanchalik sust bajarilsa, shunchalik tez boshlanadi [66, 64 b.]:

$$\omega_M = 0,79/[R(C_{vo'} + C_{k.kir.})], \quad (1.1)$$

bu yerda ω_M – o'lchanayotgan vibrotezlanish chastotasi, $[rad \cdot s^{-1}]$; $R = (R_{i.vo'} \cdot R_{k.kir.}) / (R_{i.vo'} + R_{k.kir.})$, $[\Omega]$; $R_{i.vo'}$, $C_{vo'}$, $[F]$ – mos ravishda VO' izolyatsiyasi qarshiligi va sig'imi; $R_{k.kir.}$, $C_{k.kir.}$ – mos ravishda kuchaytirgichning kirish qarshiligi va sig'imi.

PVO' lar yordamida past (bir necha o'n) chastotali vibratsiyalarni o'lchashda qiyinchiliklar yuzaga keladi. Sirqish ("утечка") tokini kamaytirish, kuchaytirgich kirish qarshiligini ($10^{10} \Omega$ raqa) oshirish kabi maxsus yo'llar ishchi chastota diapazoni quyi chegarasini bir necha gersgacha kamaytirish imkonini bersada, past chastotali elektr signallarni kuchaytirish VO' ikkilamchi o'zgartirgich sxemalariga juda murakkab talablarni qo'yadi [66, 69-70 b.].

PVO' lar butun dunyo miqyosida keng ishlab chiqariladigan o'lchash qurilmalari turkumiga kiradi. RF ning turli zavod va firmalari, Fransiyaning "METREL", Daniyaning "Bruel and Kjer", Germaniyaning "RFT", Buyuk britaniyaning "Consolidated Electrodynamics" va AQSH ning "Endervo Corporation" firmalari PVO' lar ishlab chiqarish bo'yicha yetakchi hisoblanadi [50-53].

Ishlab chiqarilayotgan PVO‘ lar tuzilishi, ishlash prinsipi va asosiy texnik xarakteristikalarining tahlili ularning quyidagi afzalliklarga ega ekanligini ko‘rsatadi [45, 578 b.;79, 448]: - konstruksiyasining soddaligi; -ishonchliligi va vibratsiyalarga chidamliligining yuqorililigi; - gabarit o‘lchamlari va massasining kichikligi; -chastota diapazonining kengligi.

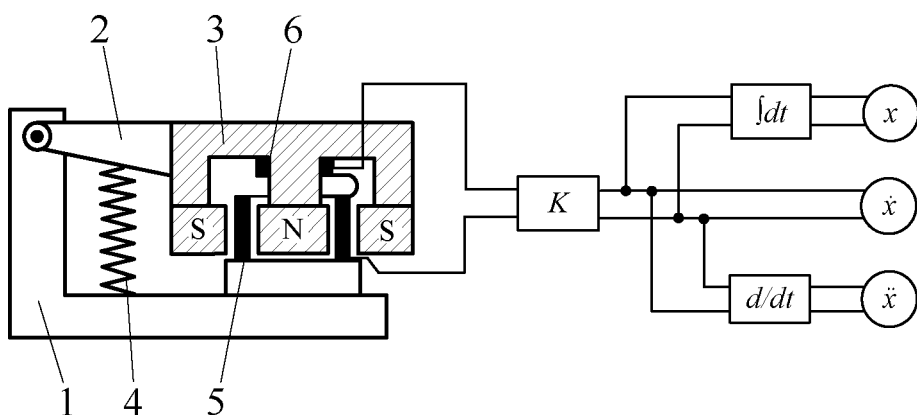
Yuqorida qayd etib o‘tilgan afzalliklari bilan birga PVO‘ lar quyidagi kamchiliklarga ham ega [45, 578 b.]: -pezelementdan olinayotgan elektr signalning kuchaytirgichlar, PVO‘ ni uning ikkilamchi o‘zgartirgich qurilmasi bilan ulovchi simlarda paydo bo‘ladigan elektr shovqin va xalaqit signallariga nisbatan juda kichikligi; -vaqt o‘tishi bilan (eskirish jarayoni tufayli) sezgirligining o‘zgarishi; - o‘lchash xatoligining sezilarli darajada yuqoriligi: amplituda xarakteristikasining nochiziqligi tufayli yuzaga keladigan xatolik 6 % gacha; haroratning o‘zgarishi tufayli - 5 % atrofida; kabel effekti tufayli - (3 ÷ 10) %; atrofida; kabel effekti tufayli - 5 % gacha; montaj ishlarining nomukammalligi tufayli - 5 % gacha va h.z. PVO‘ lar asosiy xatoligi $\pm(8 \div 10)$ % ni tashkil etadi.

Induksion VO‘ (IVO‘) lar amaliyotda keng qo‘llaniladi va shuning uchun ham chet el firmalari tomonidan seriyada ishlab chiqariladi [50-53]. IVO‘ larning ishlash prinsipi doimiy magnit maydoni va induksion g‘altakning o‘zaro harakati tufayli g‘altakda EYUK induksiyanishiga asoslangan bo‘lib, EYUK kattaligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi (1.10- rasm) [79, 446-447 b.]:

$$E = Blvsin\alpha, \quad (1.2)$$

bu yerda B - ishchi oraliqdagi doimiy magnit maydoni induksiyasi, $[T]$; induksion g‘altak o‘rami simi aktiv qismining uzunligi, $[m]$; v – induksion g‘altakni magnit maydoniga nisbatan chiziqli tezligi, $[m/s]$; α - induksion g‘altak o‘qi va magnit induksiyasi vektori orasidagi burchak, $[degri]$ (1.10- rasmdagi IVO‘ konstruktiv sxemasida bu burchak 90^0 ni tashkil etadi.

1.10- rasmdagi IVO‘ konstruktiv sxemasida nazorat qilinayotgan obyektga mahkamlangan asos 1 obyekt vibratsiyasi natijasida mexanik tizim xususiy chastotasiga qaraganda yuqori chastotada tebranganda magnit 3 ning og‘irlik mar-



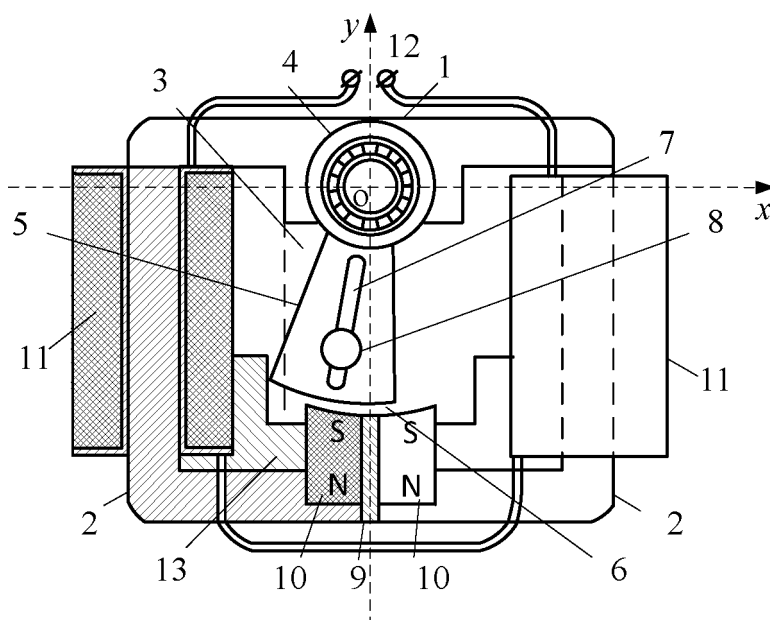
1.10- rasm. Induksion VO' konstruktiv sxemasi:

1 – asos; 2 – richag; 3 – inersion element; 4 – prujina; 5 - induksion g'altak; 6 – qo'shimcha g'altak; K – kuchaytirgich; d/dt , $\int dt$ – mos ravishda differensiallovchi va integrallovchi zvenolar; x , $\dot{x}$ ba $\ddot{x}$ – mos ravishda vibrosiljish, vibrotezlik va vibrotezlanish.

zi fazoda qo'zg'almasdan qoladi, induksion g'altak 5 esa magnit zanjirining ishchi oralig'ida amplitudasi o'lchanayotgan tebranish amplitudasiga teng bo'lgan tebranma harakatga keladi, natijada induksion g'altak 5 da kattaligi o'lchanayotgan tebranish tezligiga proporsional bo'lgan EYUK hosil bo'ladi. IVO' larning gabarit o'lchamlari va massasi PVO' larnikiga nisbatan katta, chastota diapazoni esa tor bo'lsa-da, past chastotali vibratsiyalarni o'lchashda katta chiqish quvvatga ega [45, 539 b.]. Shu nuqtayi nazardan, past chastotalarda tebranadigan, massasi esa VO' ga nisbatan juda katta bo'lgan (masalan, temir yo'l vagonlari, tortuvchi transformatorlar, motorlar, generatorlar va h.z.) obyektlarda chiqish quvvati katta bo'lgan IVO' larning qo'llanilishi maqsadga muvofiq hisoblanadi. IVO' lar chastota diapazonining quyi chegarasini kengaytirish maqsadida ular elektr zanjiriga korrektsiyalovchi sxemalar ulanadi [10].

1.11- rasmda mavjud IVO' lardan yana birining konstruktiv sxemasi keltirilgan bo'lib [15], dissertatsiyaning keyingi boblarida ushbu IVO' takomillashtirilganligi sababli bu konstruksiyaga batafsilroq to'xtalamiz. IVO' da F- simon magnit o'tkazgich 1 ikkita chet vertikal sterjenlar 1, 2 va o'rta sterjen 3 dan tashkil topgan bo'lib, o'rta sterjenning yuqori qismida sharnir 4 (masalan, sharikli podshipnik ko'rinishida) o'rnatilgan. Podshipnikning harakatlanuvchi oboymasida magnit yumshoq materialdan yasalgan va magnit o'tkazgich 1 ning o'rta sterjeni hamda mayatnik vazifalarini bajaruvchi inersion sektor 5 mahkamlangan. Ushbu

qo'zg'aluvchan inersion sektorning quyi qismi va magnit o'tkazgich o'rta sterjeni pastki qo'zg'almas qismining yuqori qismi orasida kattaligi o'zgarmaydigan yoysimon ishchi havo oralig'i 6 ko'zda tutilgan. Inersion sektor uzunligi bo'ylab ariqcha 7 mavjud bo'lib, unda siljitish imkoniyatiga ega bo'lgan ballast element 8 qotirilgan. F- simon magnit o'tkazgich o'rta sterjenining pastki qismida vertikal yo'nalishda magnitlangan va o'zaro diamagnit oraliq 9 bilan ajratilgan ikkita doimiy magnet 10 o'rnatilgan.



1.11- rasm. Inersion VO' konstruktiv sxemasi:

1 - F- simon magnit o'tkazgich; 2 – chet vertikal sterjenlar; 3 – o'rta sterjen; 4 – sharnir; 5 – inersion sektor; 6 – ishchi havo oralig'i; 7 – radial ariqcha; 8 – ballast element; 9 – diamagnit oraliq; 10 – doimiy magnitlar; 11 – o'lchash chulg'amlari; 12 – chiqish; 13 – amortizatsion cheklagichlar.

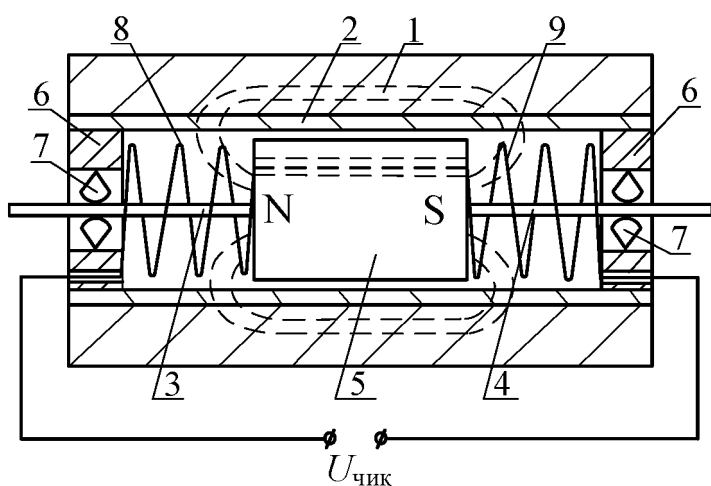
Bu IVO' quyidagicha ishlaydi. Nazorat qilinayotgan obyektida vibratsiya paydo bo'lganda vibrotebranishlar ta'sirida unda o'rnatilgan IVO' inersion sektori inersiya kuchi va magnit maydonining tortishish kuchi ta'sirida doimiy magnitlarga nisbatan orqada qoladi va buning natijasida magnit zanjirining bitta yarim (inersion sektorning 1.11- rasmdagi holati uchun zanjirning bizdan o'ng tomondagi) qismida ishchi havo oralig'ining magnit qarshiligi o'zgarganligi (kamayganligi) oqibatida magnit zanjiri o'ng tomonidagi sterjenda o'rnatilgan o'lchash chulg'ami orqali

birlashayotgan ishchi magnit oqimining qiymati o'zgaradi (kamayadi). Ishchi magnit oqimining bu o'zgarishi chulg'amda elektromagnit induksiya qonuni asosida EYUK ni induksiyalaydi. Vibrotebranishning keyingi yarim davrida bu jarayon magnit zanjirining bizdan chap tomonda joylashgan yarim qismi uchun qaytariladi va h.z.

Ushu IVO' ning kamchiliklari shundan iboratki, uning yordamida faqat chizma tekisligida joylashgan absissa o'qi bo'ylab vibrotebranishni yoki chizma tekisligiga perpendikulyar o'q atrofidagi burama vibrotebranishni o'lchash imkoniyatiga ega. Bundan tashqari, EYUK ikkala chulg'amda bir vaqtning o'zida hosil bo'lmaganligi sababli bu IVO' ning sezgirliги ham nisbatan past bo'ladi.

Shunday qilib, mavjud IVO' lar tuzilishi, ishlash prinsipi va asosiy texnik xarakteristikalarining tahlili shuni ko'rsatadiki, ularda chiqish signali quvvati katta bo'lsa-da, gabarit o'lchamlari va massasining kattaligi, bir vaqtning o'zida uchala o'q bo'ylab chiziqli vibrotebranishlarni va uchala o'q atrofidagi burama vibrotebranishlarni o'lchay olmasligi, chastota diapazoni quyi chegarasi ($7 \div 10$) Hz dan kichik bo'lmashligi va o'lchash xatoligi ($\pm 7\%$)ning nisbatan kattaligi IVO' larni amaliyotda keng qo'llash imkoniyatini birmuncha cheklaydi.

1.12- rasmda IVO' ning konstruktiv sxemasi keltirilgan bo'lib, u quyidagicha ishlaydi. IVO' korpusi gorizontaal o'q bo'ylab chiziqli vibratsiya ta'sirida bo'lganda,



1.12- rasm. IVO' ning konstruktiv sxemasi: 1,2 – korpusning mos ravishda nomagnit izolyatsion va elektr o'tkazuvchi qatlamlari; 3,4 – yarim o'qlar; 5 – doimiy magnit; 6,7 – podshipniklarning mos ravishda oboyma va sektorlari; 8,9 – prujinalar o'lchash chulg'amlari.

undagi doimiy magnit 5 qo'zg'almasdan turadi. Vibratsiya ta'sirida bo'lgan korpus bilan birga unga mahkamlangan prujinalar 8,9 ham deformatsiyalanadi – uning doimiy magnit 5 dan bir tomonda joylashgani cho'ziladi, doimiy magnitdan boshqa

tomonda joylashgani esa qisqaradi. Buning natijasida prujinalar o'ramlarini kesib o'tayotgan doimiy magnit maydoni kuch chiziqlarining soni o'zgaradi va ular(o'lchash chulg'amlari)da elektromagnit induksiya hodisasi asosida EYUK induksiyalanadi.

Yuqorida keltirilgan materiallar va vibratsiyalarni o'lchovchi generator hamda parametrik o'lchash o'zgartirgichlari asosiy xarakteristikalarining qiyosiy tahlili (1.1- jadval) shuni ko'rsatadiki, ekspluatatsiya sharoitlari og'ir, massalari esa VO' massasidan juda katta bo'lgan obyektlarda, shu jumladan temir yo'l transporti obyektlarida, ishlash ishonchliligining yuqoriligi, chiqish quvvatining kattaligi, konstruksiyasining soddaligi jihatdan nazorat qilish va boshqarish tizimlari talablariga induksion VO' lari ko'p jihatdan mos keladi.

Shuning bilan o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, mavjud induksion VO' larining funksional imkoniyatlari birmuncha cheklangan bo'lib, ular nazorat qilinayotgan obyektga mahkamlangandan keyin uch o'lchovli o'qlar bo'yicha paydo bo'ladigan chiziqli vibratsiya parametrlarini, ushbu o'qlar atrofida paydo bo'ladigan burama tebranish parametrlarini o'lchash imkoniyatlariga ega emas hamda o'lchash sezgirliklari past.

Keyingi ilmiy izlanishlar IVO' lar funksional imkoniyatlarini kengaytirish va segziriligini oshirishga qaratilishi lozim.

Birinchi bob bo'yicha xulosalar

Ishlab chiqarish obyektlari boshqaruv va diagnostikalash tizimlari sxemalarining tahlili shuni ko'rsatdiki, ularda qo'llaniladigan vibratsiya parametrlarini o'lchovchi o'lchash o'zgartirgichlari turli yo'nalishlarda vibratsiyalarni o'lchay olishi, yuqori sezgirlik, aniqlik va chiqish quvvatiga hamda nisbatan keng chastota diapazoniga, og'ir ekspluatatsiya sharoitlarida mu'tadil texnik xarakteristikalariga ega bo'lishi lozim.

Vibratsiya parametrlarini o'lchovchi o'lchash o'zgartirgichlari asosiy xarakteristikalarining qiyosiy tahlili shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqarish obyektlari

boshqaruv va diagnostikalash tizimlari talablariga ko'p jihatdan induksion vibratsiya o'lchash o'zgartirgichlari javob beradi.

Ushbu yo'nalishdagi keyingi ilmiy izlanishlar induksion vibratsiya o'lchash o'zgartirgichlarining turli yo'nalishlarda vibratsiyalarni o'lchay olishi hisobiga funksional imkoniyatlarini kengaytirish va sezgirligini oshirishga qaratilishi lozim.

2-BOB. INDUKSION VIBRATSIYA O‘ZGARTIRGICHLARINING YANGI KONSTRUKSIYALARI VA MATEMATIK MODELLARI

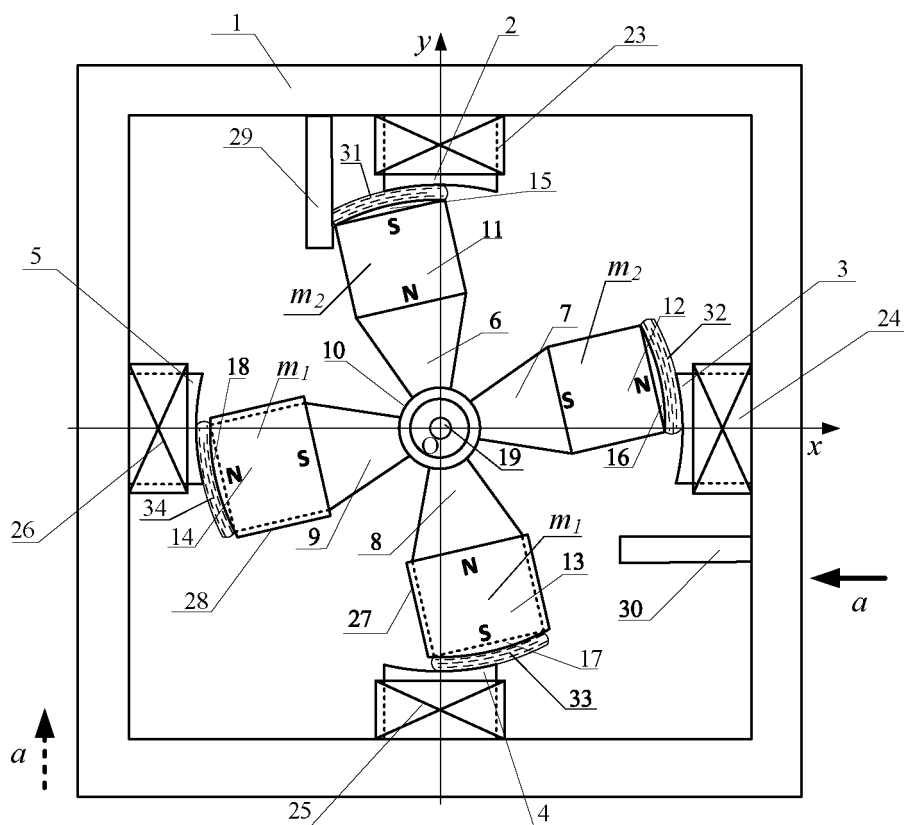
§2.1. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining yangi konstruksiyalari

IVO‘ larining yangi konstruksiyalarini ishlab chiqish jarayonida muhandislik ijodiyotining energiya-axborot va morfologik usullaridan, shu jumladan ixtirolar xalqaro tasnifidagi siljish, tezlik, tezlanish, vibratsiya va boshqa harakat parametrlarini o‘lchovchi o‘zgartirgichlar guruhlarida va boshqa ilmiy adabiyotlarda keltirilgan qurilmalar hamda ularning eng yaqin analog(prototip)lari texnik xarakteristikalarini professor Zaripov M.F. tomonidan ishlab chiqilgan “Umumlashgan usullarni aniqlash va ularni o‘lchash qurilmalarini takomillashtirishda qo‘llash” usulidan keng foydalanildi.

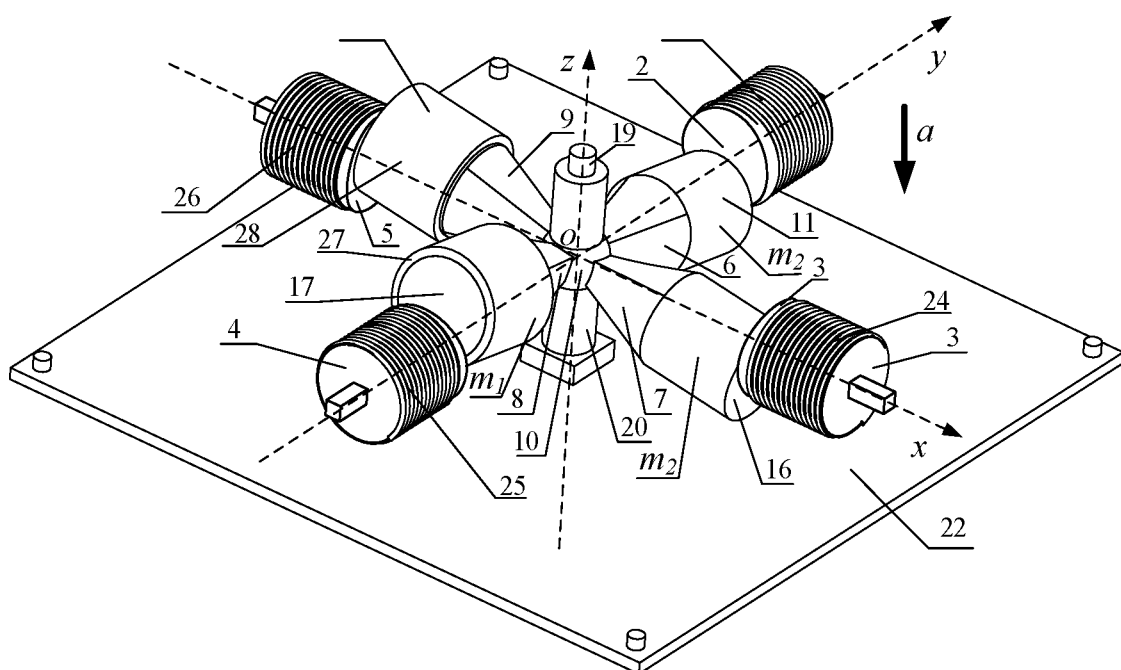
Yuqorida qayd etib o‘tilgan usullarni qo‘llash asosida yaratilgan IVO‘ lardan birining konstruktiv sxemasi 2.1-2.3- rasmlarda keltirilgan bo‘lib, bu IVO‘ konstruktiv sxemasi (1.11- rasm) va funksional imkoniyatlari dissertatsiya 1- bobida tahlil etilgan IVO‘ ning takomillashtirish asosida ishlab chiqilgan.

Yangi IVO‘ ni ishlab chiqishda quyidagi vazifa qo‘yilgan: “O‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta o‘q bo‘yicha chiziqli va ushbu o‘qlar atrofidagi burama vibratsiyalarni o‘lchash hamda o‘zgartirgich sezgirligini oshirish”.

Yangi IVO‘ qurilmasi O-simon magnit o‘tkazgich 1 qarama-qarshi tomonlarining o‘rtalarida uchlari qavariq sferasimon qutb nakonechniklari 2-5 joylashtirilgan. Ushbu qutb nakonechniklari orasidagi havo oralig‘ining markazida O-simon magnit o‘tkazgich tekisligida yotuvchi o‘zaro perpendikulyar o‘qlar bo‘ylab to‘rtta magnit o‘tkazgich sektorlar 6-9 magnit materialdan yasalgan sharsimon asos 10 ga biriktirilgan ko‘rinishidagi IE joylashtirilgan. Bo‘ylama magnitlangan to‘rtta doimiy magnit 11-14 tegishli sektorlarga mahkamlangan va botiq sferasimon qutb nakonechniklari 15-18 ga ega. Sharsimon asos 10 ikki tomondan sektorlar tekisligiga perpendikulyar bo‘lgan ikkita qo‘zg‘almas yarim o‘q 19,20 bilan sharnirli bog‘langan va o‘zgartirgichning o‘zaro qarama-qarshi joylash-

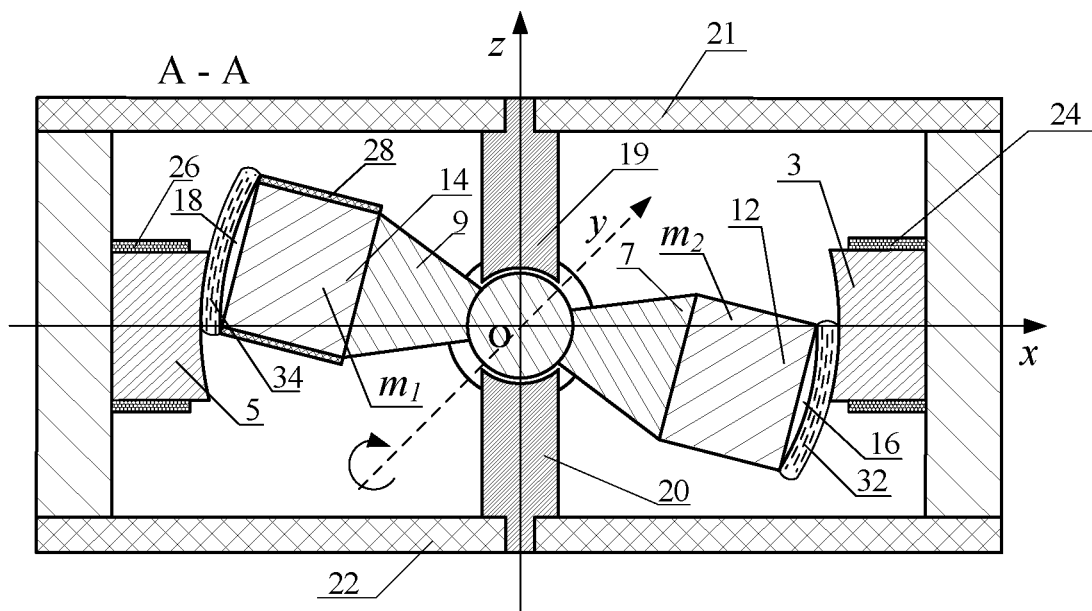


2.1- rasm. IVO' old tomonidan ko'rinishi (qopqoqlarsiz)



2.2- rasm. IVO' IE ning aksionometrik ko'rinishi

gan qopqoqlari 21,22 ga qotirilgan. O'lchash chulg'amlari 23-26 qutb nakonechniklari 2-5 da joylashtirilgan va o'zaro ketma-ket hamda induktiv jihatdan



2.3- rasm. IVO' ning A-A kesimidagi ko'rinishi

qarama-qarshi ulangan. Ikkita yondosh sektorlar massasi ularning qarama-qarshisidagi ikkita yondosh sektorlar massasidan farq qilishini ta'minlash maqsadida ikkita yondosh 7 va 8 sektorlar qo'shimcha yuk vazifasini bajaruvchi nomagnit materialdan yasalgan silindrik qoplama 27,28 kiydirilgan. IE burchak siljishini cheklash maqsadida magnit o'tkazgich 1 da amortizatsion cheklagichlar o'rnatilgan. IE ning ox o'qi atrofida burilishini cheklash vazifasini qo'zg'almas yarim o'q 19,20 larning yoysimon chetlari bajaradi.

Vibratsiya bo'lmagan dastlabki holatda IE o'zining neytral holatida bo'ladi. Bu holatda doimiy magnitlarning tegishli ishchi havo oraliqlaridagi magnit maydonlari hosil qilgan tortish kuchlari ta'sirida

inersion element sektorlarining o'zaro perpendikulyar o'qlari magnit zanjirining o'zaro perpendikulyar o'qlari bilan ustma-ust tushadi. Aytib o'tish joizki, magnit maydonlarining IE tegishli sektorlarini neytral holatida saqlab turish tomoniga yo'nalgan tortish kuchlari tegishli sektorlar og'irlik kuchlaridan katta qilib tanlanadi. Ikkita yondosh 8,9 sektorlar har birining massasi m_1 , qolgan ikkita yondosh 6,7 sektorlar har birining massasi m_2 ga teng bo'lib, bunda $m_1 > m_2$ shart bajariladi.

O'lchash jarayonini amalga oshirishda IVO' magnit o'tkazgichi 1 obyektida gorizontal holatda o'rnatilishi maqsadga muvofiq bo'ladi.

IVO‘, masalan, ox o‘qi bo‘ylab chiziqli vibratsion tebranishlar ta’sirida bo‘lganda, tebranishning birinchi yarim davrida magnit o‘tkazgich 1 va u bilan sharnirli bog‘langan IE chiziqli tezlanish a ta’sirida bo‘lganda (ushbu tezlanish yo‘nalishi 2.1- rasmda ox o‘qi yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘naltirilgan strelka bilan ko‘rsatilgan) neytral holatida oy o‘qi bo‘ylab joylashgan ikkita sektor 6 va 8 ga kattaliklari mos ravishda $F_{i,1} = m_1 a$ ba $F_{i,2} = m_2 a$ ga teng, yo‘nalishi esa a tezlanish yo‘nalishiga teskari yo‘nalgan inersiya kuchlari ta’sir ko‘rsatadi. Sektor 8 ning massasi m_1 sektor 6 ning massasi m_2 dan katta bo‘lganligi sababli $F_{i,1} > F_{i,2}$ bo‘ladi. Buning natijasida sharnirda o‘rnatilgan IE $\Delta F_{i,12} = F_{i,1} - F_{i,2} = (m_1 - m_2)a$ natijaviy inersiya kuchi ta’sirida doimiy magnitlar magnit maydonlari hosil qilgan tortish kuchlarini yengib, 2.1- rasmda ko‘rsatilgan tomonga buriladi (agar xayolan sektor 8 $\Delta m_{12} = m_1 - m_2$ massaga, sektor 6 esa nol massaga ega deb tasavvur qilinsa, u holda taklif etilgan IVO‘ 1- bobning 1.11- rasmda keltirilgan va yangi o‘lchash qurilmasining prototipi hisoblangan IVO‘ singari ishlaydi). Buning natijasida magnit o‘tkazgich va inersion sektorlardagi tegishli qutb nakonechniklarining aktiv yuzasi kamayadi, bu holat ishchi havo oraliqlari magnit qarshiliklarining ortishiga va binobarin, o‘lchash chulg‘amlarini kesib o‘tayotgan ishchi magnit oqimlarining kamayishiga olib keladi. Ushbu magnit oqimlarining o‘zgarishi esa, elektromagnit induksiya qonuni asosida, o‘zaro ketma-ket va induktiv jihatdan qarama-qarshi ulangan o‘lchash chulg‘amlarida bir-biriga qo‘shiladigan EYUK larni induksiylaydi.

IVO‘ ga ta’sir etayotgan vibrotezlanish ta’sirida IE va magnit o‘tkazgich 1 qutb nakonechniklarini bir-birlariga nisbatan davriy siljishi natijasida ishchi magnit oqimlari modulyatsiyalanadi va natijada IVO‘ chiqishida amplitudasi va chastotasi o‘lchanayotgan vibrotezlanish amplitudasi va chastotasi bilan funksional bog‘langan EYUK hosil bo‘ladi.

Chiziqli vibratsiya IVO‘ ga oy o‘qi bo‘ylab ta’sir etganda uning ishlash prinsipi xuddi yuqoridagidek bo‘ladi (yo‘nalishi oy o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan a tezlanish 2.1- rasmda uzlukli strelka bilan ko‘rsatilgan). Bu holatda inersiya kuchlari inersion

elementning 7 va 9 sektorlariga ta'sir ko'rsatadi.

Chiziqli vibratsiya IVO' ga *ox* bo'ylab ta'sir etganda (virotebranishning yarim davridagi tezlanish yo'nalishi *ox* o'qi bo'ylab yo'nalganda) inersiya kuchlari IE ning 6,8 sektorlariga ta'sir ko'rsatadi, chiziqli vibratsiya IVO' ga *oy* bo'ylab ta'sir etganda esa (virotebranishning yarim davridagi tezlanish yo'nalishi *oy* o'qiga qarama-qarshi yo'nalganda) inersiya kuchlari IE ning 7 va 9 sektorlariga ta'sir ko'rsatadi.

Chiziqli vibratsiya IVO' ga *oz* bo'ylab ta'sir etganda inersiya kuchlari inersion elementning to'rttala sektoriga ham ta'sir ko'rsatadi (2.2- rasm).

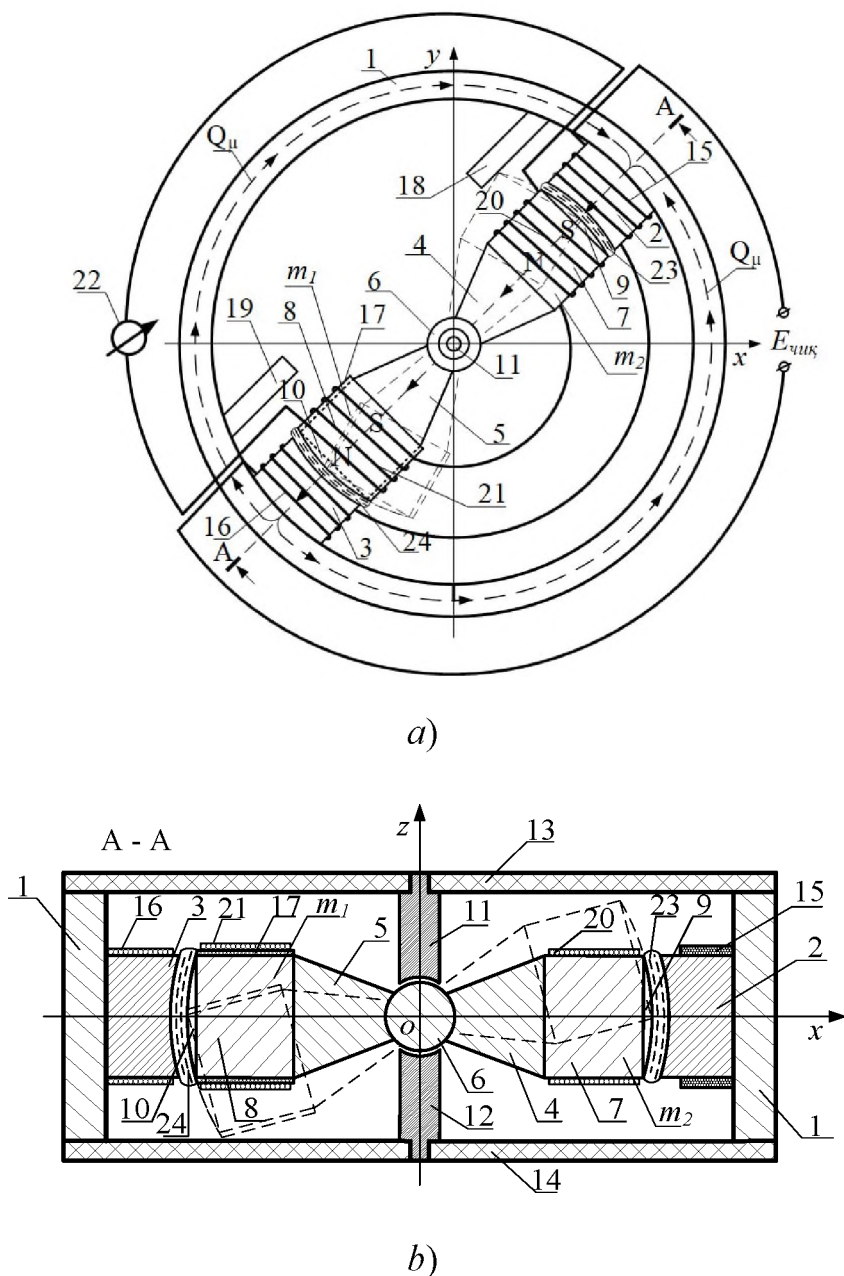
IVO' magnit o'zgartirgichi 1, masalan, *oy* o'qi atrofida burama vibratsion tebranishlar ta'sirida harakatga kelganda IE 7 va 9 sektorlarining ular qarshisidagi qo'zg'almas qutb nakonechniklariga nisbatan holati o'zgaradi (qutb nakonechniklari kesim yuzasining chegarasi aylana ko'rinishida yasalganligi sababli 15 va 2 hamda 17 va 4 qutb nakonechniklari aktiv yuzalari o'zgarmasdan saqlanadi) (2.3- rasm). IVO' *ox* o'qi atrofida tebranganda ham xuddi shunga o'xshash jarayon kuzatiladi. Buning natijasida tegishli havo oraliqlari magnit qarshiliklarining ortishi va buning oqibatida ishchi magnit oqimlarining o'zgarishi o'lchash chulg'amlarida EYUK induksiyanishiga sababchi bo'ladi.

IVO' *oz* o'qi atrofida burama vibratsion tebranishlar ta'sirida bo'lganda IE barcha seksiyalarining qo'zg'almas qutb nakonechniklariga nisbatan joylashish holati obyekt vibratsiyasi chastotasiga teng bo'lgan chastota bilan tebranadi (bu holat uchun IE harakati 2.1- rasmdagi holat bo'yicha kechadi).

Aytib o'tish joizki, IVO' ga ta'sir etadigan har bir tur chiziqli va burama vibratsion tebranishlar uchun o'zgartirgich gradirovkasi alohida-alohida amalga oshiriladi.

Yangi IVO' sezgirligining uning prototipi sezgirligidan yuqoriligiga sabab shundaki, birinchidan, vibratsiya ta'sirida inersion element ma'lum burchakka burilganda bir vaqtning o'zida barcha (to'rttala) chulg'amlardagi magnit oqimlari o'zgaradi va har bir o'lchash chulg'amida EYUK induksiyanadi, ikkinchidan,

mavjud IVO‘ magnit zanjirida ishchi magnit oqimi sharnirli bog‘lanish joyidagi havo oralig‘ini kesib o‘tadi, bu esa zanjirdagi ishchi magnit oqimini sezilarli darajada kamayishiga olib keladi. Yangi IVO‘ da esa ishchi magnit oqimlari sharnirli bog‘lanish joyidagi havo oralig‘ini kesib o‘tmaydi.

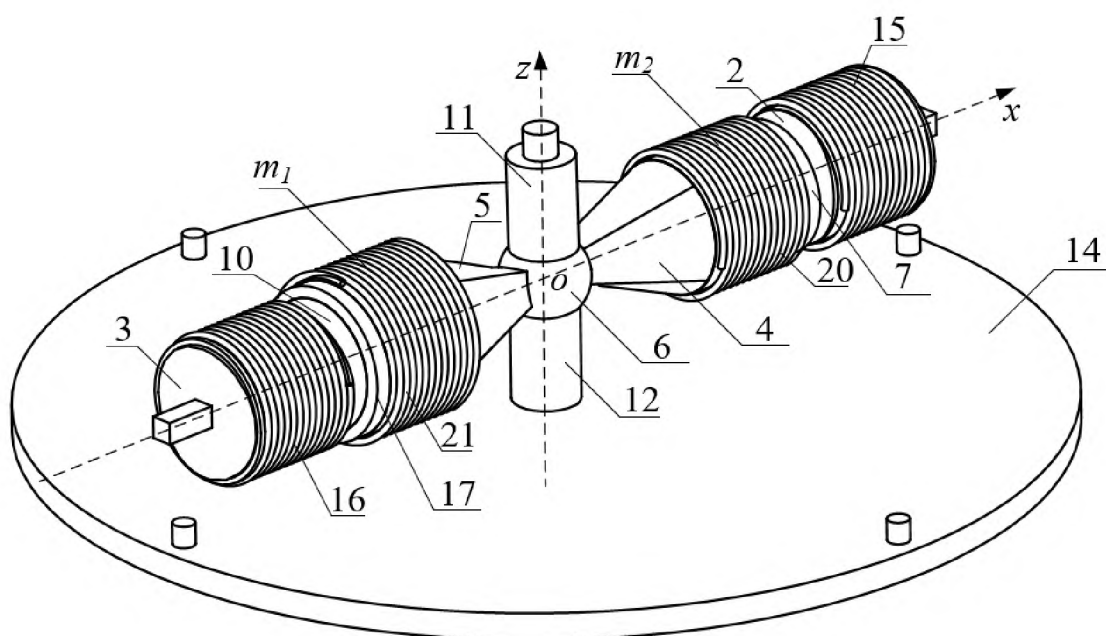


2.4- rasm. Induksion VO‘ konstruktiv sxemasi: a - qopqoqsiz old tomonidan ko‘rinishi; b – uning A-A kesim bo‘yicha ko‘rinishi:

1,2,3 – konsentrik magnit o‘tkazgich va uning qutb nakonechniklari; 4,5 – IE ning sektorsimon magnit o‘tkazgichlari; 6 - inersion elementning sharsimon asosi; 7,8, 9,10 – doimiy magnitlar va ularning qutb nakonechniklari; 11,12 – yarim o‘qlar; 13,14 – qopqoqlar; 15,16 – o‘lchash chulg‘amlari; 17 - silindrik nomagnit qoplama; 18,19 – amortizatsion cheklagichlar.

Shunday qilib, yangi IVO‘ qurilmasi yordamida o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchala o‘q bo‘ylab yuzaga keladigan chiziqli va shu uchala o‘q atrofida yuzaga keladigan burama vibratsion tebranishlar parametrlarini o‘lchash imkoniyati mavjud.

Ishlash prinsipi xuddi yuqorida tavsifi keltirilgan IVO‘ singaridek, ammo tuzilishi jihatidan nisbatan soddaroq, massasi esa kichikroq bo‘lgan va biz tomonimizdan taklif etilgan IVO‘ konstruktiv sxemalari 2.4–2.5- rasmlarda keltirilgan. Bu o‘lchash qurilmasida magnit o‘tkazgich konsentrik halqa 1 ko‘rinishida yasalgan bo‘lib, uning ichki yuzasida gorizontaal va vertikal o‘qlar bilan ma‘lum (odatda, 45^0) burchak va o‘zaro diametral joylashgan ikkita qutb nakonechnigi ko‘zda tutilgan. IE esa sharsimon asosga mahkamlangan va o‘zaro diametral joylashtirilgan ikkita sektor ko‘rinishida yasalgan bo‘lib, neytral holatda konsentrik halqadagi qutb nakonechniklari o‘qida ma‘lum ishchi havo oraliqlarini saqlagan holda o‘rnatilgan. O‘lchash chulg‘amlari ikkala qutb nakonechnigida joylashtirilgan va o‘zaro ketma-ket hamda induktiv jihatdan qarama-qarshi ulangan. Bo‘ylama magnitlangan ikkita doimiy magnit IE da o‘zaro qo‘shiluvchi magnit oqimi hosil qiladigan holatda joylashtirilgan. Bitta sektor massasi uning qarama-qarshisidagi sektor massasidan farq qilishini ($m_1 > m_2$) ta‘minlash maqsadida bitta sektorga qo‘shimcha yuk vazifasini bajaruvchi nomagnit materialdan yasalgan silindrik qoplama kiydirilgan. Qolgan konstruktiv xususiyatlari avvalgi IVO‘ bilan bir xil. Ushbu IVO‘ gorizontaal ko‘rinishda qopqoqlaridan biri, masalan, qopqoq 13 yordamida vibratsiyasi o‘lchanayotgan obyektga mahkamlanadi. IVO‘, masalan oy o‘qi bo‘ylab vibratsion tebranish ta‘sirida bo‘lganda, tebranishning birinchi yarim davrida a tezlanishning yo‘nalishi oy o‘qi bo‘ylab vibratsion tebranish ta‘sirida bo‘lganda, tebranishning birinchi yarim davrida a tezlanishning yo‘nalishi oy o‘qiga qarama-qarshi bo‘lgan va sektorlarning neytral holatdagi o‘qiga 45^0 burchak ostida yo‘nalgan inersiya kuchlari $F_{i,1} = m_1 a$ va $F_{i,2} = m_2 a$ ta‘sirida bo‘ladi. Bunda bu kuchlarning sektorlar neytral holatdagi o‘qiga perpendikulyar tashkil etuvchilari mos ravishda $F_1 = F_{i,1} \cos 45^0 = \frac{\sqrt{2}}{2} F_{i,1}$ va $F_2 = F_{i,2} \cos 45^0 = \frac{\sqrt{2}}{2} F_{i,2}$

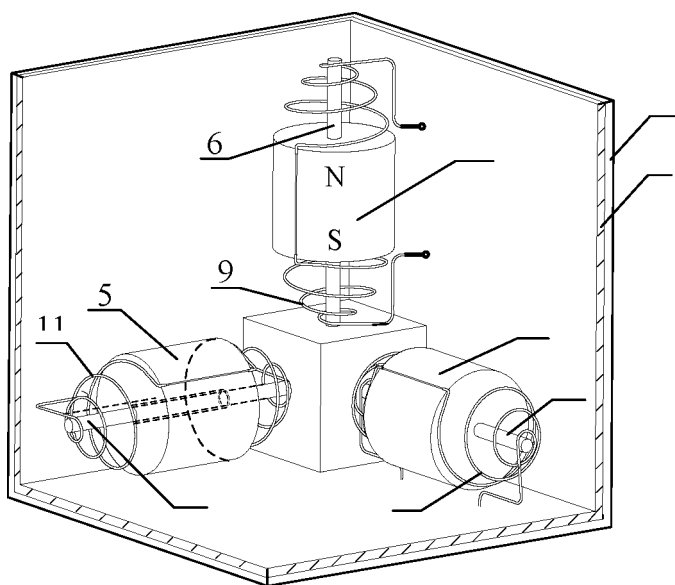


2.5- rasm. IVO‘ ning magnet o‘tkazgich va ustki qopqog‘isiz aksionometrik ko‘rinishi

qiymatlarga teng bo‘ladi. Sektor 5 ning massasi m_1 sektor 4 ning massasi m_2 dan katta bo‘lganligi sababli $F_{i,1} > F_{i,2}$ ba $F_1 > F_2$ bo‘ladi. Shuning uchun ham IE u bilan sharnirli bog‘langan yarim o‘qlar atrofida $\Delta F_{12} = F_1 - F_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}(m_1 - m_2)a$ kuch ta’sirida doimiy magnitlar magnet maydonlari hosil qilgan mexanik kuchlarni yengib, soat mili harakatiga qarama-qarshi yo‘nalishda ma’lum burchakka buriladi. Bu holat ishchi havo oraliqlari magnet qarshiliklarining ortishiga, ishchi magnet oqimining esa kamayishiga olib keladi. Ishchi magnet oqimining o‘zgarishi o‘lchash chulg‘amlarida EYUK lar induksiyalanishiga sababchi bo‘ladi. Tebranishning ikkinchi yarim davrida bu jarayon a tezlanish va inersion kuchlar yo‘nalishi o‘zgargan holda qaytariladi va h.z.

Chiziqli vibratsion tebranish ox , oz o‘qlari bo‘ylab, ox , oy va oz o‘qlari atrofida burama vibratsion tebranish paydo bo‘lganda ham xuddi yuqoridagidek jarayonlar yuz beradi.

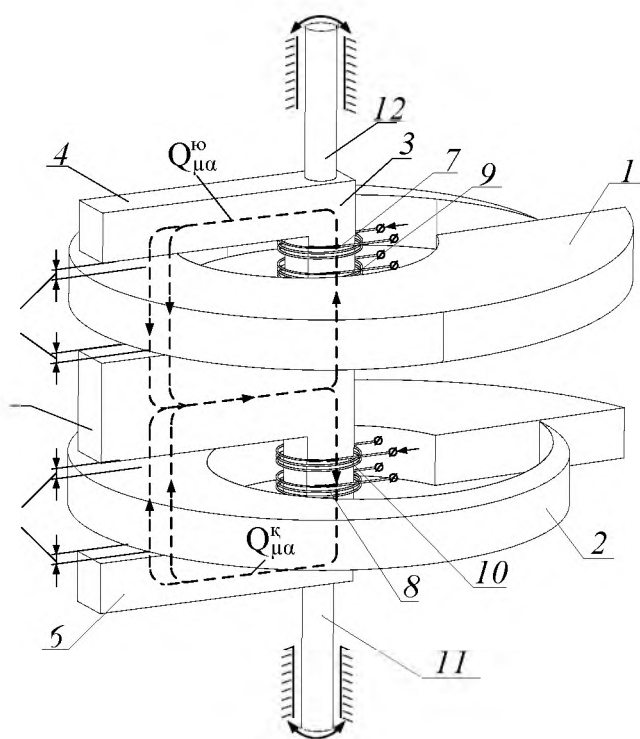
2.6- rasmda uch komponentli IVO‘ ning taklif etilgan konstruktiv sxemasi keltirilgan bo‘lib [11], u quyidagicha ishlaydi. IVO‘ korpusi biror (masalan, vertikal)



2.6- rasm. Uch komponentli IVO‘ning taklif etilgan konstruktiv sxemasi: 1,2 – korpusning mos ravishda nomagnit izolyatsion va elektr o‘tkazuvchi qatlamlar; 3,4,5 – doimiy magnitlar; 6,7,8 – o‘qlar; 9,10,11 – prujinalar o‘lchash chulg‘amlari.

o‘q bo‘ylab chiziqli vibratsiya ta’sirida bo‘lganda, undagi shu o‘q bo‘ylab vibratsiyani qayd etishga mo‘ljallangan o‘lchash tizimining doimiy magniti 3 qo‘zg‘almasdan turadi. Vibratsiya ta’sirida bo‘lgan korpus bilan birga unga mahkamlangan prujinalar 9 ham deformatsiyalanadi – uning doimiy magnit 3 dan bir tomonda joylashgani cho‘ziladi, doimiy magnitdan boshqa tomonda joylashgani esa qisqaradi. Buning natijasida prujinalar 9 o‘ramlarini kesib o‘tayotgan doimiy magnit maydoni kuch chiziqlarining soni o‘zgaradi va ular(o‘lchash chulg‘amlari)da elektromagnit induksiya hodisasi asosida EYUK induksiyanadi. Bu paytda prujinalar 10 va 11 ning doimiy magnitlar 4 va 5 ga nisbatan holati o‘zgarmaydi, binobarin, ularda EYUK induksiyanmaydi.

2.7- rasmda keltirilgan yangi IVO‘ quyidagicha ishlaydi. O‘zgartirgich qo‘zg‘atish chulg‘ami o‘zgarmas tok manbaiga ulanadi. Bu tok qo‘zg‘atish chulg‘ami seksiyalaridan o‘tganda ular o‘ralgan sterjen 3 da kattaligi $F_q = I_q w_q$ ga teng bo‘lgan magnit yurituvchi kuch(MYUK)larni hosil qiladi, bu yerda w_q , I_q – mos ravishda qo‘zg‘atish chulg‘ami seksiyasidagi o‘ramlari soni va undan o‘tayotgan tok. Ushbu MYUK lar ta’sirida magnit zanjirining yuqori va quyi yarim uchastkalarida o‘zgarmas $Q_{\mu\alpha}^{yu} = F_q \mu_0 \frac{b S_{\mu f.1}(\alpha)}{2 \delta_{ish}}$ va $Q_{\mu\alpha}^q = F_q \mu_0 \frac{b S_{\mu f.2}(\alpha)}{2 \delta_{ish}}$ magnit oqimlari hosil bo‘ladi, bu yerda b , δ_{ish} – 4,5,6 – sterjenlar eni va ular bilan



2.7- rasm. Yangi TO‘O‘ konstruktiv sxemasi: 1,2 - o‘roqsimon qo‘zg‘almas magnit o‘tkazgich; 3,4,5,6 – E- simon qo‘zg‘aluvchan magnit o‘tkazgich vertikal asosi va o‘zaro parallel sterjenlari; 7,8 – qo‘zg‘atish chulg‘aming seksiylari; 9,10–o‘lchash chulg‘aming seksiya-lari; 11,12 – yarim o‘qlar

o‘roqsimon magnit o‘tkazgich orasidagi havo oraliqlari; $S_{\mu f.1}(\alpha) = \frac{ba}{\pi}(\alpha_M + \alpha)$ va $S_{\mu f.2}(\alpha) = \frac{ba}{\pi}(\alpha_M - \alpha)$ - o‘roqsimon qo‘zg‘almas magnit o‘tkazgich 1 va 2 larning Ye- simon qo‘zg‘aluvchan magnit o‘tkazgich mos sterjenlari bilan hosil qilgan faol yuzalari; α , α_M – burchak koordinata va uning maksimal qiymati.

Agar E- simon qo‘zg‘aluvchan magnit o‘tkazgich mahkamlangan yarimo‘qlar 11,12 $\alpha = \alpha_{m1} \sin \omega_M t$ burama vibratsiya ta’sirida bo‘lsa, u holda o‘lchash chulg‘amlarida burama vibratsiya parametrlariga proporsional bo‘lgan quyidagi EYUK lar induksiylanadi.

$$e_{chiq.} = -(e_{chiq.}^{yu} - e_{chiq.}^{yu}) = w_{chiq.} \left(\frac{dQ_{\mu\alpha}^{yu}}{dt} - \frac{dQ_{\mu\alpha}^q}{dt} \right) = -$$

$$= - \frac{F_q \mu_0 ba \omega_M \alpha_{m1}}{2\delta_{ish}} \cos \omega_M t = E_m \sin(\omega_M t - 90^\circ). \quad (2.1)$$

Ushbu yangi IVO‘ statik xarakteristikasi chiziqli bo‘lib, uning yordamida burama vibratsiyalarni yuqori sezgirlikda o‘lchash mumkin.

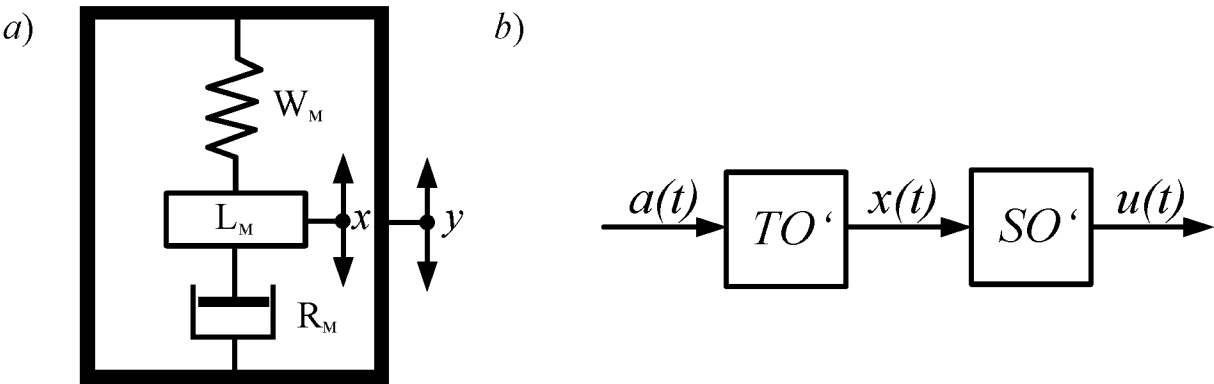
Yuqorida tavsifi keltirilgan IVO‘ larni amaliyotga joriy etish uchun ularning asosiy texnik xarakteristikalarini nazariy tadqiq etish talab etiladi. Buning uchun esa yangi IVO‘ larda yuz beradigan jarayonlarni analitik tavsiflovchi ularning

matematik modellarini ishlab chiqarish lozim boʻladi. Ushbu masalalarni keyingi paragraflarda koʻrib chiqamiz.

§2.2. Induksion vibratsiya oʻzgartirgichlaridagi asosiy munosabatlar

Dissertatsiyaning 1- bobida taʼkidlab oʻtilganidek, vibratsiya parametrlarini oʻlchash texnikalari orasida inersion (seysmik) rusumdagi VOʻ lar keng qoʻllaniladi. Shuning uchun biz ushbu rusumdagi VOʻ lardagi asosiy munosabatlarni koʻrib chiqamiz.

Umumiy holda inersion rusumdagi VOʻ vibratsiya yuz berayotgan obyektga qattiq mahkamlangan korpus, unga mexanik qattiqligi W_M boʻlgan elastik element orqali bogʻlangan va massasi L_M boʻlgan IE hamda IE erkin tebranishi soʻnishini taʼminlovchi va mexanik (ishqalanish) qarshiligi R_M boʻlgan dempferdan tashkil topgan boʻladi (2.8- rasm). VOʻ korpusiga siljishi y , tezligi $v = \frac{dy}{dt}$ va tezlanishi $a = \frac{d^2y}{dt^2}$ harakat beriladi. IE li VOʻ lar ishlash prinsipiga koʻra uning funksional sxemasi oʻzaro ketma-ket ulangan ikkita – tezlanish $a(t)$ ni siljish $x(t)$ ga oʻzgartiruvchi (TOʻ) va siljish $x(t)$ ni elektr signal $u(t)$ ga oʻzgartiruvchi (SOʻ) zvenolardan



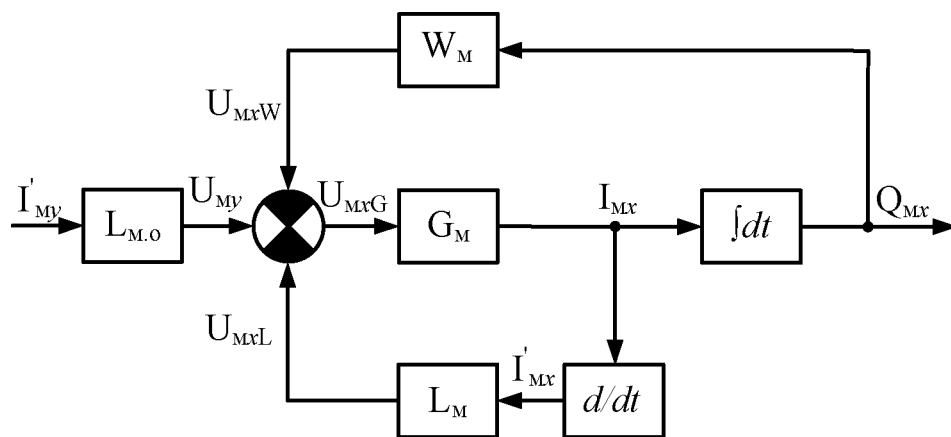
2.8- rasm. Inersion elementli VOʻ konstruktiv (a) va funksional (b) sxemalari:

TOʻ va SOʻ – mos ravishda tezlanish va siljish oʻzgartirgichlari tashkil topadi (2.8- rasm, b). Amaliyotda, odatda, TOʻ va SOʻ ayrim elementlari birlashtiriladi, masalan, ferromagnit oʻzak, qisqa tutashtirilgan halqa - elektromagnit ekran yoki chulgʻam bir vaqtning oʻzida inersion va qoʻzgʻaluvchan elementlar

vazifasini bajaradi. $a = \frac{d^2y}{dt^2}$ bo'lgan harakat berilganda, IE ning koprusga nisbatan siljishi siljish o'zgartirgichi yordamida VO' ning chiqish signaliga o'zgartiriladi.

IE li VO' lardagi asosiy munosabatlarni keltirib chiqarishdan avval bu mexanik tizimlar uchun o'rinli bo'lgan quyidagi cheklovlarni kiritamiz [45, 143-144 b.]:

IE ning harakati inersial sanoq sistemasida qaraladi va ushbu harakat faqat bitta, masalan, y o'qi bo'ylab yuz beradi; 2) VO' uchun tayanch jismning massasi juda katta bo'lib, VO' dagi tebranayotgan elementlarning tayanchga bo'lgan teskari ta'siri hisobga olinmaslik darajada kichik bo'ladi; 3) tayanch, IE va VO' elastik elementlarini mahkamlash uchun xizmat qiladigan detallar deformatsiyalanmaydi; 4) elastik osma uzunligi shunchalik qisqaki va uning tarqoq massasi inersion qattiq element massasiga nisbatan shunchalik kichikki hamda tebranishlar shunchalik sekinki, elastik osmaning deformatsiyasi amalda oniy vaqt ichida va bir tekis tarqaladi; 5) mavjud tebranishlar oralig'ida elastiklik kuchi elastik osma deformatsiyasiga proporsional; 6) mexanik tizimdagi qarshilik kuchi IE siljishining birinchi darajali tezligiga proporsional va dempferda o'z aksini topgan; 7) massa, elastiklik koeffitsiyenti va dempferlash koeffitsiyenti o'zgarmas parametrlar, ya'ni ular VO' ning ish jarayonida va, umuman olganda, vaqtga bog'liq emas; 8) sanoq sistemasining boshi IE tinch (VO' ga vibratsiya ta'sir etmagan) holati uchun uning og'irlik markazidan olinadi. Agar tinch holatda elastik osmaga IE og'irlik kuchi U_{mg} ta'sir etayotgan bo'lsa, u holda tizimda tebranish bo'lmaganda elastik osma "statik o'tirish" deb ataluvchi masofaga cho'ziladi. Bu holatda ham sanoq boshi inersion element og'irlik markazidan olinadi. IE li VO' lardagi asosiy munosabatlarni keltirib chiqarishda uning funksional sxemasidagi TO' parametrik struktura sxemasi(PSS)dan foydalanamiz (2.9- rasm). PSS usuli turli fizik tabiatli zanjirlar energiya-axborot modeliga asoslangan bo'lib, turli xil fizik tabiatli jarayonlar yuz berayotgan o'lchash o'zgartirgichlaridagi elementar o'zgartirgichlarni yaqqol tasavvur qilish va ularning asosiy xarakteristikalarini nazariy tahlil etishda juda qulay usul hisoblanadi [41,85].



2.9- rasm. IE li VO‘ dagi siljish o‘zgartirgichining parametrik struktura sxemasi

Tuzilgan PSS asosida VO‘ dagi SO‘ da yuz beradigan mexanik jarayonlarni ifodalovchi matematik modelni keltirib chiqarish uchun professor Zaripov M.F. tomonidan ishlab chiqilgan metodika bo‘yicha PSS dagi har bir elementar o‘zgartirgich uchun quyidagi tenglamalarni tuzamiz [6,11]:

$$Q_{Mx} = \int dt \cdot I_{Mx}, \quad (2.2) \quad I_{Mx} = G_M \cdot U_{MxG}, \quad (2.3)$$

$$U_{MxG} = U_{My} - U_{MxL} - U_{MxW}, \quad (2.4) \quad U_{My} = L_{M.O} \cdot I'_{My}, \quad (2.5)$$

$$U_{MxL} = L_M \cdot I'_{Mx}, \quad (2.6) \quad I'_{Mx} = \frac{d}{dx} \cdot I_{Mx}, \quad (2.7)$$

$$U_{MxW} = W_M \cdot Q_{Mx}, \quad (2.8)$$

bu yerda $Q_{Mx}, [m]$; $I_{Mx}, [m \cdot s^{-1}]$; $I'_{Mx}, [m \cdot s^{-2}]$; $G_M, [N^{-1} \cdot s^{-1} \cdot m]$; $L_M, [kg]$ va $W_M, [N \cdot m^{-1}]$ – inersion mexanik zanjirdagi mos ravishda siljish, tezlik, tezlanish, aktiv o‘tkazuvchanlik (ishqalanish qarshiligiga teskari bo‘lgan parametr), induktivlik (IE massasi) va qattqlik (elastik element bikrligi); $U_{My}, U_{MxG}, U_{MxL}, U_{MxW}, [N]$ – mos ravishda nazorat qilinayotgan obyekt tomonidan unda mahkamlangan VO‘ ga uzatilayotgan va inersion mexanik zanjirning G_M, L_M va W_M elementlarida pasayayotgan mexanik kuchlar; $I'_{My}, L_{M.O}$ – mos ravishda obyekt vibrotezlanishi va induktivligi (massasi).

(2.4) tenglamaga navbati bilan qolgan tenglamalarni qo‘yib tegishli o‘zgartirishlardan keyin va VO‘ kirishiga $I'_{My} = I'_{My.m} \sin \omega_m t$ konuniyat bilan o‘zgaruvchi vibrotezlanish berilishini inobatga olib, quyidagi ikkinchi tartibli o‘zgarmas koeffitsiyentli bir jinsli bo‘lmagan differensial tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{d^2 Q_{Mx}}{dt^2} + 2\delta_M \frac{dQ_{Mx}}{dt} + \omega_0^2 Q_{Mx} = A_m \sin \omega_M t, \quad (2.9)$$

bu yerda $\delta_M = \frac{R_M}{2L_M}$, $[s^{-1}]$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_M C_M}}$, $[s^{-1}]$ - inersion mexanik zanjirdagi tebranishlarning soʻnish koeffitsiyenti va xususiy burchak chastotasi; $A_m = \frac{L_{M.o}}{L_M} I'_{My.m}$, $[m \cdot s^{-2}]$; ω_M – vibrotezlanish burchak chastotasi, $[s^{-1}]$.

(2.9) differensial tenglama turli fizik tabiatli zanjirlar tebranish konturlari uchun oʻrinli boʻlib, uning yechilishi ketma-ketligi “Oliy matematika” kursida, elektr va magnit zanjirlari uchun “Elektrotexnikaning nazariy asoslari” kursida, mexanik zanjirlar uchun “Nazariy mexanika” kursida, boshqa fizik tabiatli zanjirlar uchun esa tegishli fan kurslarida batafsil berilgan boʻlib [23, 315-316 b.; 45, 169 b.], biz quyida uning natijaviy yechimni keltirish bilan cheklanamiz:

$$Q_{Mx} = e^{-\delta_M t} \left(A_1 e^{\sqrt{\delta_M^2 - \omega_0^2} t} + A_2 e^{-\sqrt{\delta_M^2 - \omega_0^2} t} \right) + Q_{Mx.m} \sin(\omega_M t - \varphi), \quad (2.10)$$

bu yerda A_1, A_2 – qiymatlari chegaraviy shartlar asosida topiladigan integrallash doimiylari, $[m]$; $Q_{Mx.m} = A_m \left[\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_M^2)^2 + 4\delta_M^2 \omega_M^2} \right]^{-1}$ – inersion element vibrosiljishining amplituda qiymati; $\varphi = \arctg[2\delta_M \omega_M (\omega_0^2 - \omega_M^2)^{-1}]$, $[degri]$ – VOʻ kirishiga berilayotgan vibrotezlanish va uning IE vibrosiljishi oʻrtasidagi faza siljish burchagi; $\omega_{erk.} = \sqrt{\delta_M^2 - \omega_0^2}$ – mexanik zanjirdagi erkin tebranishlar chastotasi. (2.10) dagi birinchi qoʻshiluvchi tebranishlarning erkin, ikkinchi qoʻshiluvchi esa uning majburiy tashkil etuvchilari hisoblanadi.

(2.10) va undagi $Q_{Mx.m}$ hamda φ ifodalarining tahlili shuni koʻrsatadiki, VOʻ mexanik zanjiridagi majburiy tebranishlar uning kirishiga berilayotgan vibrotezlanish chastotasiga teng boʻlgan chastota bilan tebranadi, uning amplitudasi boshlangʻich shartlar va vaqtga bogʻliq emas, maksimal qiymati esa $\omega_M = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta_M^2}$ da erishadi, rezonans rejimi ($\omega_0 = \omega_M$) dan tashqari ish rejimlarida inersion va dempferli VOʻ kirishiga berilayotgan vibrotezlanish va uning IE vibrosiljishi oʻrtasida doimo fazalar siljish burchagi mavjud boʻladi.

Ushbu dissertatsiyani bajarish mobaynida ishlab chiqilgan IE li IVO‘ larda elastik element vazifasini magnit maydoni yordamida hosil qilingan mexanik kuchlar bajarganligi bois ushbu IVO‘ laridagi analitik munosabatlar yuqorida keltirilgan tenglamalardan birmuncha farq qiladi. Shuning uchun keyingi paragrafda ushbu munosabatlarga to‘xtalamiz.

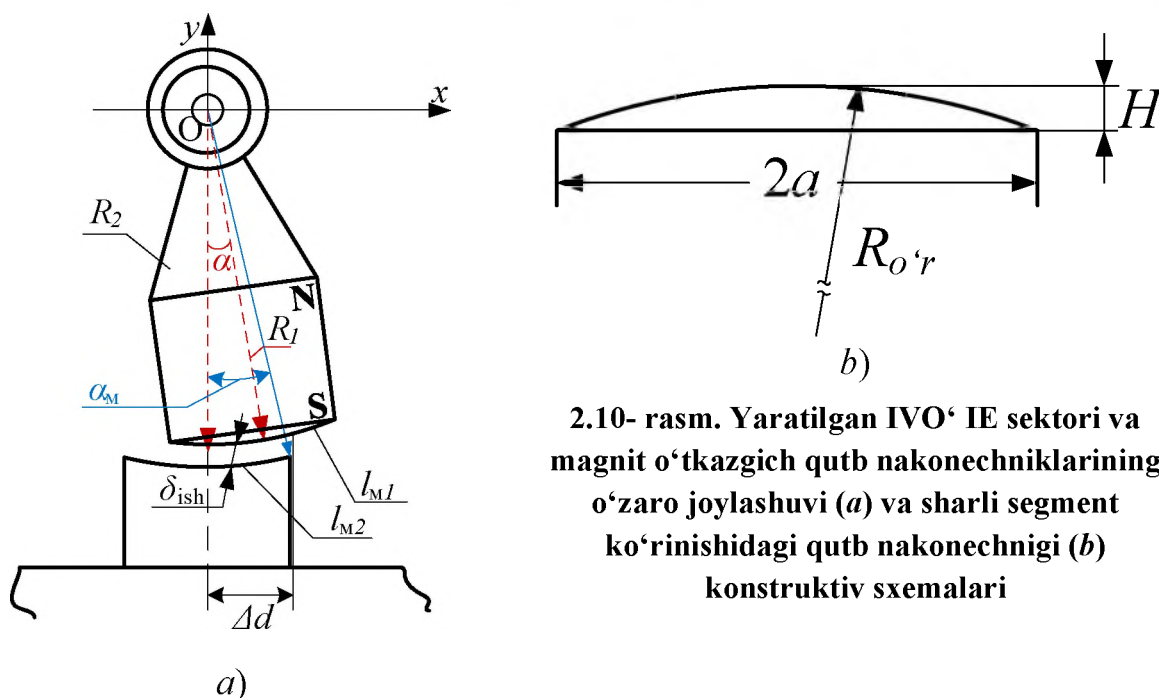
§2.3. Yangi induksion vibratsiya o‘zgartirgichlardagi asosiy munosabatlar

Yaratilgan IVO‘ [60] da (2.10- rasm) qo‘zg‘aluvchan IE har bir sektori sharli segment ko‘rinishidagi qutb nakonechnigi bilan uning qarshisida IE ga nisbatan qo‘zg‘almas bo‘lgan magnit o‘tkazgich sharli segment ko‘rinishidagi qutb nakonechnigi havo oralig‘i δ_{ish} ning magnit qarshiligi IVO‘ ga berilgan vibratsiya tufayli qo‘zg‘aluvchan IE sektorining ma‘lum burchakka burilishi natijasida qutb nakonechniklarining o‘zaro faol yuzasi S_{faol} o‘zgarishi hisobiga o‘zgaradi.

Yaratilgan IVO‘ ushbu faol yuza S_{faol} ning IE burilish burchagi α ga bog‘liqlik munosabatini aniqlaymiz (2.10- rasm, a).

Ma‘lumki [23, 189 b.], sharli segmentning qavariq yuzasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi (2.10- rasm, b):

$$S_{shar.segm.} = 2\pi R_{orr} H = \pi(H^2 + a^2). \quad (2.11)$$



2.10- rasm. Yaratilgan IVO‘ IE sektori va magnit o‘tkazgich qutb nakonechniklarining o‘zaro joylashuvi (a) va sharli segment ko‘rinishidagi qutb nakonechnigi (b) konstruktiv sxemalari

H/R_{orr} nisbat (bu yerda H - sharli segment balandligi; $R_{orr} = 0,5(R_1 + R_2)$ – IE sharsimon asosining markazi bo‘lgan O nuqtadan sharli segment ko‘rinishidagi qutb nakonechniklari radiuslari R_1 va R_2 ning o‘rtacha qiymati) juda kichik(yaratilgan IVO‘ yasalgan namunasida bu nisbat $H/R_{yp} = 1,33 \text{ mm}/55,5 \text{ mm} = 0,024$ ga teng)ligini inobatga olib, hisoblashni osonlashtirish maqsadida sharli segmentning qavariq yuzasini r radiusli doira bilan almashtiramiz, ya’ni:

$$S_{shar.segm.} = \pi(H^2 + a^2) = \pi r^2. \quad (2.12)$$

IVO‘ tinch, ya’ni u vibratsiya ta’sirida bo‘lmagan, holatda qutb nakonechniklarining faol yuzasi maksimal, ya’ni $S_{faol.max} = \pi r^2$, qiymatga teng bo‘ladi.

IVO‘ chiziqli tezlanish ta’sirida bo‘lganda IE o‘zining tinch turgan holatidan bir tomonga, masalan, chap tomonga α burchakka buriladi (2.10- rasm, a, 2.11- rasmdagi chizmalar). Bunda ikkala doiraning bir-birini o‘zaro qoplagan faol yuzasi bir xil ikkita (birinchi segment AB kesma va ACB yoy, ikkinchi segment esa AB kesma va AFB yoy bilan chegaralangan) segmentdan tashkil topgan bo‘lib (bu yerda F va C – tegishli doiralar markazlari), ularning umumiy yuzasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi [23, 185 b.]:

$$S_{faol} = r^2 \cdot \left(\frac{\pi\beta}{180} - \sin\beta \right). \quad (2.13)$$

Aytib o‘tish joizki, $\beta = 180^\circ$, ya’ni $AB = 2r$, $h = r$ bo‘lganda $S_{faol.} = S_{faol.max} = \pi r^2$ bo‘ladi.

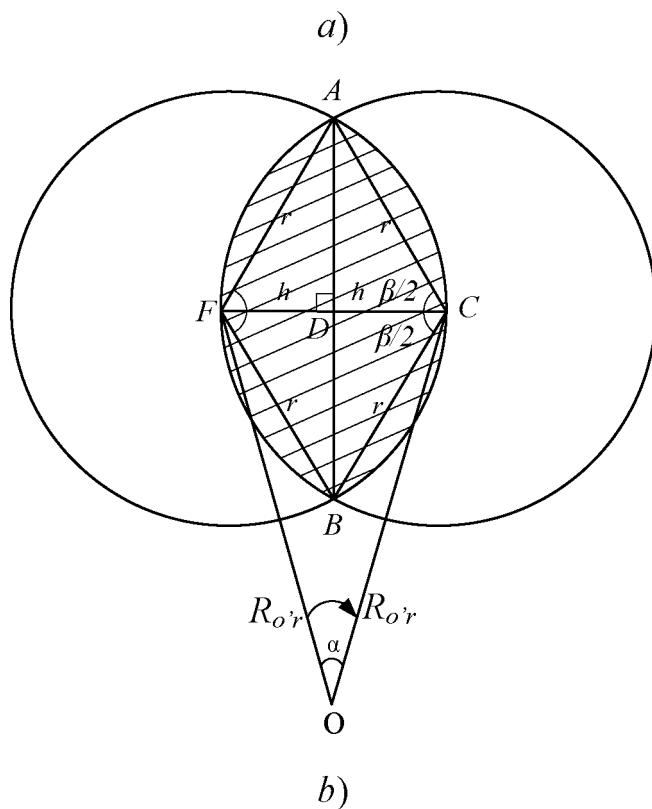
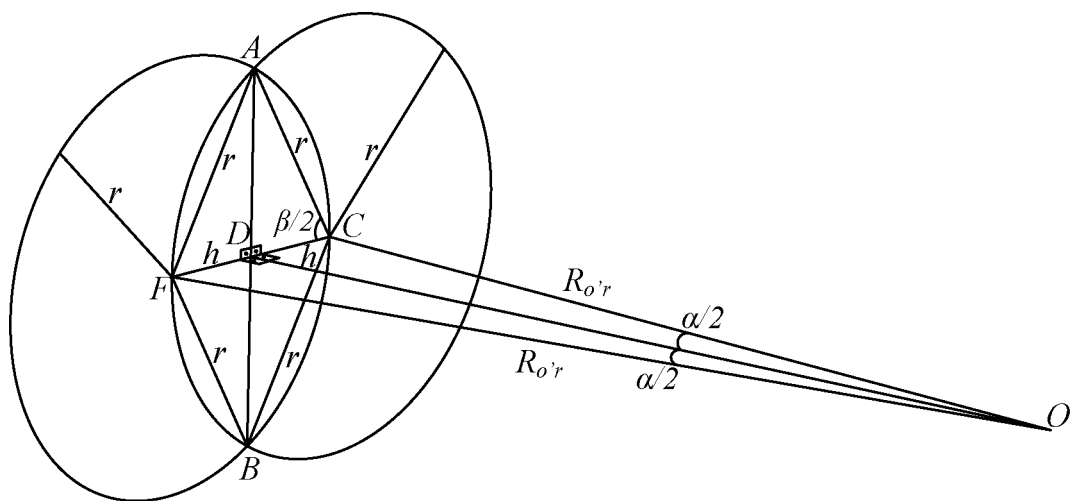
2.11- rasmdagi chizmalardan ko‘rinib turibdiki, $AD = DB$, $\angle ACD = \angle DCB = \angle AFD = \angle DFB$, $AB \perp FC$.

ΔACD dan $\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{h}{r}$, ΔCOD dan esa $\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{h}{R_{orr}}$ munosabatlarni inobatga olib, quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{R_{orr}}{r} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (2.14)$$

(2.14) dan β burchakning quyidagi qiymatini topamiz:

$$\beta = 2 \arccos \left[\frac{R_o r}{r} \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]. \quad (2.15)$$



2.11- rasm. Ikkita doirasimon qutb nakonechniklarining o‘zaro faol yuzasini hisoblashga oid chizmalar

$$\sin(\arccos x) = \sqrt{1-x^2}; \quad \sin 2x = 2\sin x \cos x; \quad \cos(\arccos x) = x; \quad \sin \frac{x}{2} =$$

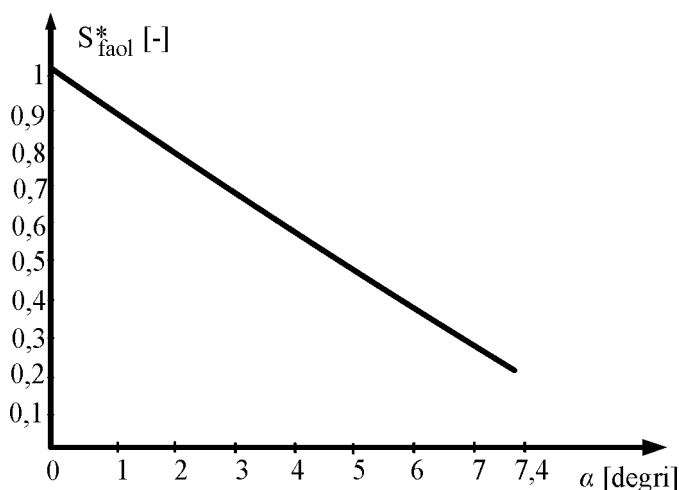
$\pm \sqrt{\frac{1-\cos x}{2}}$ ayniyatlarni inobatga olib, (2.15) dan quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \sin \left\{ 2 \arccos \left[\frac{R_{orr}}{r} \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right] \right\} = \\ &= 2 \sin \left[\arccos \frac{R_{orr}}{r} \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right] \cdot \cos \left[\arccos \frac{R_{orr}}{r} \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right] = \\ &= 2 \sin \left[\arccos \frac{R_{orr}}{r} \cdot \sqrt{\frac{1-\cos \alpha}{2}} \right] \cdot \cos \left[\arccos \frac{R_{orr}}{r} \cdot \sqrt{\frac{1-\cos \alpha}{2}} \right] = \\ &= 2 \sqrt{1 - \frac{R_{orr}^2}{r^2} \cdot \frac{(1-\cos \alpha)}{2}} \cdot \frac{R_{orr}}{r} \cdot \sqrt{\frac{1-\cos \alpha}{2}}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

(2.15) va (2.16) larni (2.13) ga qo'yib, qutb nakonechniklarining faol yuzasini aniqlash imkonini beruvchi quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$S_{faol} = r^2 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot \arccos \left[\frac{R_{orr}}{r} \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]}{180} - \frac{2R_{orr}}{r} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_{orr}^2}{r^2} \cdot \frac{(1-\cos \alpha)}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1-\cos \alpha}{2}} \right). \quad (2.17)$$

2.12- rasmda qutb nakonechniklarining quyidagi geometrik o'lchamlari $R_1 = 30 \text{ mm}$; $R_2 = 30,5 \text{ mm}$; $\delta_{ish} = 1 \text{ mm}$; $R_{orr} = 30,5 \text{ mm}$; $H = 0,32 \text{ mm}$; $a = 12 \text{ mm}$; $l_{m1} = 24,193 \text{ mm}$; $l_{m1} = 24,63 \text{ mm}$ uchun $S_{faol}^* = \frac{S_{faol}}{S_{faol,max}} = f(\alpha)$ funksiya grafigi keltirilgan bo'lib, uning tahlili shuni ko'rsatadiki, α burchakning ortib borishi bilan S_{faol} yuza amalda chiziqli kamayib boradi.



2.12- расм. $S_{faol}^* = f(\alpha)$ funksiya grafigi.

(2.17) funksiya amaliy hisoblashlarda noqulay hisoblanadi. Shuning uchun amaliy hisoblashlarda foydalanishda qulay ko‘rinishga keltirish maqsadida ushbu funksiyani Makloren qatoriga yoyib va uning dastlabki ikkita hadi bilan cheklanamiz. Buning uchun (2.17) funksiyaning birinchi tartibli hosilasining quyidagi ifodasidan foydalanamiz:

$$\begin{aligned}
 S'_{faol} &= \left\{ \frac{\pi R_{or}^2 \cdot \arccos \left[\frac{R_{or}}{r} \cdot \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]}{90} \right\}' - \left\{ 2R_{or}r \cdot \sqrt{1 - \frac{R_{or}^2}{r^2} \cdot \frac{(1-\cos\alpha)}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}} \right\}' \\
 &= \left[\frac{\pi r^2}{90} \cdot \frac{-\frac{R_{or}}{2r} \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{\sqrt{1 - \frac{R_{or}^2}{r^2} \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}} \right] d\alpha - \left[2R_{or}r \sqrt{1 - \frac{R_{or}^2}{r^2} \cdot \frac{(1-\cos\alpha)}{2}} \cdot \frac{\sin\alpha}{4\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}}} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{R_{or}r}{2} \cdot \sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}} \cdot \frac{R_{or}^2 \cdot \sin\alpha}{\sqrt{\frac{R_{or}^2(\cos\alpha-1)}{2} + r^2}} \right] d\alpha. \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

$S_{faol}(\alpha = 0)$ va $S'_{faol}(\alpha = 0)$ qiymatlarni Makloren qatorining dastlabki ikkita hadiga qo‘yib, quyidagi chiziqli funksiyani hosil qilamiz:

$$S_{faol} = \pi r^2 - \frac{\pi r R_{or}}{180^\circ} \alpha. \quad (2.19)$$

Endi IE burilishi burchagini IVO‘ kirishiga berilayotgan tezlanishga bog‘lovchi ifodani hosil qilamiz. Buning uchun 2.10- rasm, a dan quyidagi munosabatlarni yozamiz: $p = R_1$; $n = R_1 \cdot \cos\alpha$; $\Delta d = R_1 \sin\alpha$; $F = ma$;

$$\begin{aligned}
 E_p &= mgh = mg(p - n) = mg(R_1 - R_1 \cos\alpha) = mgR_1(1 - \cos\alpha); & A &= F \cdot \\
 \Delta d &= m \cdot a \cdot \Delta d = maR_1 \cdot \sin\alpha; & A &= E_p; & a &= g \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; & \alpha &= 2 \arctg \frac{a}{g}. & \alpha_M &= 7^\circ
 \end{aligned}$$

bo‘lgani uchun $\alpha \approx \frac{2a}{g}$, deb olishimiz mumkin bo‘ladi. Bu cheklov natijasida yuzaga keladigan xatolikni quyidagicha baholaymiz: $a = g \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 9,8 \cdot \operatorname{tg} \frac{7^\circ}{2} = 0,5994$; $\alpha \approx \frac{2a}{g}$; $a = \frac{\alpha g}{2} = \frac{0,122 \cdot 9,8}{2} = 0,5978$. Demak, qabul qilingan cheklovdan yuzaga keladigan xatolik 0,3% dan oshmaydi.

Shunday qilib, yaratilgan IVO‘ da qo‘zg‘aluvchan IE har bir sektori sharli segment ko‘rinishidagi qutb nakonechnigi bilan qarshisidagi IE ga nisbatan qo‘zg‘almas bo‘lgan magnit o‘tkazgich sharli segment ko‘rinishidagi qutb nakonechnigining IVO‘ ga berilgan vibratsiya tufayli qo‘zg‘aluvchan IE sektorining

ma'lum burchakka burilishi natijasida hosil bo'lgan o'zaro faol yuzasi S_{faol} ni hisoblash imkonini beruvchi analitik ifoda hosil qilindi. Bu ifodadan IVO' magnit zanjirini hisoblashda foydalaniladi.

Endi yaratilgan IVO' ishlashi paytida uning IE sektorlariga ta'sir etuvchi kuchlar va ushbu kuchlarning IE tekisligiga perpendikulyar bo'lgan o'qda hosil qilgan kuch momentlari analitik ifodalarini aniqlaymiz. Bu ifodalarni IVO' ning 2.12- rasmda keltirilgan (IVO' korpusi vertikal joylashtirilgan) ishchi holati uchun aniqlaymiz. IVO' korpusi vibratsion tezlanish ta'sirida bo'lganda tebranishning birinchi yarim davrida IE ning joylashish holati 2.13- rasmdagidek bo'lsin. Bunda IE ning har bir sektori quyidagi kuchlar ta'sirida bo'ladi:

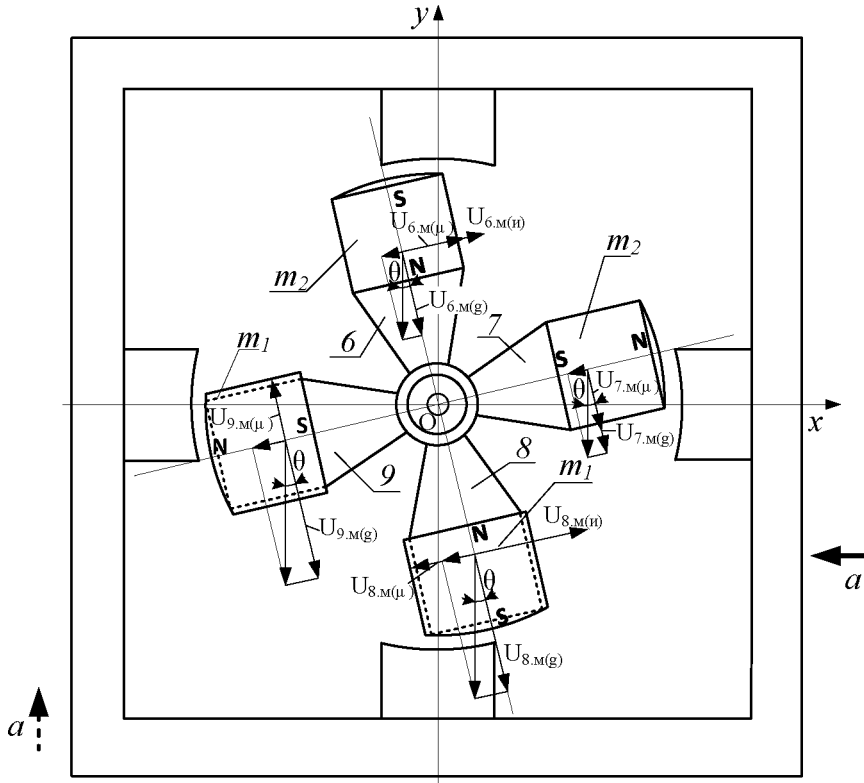
sektor 6: 1) $U_{M(\mu)} = -$ ishchi havo oralig'idagi magnit maydoni hosil qilgan va har doim IE tegishli sektorini uning neytral holatiga qaytarish tomonga yo'nalgan mexanik kuch; 2) $U_{M(i)} = m_2 a$ – chiziqli tezlanish a yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan inersiya kuchi; 3) $U_{M(g)} = m_2 g \sin \theta$ – yo'nalishi $U_{M(\mu)}$ va $U_{M(i)}$ kuchlar yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lgan og'irlik kuchining tashkil etuvchisi;

sektor 7: 1) $U_{M(\mu)}$ – ishchi havo oralig'idagi magnit maydoni hosil qilgan mexanik kuch; 2) $U_{M(g)} = m_2 g \cos \theta$ – yo'nalishi $U_{M(\mu)}$ kuchga mos bo'lgan og'irlik kuchining tashkil etuvchisi;

sektor 8: 1) $U_{M(\mu)} = -$ ishchi havo oralig'idagi magnit maydoni hosil qilgan mexanik kuch; ishchi havo oralig'idagi magnit maydoni hosil qilgan mexanik kuch;

2) $U_{M(i)} = m_1 a$ – chiziqli tezlanish a yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan inersiya kuchi; 3) $U_{M(g)} = m_1 g \sin \theta$ – yo'nalishi $U_{M(\mu)}$ ga mos, $U_{M(i)}$ kuch yo'nalishiga esa qarama-qarshi bo'lgan og'irlik kuchining tashkil etuvchisi;

sektor 9: 1) $U_{M(\mu)}$ – ishchi havo oralig'idagi magnit maydoni hosil qilgan mexanik kuch; 2) $U_{M(g)} = m_1 g \cos \theta$ – yo'nalishi $U_{M(\mu)}$ kuchga qarama-qarshi bo'lgan og'irlik kuchining tashkil etuvchisi (2.14- rasm).



2.13- rasm. Korpusi vertikal joylashtirilgan va ox o'qi bo'ylab vibratsiya ta'sirida bo'lgan yaratilgan IVO' ning IE sektorlariga ta'sir etuvchi kuchlar analitik ifodalarini aniqlash uchun konstruktiv sxema

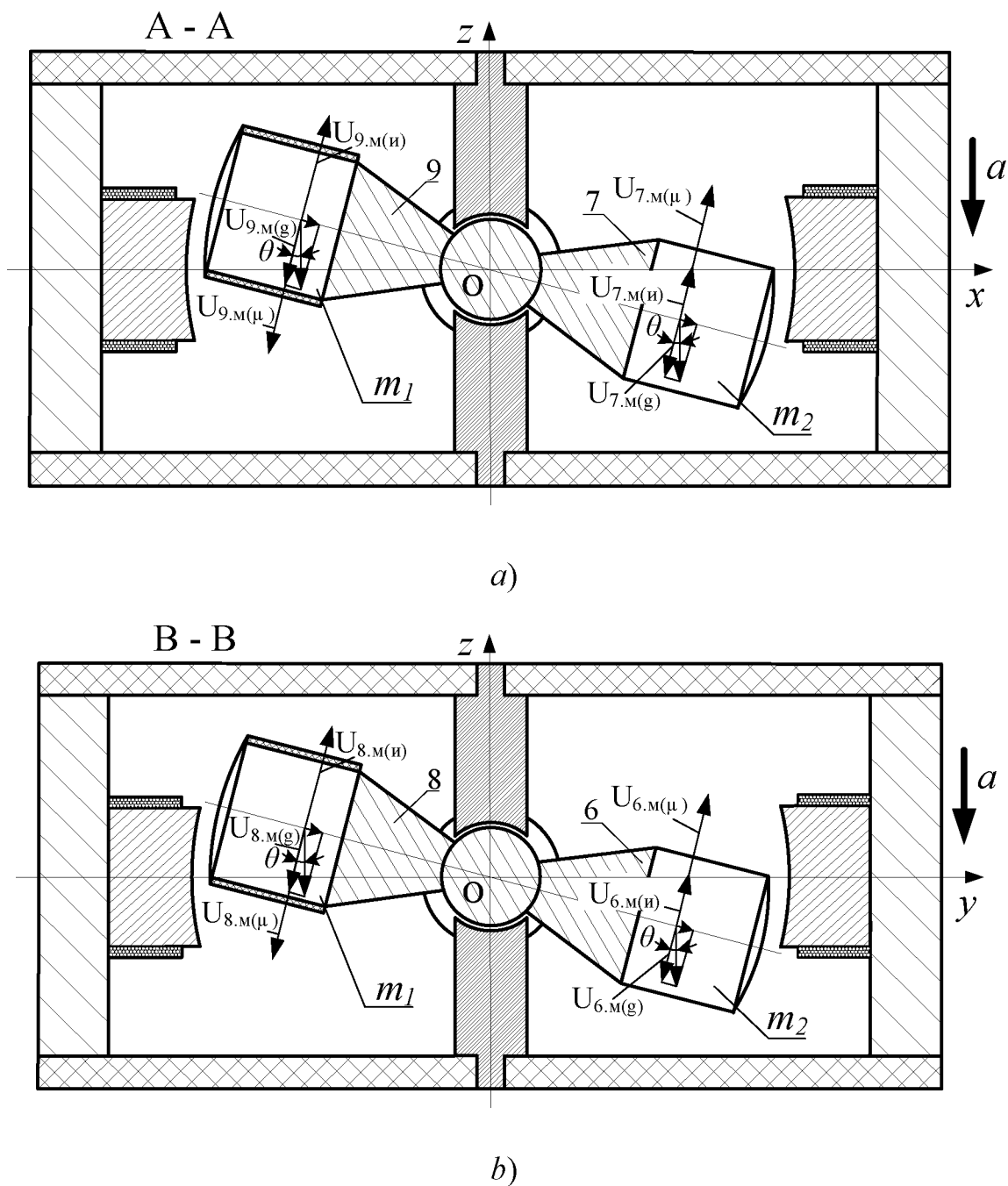
Ushbu kuchlarning IE tekisligiga perpendikulyar bo'lgan o'qda hosil qilgan kuch momentlari uchun quyidagi muvozanat tenglamani yozish mumkin:

$$(\bar{U}_{6.M(\mu)} + \bar{U}_{6.M(i)} + \bar{U}_{6.M(g)})l_{6.M} + (\bar{U}_{7.M(\mu)} + \bar{U}_{7.M(g)})l_{7.M} + (\bar{U}_{8.M(\mu)} - \bar{U}_{8.M(i)} + \bar{U}_{8.M(g)})l_{8.M} + (\bar{U}_{9.M(\mu)} - \bar{U}_{9.M(g)})l_{9.M} = 0, \quad (2.20)$$

bu yerda $l_{6.M} \div l_{9.M}$ – IE markazidan uning tegishli sektorining og'irlik markazigacha bo'lgan masofa, bunda $l_{6.M} = l_{7.M}$ ba $l_{8.M} = l_{9.M}$ tengliklar o'rinli.

IVO' korpusi gorizontall joylashtirilgan va u oz o'qi bo'ylab vibratsiya ta'sirida bo'lgan ishchi holat uchun (2.14- rasm) (2.19) muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$(\bar{U}_{6.M(\mu)} + \bar{U}_{6.M(i)} - \bar{U}_{6.M(g)})l_{6.M} + (\bar{U}_{7.M(\mu)} + \bar{U}_{6.M(i)} - \bar{U}_{7.M(g)})l_{7.M} + (\bar{U}_{8.M(\mu)} - \bar{U}_{8.M(i)} + \bar{U}_{8.M(g)})l_{8.M} + (\bar{U}_{9.M(\mu)} - \bar{U}_{8.M(i)} + \bar{U}_{9.M(g)})l_{9.M} = 0, \quad (2.21)$$

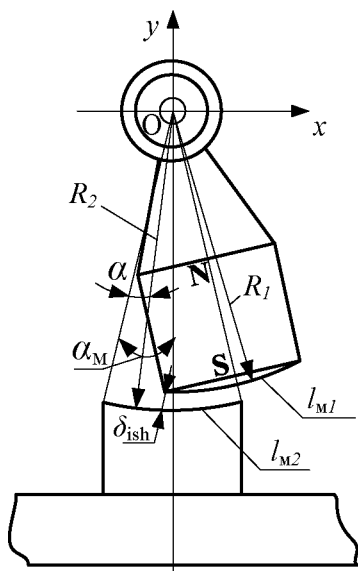


2.14- rasm. Korpusi gorizontaal joylashtirilgan va oz o‘qi bo‘ylab vibratsiya ta’sirida bo‘lgan yaratilgan IVO‘ ning IE sektorlariga ta’sir etuvchi kuchlar analitik ifodalarini aniqlash uchun konstruktiv sxema:

a – IE 7 va 9 sektorlarini A-A kesimda ko‘rinishi; *b* – IE 6 va 8 sektorlarini B-B kesimda ko‘rinishi

Endi yaratilgan IVO‘ ishchi havo oraliqlarida to‘plangan magnit maydoni energiyasining IE sektorlarini vibratsiya ta’sirida siljishi natijasida o‘zgarishi hisobiga hosil bo‘ladigan mexanik kuch ifodasini magnit tizimi magnityumshoq magnit o‘tkazgichlari magnit qarshiliklarini inobatga olmagan holda aniqlaymiz.

Buning uchun avval ishchi havo oraliq'ida to'plangan magnit maydoni energiyasi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz (2.15- rasm):



2.15- rasm. Yaratilgan IVO' ishchi havo oraliqlarida to'plangan magnit maydoni energiyasining IE sektorlarini vibratsiya ta'sirida siljishi natijasida o'zgarishi hisobiga hosil bo'ladigan mexanik kuch ifodasini aniqlashga oid chizma.

$$W_{\mu} = \frac{1}{2} B_{\delta_{ish}} H_{\delta_{ish}} V_{\delta_{ish}} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{F_q}{\delta_{ish}} \cdot \frac{F_q}{\delta_{ish}} (l_{M.yp} - x) b \delta_{ish} =$$

$$= \frac{1}{2} \mu_0 \frac{F_q^2 b \pi R_{orr}}{\delta_{ish} 180^0} (\alpha_M - \alpha), \quad (2.22)$$

bu yerda $B_{\delta_{ish}} = \mu_0 \frac{F_q}{\delta_{ish}}, [T]$; $H_{\delta_{ish}} = F_q / \delta_{ish}, [A \cdot m^{-1}]$ – ishchi havo oraliq'idagi magnit maydonining mos ravishda induksiyasi va kuchlanganligi; F_q – magnit zanjiridagi doimiy magnit MYUK, $[A]$; $V_{\delta_{ish}} = (l_{M.orr} - x) b \delta_{ish} = \frac{h \pi R_{orr}}{180^0} \delta_{ish} (\alpha_M - \alpha), [m^3]$ – mos ravishda faol ishchi havo oraliq'idagi magnit maydonining induksiyasi, kuchlanganligi va ushbu oraliq hajmi; $l_{M.orr} = 0,5(l_{M1} + l_{M2})$. b , δ_{ish} va x geometrik o'lchamlar 2.15- rasmdagi chizmada ko'rsatilgan.

IVO' ishchi havo oraliqlarida to'plangan magnit maydoni energiyasining IE sektorlarini vibratsiya ta'sirida ma'lum burchakka burilishi natijasida o'zgarishi hisobiga hosil bo'ladigan mexanik kuch ifodasi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{M(\mu)} = \frac{dW_{\mu}}{d\alpha} = -\frac{1}{2} \mu_0 \frac{F_q^2 b \pi R_{orr}}{\delta_{ish} 180^0}. \quad (2.23)$$

(2.23) ifodadagi minus ishora mexanik kuch yo'nalishi IE burilish burchagi yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

(2.20), (2.21) va (2.23) ifodalardan yaratilgan IVO‘ lar xarakteristikalarini nazariy tadqiq etishda foydalaniladi.

§2.4. Yaratilgan induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining matematik modellari

Ma’lumki, IVO‘ larining metrologik xarakteristikalarini ulardagi magnit maydonlarining holatiga ko‘p jihatdan bog‘liq bo‘ladi. Xususan, yaratilgan IVO‘ larining asosiy texnik (statik va dinamik) xarakteristikalarini ular ishchi havo oraliqlaridagi magnit oqimlarini IE koordinatasiga bog‘liqligini belgilovchi analitik ifodalarni, ya’ni boshqacha qilib aytganda, IVO‘ lar magnit zanjirlarining matematik modellarini ushbu o‘zgartirgichlar magnit tizimlarida yuz beradigan elektromagnit jarayonlarni qay darajada to‘g‘ri aks ettirishi juda muhim hisoblanadi.

IVO‘ lari, shu jumladan, yaratilgan IVO‘ lari magnit zanjirlari ba’zi bir o‘ziga xos xususiyatlarga ega. Chunonchi, IVO‘ larining magnit zanjirlarida ishchi magnit oqimlari, odatda, doimiy magnitlar yoki qo‘zg‘atish chulg‘amlari o‘zgarmas tok manbaiga ulangan elektromagnitlar yordamida hosil qilinadi [54, 12 b.]. Natijada ushbu turkum IVO‘ larida magnit oqimlari vibratsion tebranishlar tufayli modulyatsiyalanadi, ya’ni IVO‘ lar magnit zanjirlarida chastotasi vibratsiya tebranishlari chastotasiga teng bo‘lgan pulsatsiyalanuvchi magnit oqimlari hosil bo‘ladi. Buning oqibatida IVO‘ lari magnit zanjirlarining ferromagnit materialdan yasalgan qismida uyurmaviy toklar paydo bo‘ladi [37, 352 b.; 87, 354 b.]. Bu holat IVO‘ lar kirishiga berilayotgan vibratsiya tebranishlari chastotasi juda katta bo‘lganda IVO‘ lari magnit zanjirlarini hisoblash jarayonida zanjir qarshiligining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarini inobatga olishni taqazo etadi.

Yaratilgan IVO‘ lar magnit zanjirlarining matematik modellarini ishlab chiqishga kirishishdan avval ushbu tur magnit zanjirlari uchun o‘rinli bo‘lgan quyidagi cheklovlarni kiritamiz [7]: 1) magnit o‘tkazgich materialdan yasalgan IE dagi har bir sektor o‘zaro bir xil geometrik o‘lchamlarga ega, magnit xossalari bir xil bo‘lgan magnityumshoq (magnit o‘tkazgich vazifasini bajaruvchi) va magnit qattiq (doimiy magnit vazifasini bajaruvchi) materiallardan yasalgan; 2) O-simon

tashqi magnit o'tkazgichning gorizontal va vertikal o'qlar bilan ajratilgan chorak qismlari o'zaro bir xil geometrik o'lchamlarga ega va magnit xossalari bir xil bo'lgan magnityumshoq materialdan yasalgan; 3) magnit zanjirining to'rt juft qutb nakonechniklari va ular orasidagi yoysimon ishchi havo oraliqlari o'zaro bir xil geometrik o'lchamlarga ega va magnit xossalari bir xil bo'lgan magnityumshoq materialdan yasalgan; 4) doimiy magnitlarning tegishli halqasimon ishchi havo oraliqlari uchun $(\delta_{ish}/R_{orr}) \ll 1$ (2.15- va 2.16- rasmlarga qarang!) munosabat o'rinli bo'lganligi sababli ushbu havo oraliqlaridagi magnit maydoninning kuch chiziqlari o'zaro parallel; 5) magnit zanjiridagi magnityumshoq materiallar asosiy magnitlanish egri chizig'ining to'g'ri chiziqli qismida ishlaydi, ya'ni magnit zanjiri chiziqli (magnityumshoq materialdan yasalgan magnit o'tkazgich magnit xossalari undagi magnit maydoni induksiyasining qiymatiga bog'liq bo'lmagan) zanjirlar turkumiga kiradi; 6) magnit o'tkazgichlar yon tomonlari va qirralari orqali birlashayotgan magnit oqimlari nolga teng, ya'ni ularning qiymatlari ishchi magnit oqimlarining qiymatlariga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli hisobga olinmaydi. Ushbu cheklovlar hisoblash aniqligini uncha pasaytirmasa-da, ammo hisoblashlarni ancha osonlashtiradi [54, 57-59 b.].

Ta'kidlab o'tish joizki, magnit zanjirlarini hisoblashda, odatda, ularning elektr zanjirlariga o'xshash (analog) bo'lgan almashlash sxemalaridan keng foydalaniladi [87,335-336 b.]. Bunda klassik analogiyaga ko'ra magnit zanjiridagi magnit yurituvchi kuch (MYUK) elektr zanjiridagi EYUK ga, magnit zanjirining bir qismida pasaygan magnit kuchlanish elektr zanjirining qismi(elementi)da pasaygan elektr kuchlanishga, magnit oqimi elektr tokiga, magnit zanjiri bir qismining magnit qarshiligi elektr zanjirining qismi(elementi) aktiv qarshiligiga, o'zgaruvchan magnit oqimini magnit zanjiri bir qismi hosil qilgan uyurmaviy toklar hisobidan yuzaga keladigan magnit qarshiligini elektr zanjirining reaktiv qarshiligiga o'xshash, deb qabul qilinadi.

Ammo ushbu klassik analogiya (o'xshashlik) ayrim kamchiliklarga ega. Masalan, elektr zanjirida kuchlanish va tok ko'paytmasi quvvat birligida o'lchanadi,

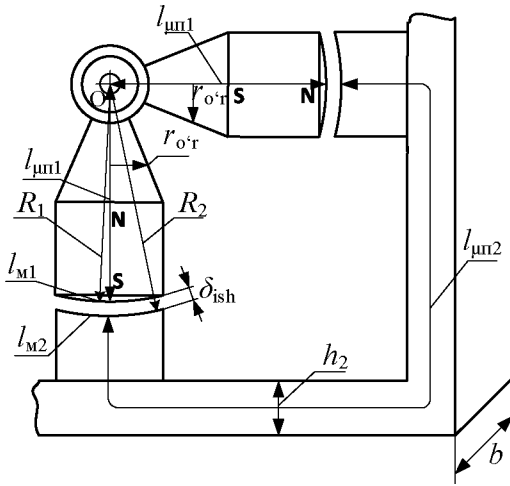
magnit zanjirida esa bu mezon bajarilmaydi, elektr zanjiridagi aktiv qarshilikdan tok o'tganda unda issiqlik ajralib chiqadi, magnit zanjirida bu xossa ham bajarilmaydi va h.k.

Klassik analogiyadagi yuqorida etilgan va boshqa kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida professor Zaripov M.F. tomonidan turli fizik tabiatli (elektr, mexanik, magnit, gidravlik va h.k.) zanjirlar uchun birday o'rinli bo'lgan energiya-axborot modeli ishlab chiqilgan [41; 67, 36-62 b.]. Unga ko'ra magnit zanjiridagi magnit oqimi ($\Phi = Q_\mu$) elektr zanjiridagi zaryad (Q_ϵ)ga, magnit oqimining vaqt bo'yicha hosilasi ($\frac{d\Phi}{dt} = \frac{dQ_\mu}{dt} = I_\mu$) elektr toki ($\frac{dQ_\epsilon}{dt} = I_\epsilon$)ga, magnit zanjirida o'zgaruvchan magnit oqimi hosil qilgan uyurmaviy toklar yo'lidagi magnit materialining aktiv o'tkazuvchanligi ($R_\mu = G_{e.uyur.}$) elektr zanjirining aktiv qarshiligi (R_ϵ)ga, magnit zanjirida o'zgaruvchan magnit oqimi hosil qilgan uyurmaviy toklar yo'lidagi magnit materialining elektr sig'imi ($L_\mu = C_{e.uyur.}$) elektr zanjirining induktivligi (L_ϵ) ga va, nihoyat, klassik analogiyada magnit zanjiri bir qismining magnit qarshiligi deb hisoblangan parametr elektr zanjirining sig'imiga o'xshash, deb qabul qilingan. Ushbu analogiyaga ko'ra elektr zanjiri uchun bajariladigan barcha xossalar (yangi analogiyada bu mezonlar, deb ataladi) boshqa fizik tabiatli zanjirlarda, shu jumladan, magnit zanjirida ham bajariladi. Yaratilgan IVO' (2.1- rasm) magnit zanjiri chorak qismining kerakli geometrik o'lchamlari qayd etilgan konstruktiv sxemasi 2.16- rasmda, yuqorida qabul qilingan cheklovlar va energiya-axborot modelini inobatga olgan holda tuzilgan almashlash sxemasi esa 2.17- rasmda keltirilgan.

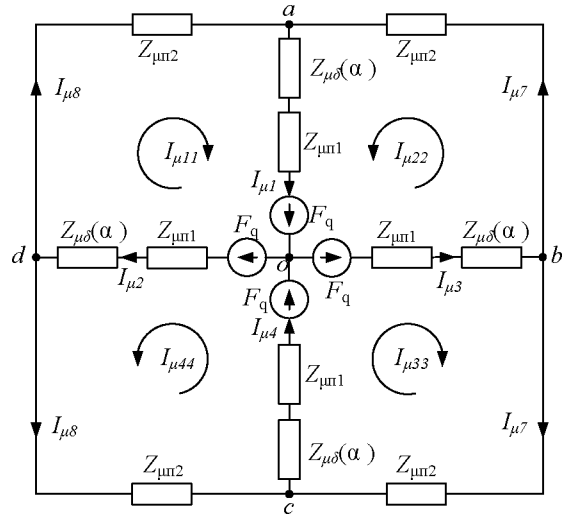
Ushbu magnit zanjiri uchun kontur toklar usuli asosida tuzilgan tenglamalar sistemasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{cases} Z_{\mu 11} I_{\mu 11} + Z_{\mu 12} I_{\mu 22} + 0 \cdot I_{\mu 33} + Z_{\mu 14} I_{\mu 44} = 2F_q, \\ Z_{\mu 21} I_{\mu 11} + Z_{\mu 22} I_{\mu 22} + Z_{\mu 23} I_{\mu 33} + 0 \cdot I_{\mu 44} = 2F_q, \\ 0 \cdot I_{\mu 11} + Z_{\mu 32} I_{\mu 22} + Z_{\mu 33} I_{\mu 33} + Z_{\mu 34} I_{\mu 44} = 2F_q, \\ Z_{\mu 41} I_{\mu 11} + 0 \cdot I_{\mu 22} + Z_{\mu 43} I_{\mu 33} + Z_{\mu 44} I_{\mu 44} = 2F_q, \end{cases} \quad (2.24)$$

bu yerda $Z_{\mu 11} = Z_{\mu 22} = Z_{\mu 33} = Z_{\mu 44} = 2Z_{\mu \delta}(\alpha) + 2Z_{\mu \Pi 1} + Z_{\mu \Pi 2}$ – magnit zanjiri-



2.16- rasm. Yaratilgan IVO‘ magnet zanjirining konstruktiv sxemasi



2.17- rasm. Yaratilgan IVO‘ magnet zanjirining almashlash sxemasi

dagi tegishli mustaqil konturning umumiy kompleks magnet qarshiligi, $[H^{-1}]$;
 $Z_{\mu\delta}(\alpha) = \frac{W_{\mu\delta}(\alpha)}{\omega_M}, [\Omega^{-1}]$; $W_{\mu\delta}(\alpha) = \frac{\delta_{ish}}{\mu_0 b l_{or}}, [H^{-1}]$ - qutb nakonechniklari orasidagi
yoysimon ishchi havo oralig‘i magnet qarshiligining modul qiymati va magnet
qattiqligi (turli fizik tabiatli zanjirlar energiya-axborot modeliga ko‘ra esa magnet
sig‘imga teskari bo‘lgan parametr); - $Z_{\mu\pi 1} = R_{\mu\pi 1} + j \left(\omega_M L_{\mu\pi 1} - \frac{W_{\mu\pi 1}}{\omega_M} \right), [\Omega^{-1}]$;
 $R_{\mu\pi 1} = G_{\pi 1}, [\Omega^{-1}]$; $L_{\mu\pi 1} = C_{\pi 1}, [F]$; $W_{\mu\pi 1} = \frac{l_{\mu\pi 1}}{\mu \mu_0 \pi r_{or}^2}, [H^{-1}]$ - IE sektorining mos
ravishda aktiv magnet qarshiligi induktivligi va magnet qattiqligi; $Z_{\mu\pi 2} = R_{\mu\pi 2} +$
 $+ j \left(\omega_M L_{\mu\pi 2} - \frac{W_{\mu\pi 2}}{\omega_M} \right)$; $R_{\mu\pi 2}, [\Omega^{-1}]$; $L_{\mu\pi 2}, [F]$; $W_{\mu\pi 2} = \frac{l_{\mu\pi 2}}{\mu \mu_0 b h_2}, [H^{-1}]$ - O-
simon magnet o‘tkazgich chorak qismining xuddi yuqoridagidek parametrlari; $Z_{\mu 12} =$
 $Z_{\mu 14} = Z_{\mu 21} = Z_{\mu 23} = Z_{\mu 32} = Z_{\mu 34} = Z_{\mu 41} = Z_{\mu 43} = Z_{\mu\delta}(\alpha) + Z_{\mu\pi 1}$ - magnet
zanjiridagi tegishli mustaqil konturlararo umumiy magnet qarshiligi; F_q - magnet
zanjirining tegishli mustaqil konturlararo shoxobchasidagi MYUK; $\mu_0 = 4\pi \cdot$
 $10^{-7} [H/m]$ - magnet doimiysi.

Ta’kidlab o‘tish joizki, o‘zaro koaksial joylashgan va yoylari uchlaridan
o‘tkazilgan radiuslari orasidagi burchagi $\alpha < 90^\circ$ bo‘lgan qutb nakonechniklari
orasidagi havo oralig‘ining magnet qattiqligi ($W_{\mu\delta}(\alpha)$)ning qiymati, odatda,
quyidagi formula yordamida aniqlanadi [24, 94 b.]:

$$W_{\mu\delta}(\alpha) = \frac{\ln(R_2/R_1)}{\mu_0\alpha b}. \quad (2.25)$$

O‘tkazilgan hisoblashlar shuni ko‘rsatadiki, $\frac{R_2-R_1}{R_{orr}} \ll 1$ shart bajarilganda

$$W_{\mu\delta}(\alpha) = \frac{\ln(R_2/R_1)}{\mu_0\alpha b} \approx \frac{\delta_{ish}}{\mu_0 b l_{orr}}, \text{ deb hisoblash mumkin bo‘ladi.}$$

(2.24) tenglamalar sistemasi o‘lchash chastota diapazoni keng bo‘lgan IVO‘lar magnit zanjirlarining matematik modeli hisoblanadi.

(2.24) tenglamalar sistemasi va undagi magnit qarshiliklar qiymatlarining tahlili quyidagi munosabatlar o‘rinli ekanligini ko‘rsatadi:

$$I_{\mu11} = I_{\mu22} = I_{\mu33} = I_{\mu44}, \quad (2.26) \quad I_{\mu1} = I_{\mu2} = I_{\mu3} = I_{\mu4} = I_{\muish}, \quad (2.27)$$

$$I_{\mu5} = I_{\mu6} = I_{\mu7} = I_{\mu8} = I_{\mu\tau}, \quad (2.28) \quad I_{\muish} = 2I_{\mu\tau}. \quad (2.29)$$

(2.26)-(2.29) tengliklarni inobatga olib, 2.16- rasmdagi almashlash sxemasining bitta mustaqil konturidagi magnit tokni hisoblab topish yetarli bo‘ladi, ya’ni:

$$I_{\muish} = \frac{4F_q}{4Z_{\mu\delta}(\alpha) + 4Z_{\mu\pi1} + Z_{\mu\pi2}}. \quad (2.30)$$

Aytib o‘tish lozimki, yaratilgan IVO‘lari qo‘llaniladigan temir yo‘l tarnsporti obyektlarining nazorat, boshqaruv va diagnostika tizimlarida vibratsiya tebranishlarining chastota diapazoni, odatda, $2 \div 12 \text{ Hz}$ oraliqda bo‘ladi [78, 47 b.]. Shuning uchun va o‘zgaruvchan magnit maydonlarida uyurmaviy toklar hisobidan yuzaga keladigan energiya isroflari juda kichik bo‘lgan amorf magnityumshoq magnit materiallari(masalan, AMAG 492 qotishmasi [83, 711-712 b.])dan foydalanish magnit zanjiridagi uyurmaviy toklar hisobidan yuzaga keladigan energiya isroflarini hisobga olmaslik kabi qo‘shimcha cheklovni qabul qilish mumkin bo‘ladi. Bunday holatda magnit zanjiri faqat W_μ parametrlardan iborat bo‘lib, magnit tok (I_μ)larni magnit oqim(Q_μ)lari bilan almashtirish mumkin bo‘ladi.

Agar yuqoridagi qo‘shimcha cheklov inobatga olinsa, u holda (2.30) ifoda quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$Q_{\muish} = 4F_q / [4W_{\mu\delta}(\alpha) + 4W_{\mu\pi1} + W_{\mu\pi2}]. \quad (2.31)$$

(2.31) ifodaga $W_{\mu\delta}(\alpha)$ ning yuqorida keltirilgan qiymatini qo'yib va (2.19) da $S_{faol} = bl_{orr} = \pi r^2 - \frac{\pi r R_{orr}}{180^\circ} \alpha$ hamda $\alpha = \alpha_m \sin \omega_m t$ ekanligini inobatga olib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$Q_{\mu_{\text{msh}}} = \frac{4F_q \mu_0 \left(\pi r^2 - \frac{\pi \alpha_m r R_{orr}}{180^\circ} \sin \omega_m t \right)}{4\delta_{ish} + \mu_0 (4W_{\mu_{\text{m1}}} + W_{\mu_{\text{m2}}}) \left(\pi r^2 - \frac{\pi \alpha_m r R_{orr}}{180^\circ} \sin \omega_m t \right)}. \quad (2.32)$$

Agar magnit materialida $\mu \rightarrow \infty$, deb hisoblansa, ya'ni ferromagnit o'tkazgichning magnit qarshiligi hisoblashlarda inobatga olinmasa, u holda (2.32) ifoda amalda foydalanish uchun sodda bo'lgan quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Q_{\mu_{\text{msh}}} = \mu_0 \frac{F_q \left(\pi r^2 - \frac{\pi \alpha_m r R_{orr}}{180^\circ} \sin \omega_m t \right)}{\delta_{ish}} = Q_{\mu_{ish.M}} - Q_{\mu_{ish.max}} \sin \omega_m t, \quad (2.33)$$

bu yerda $Q_{\mu_{ish.M}} = \mu_0 F_q \frac{\pi r^2}{\delta_{ish}}$; $Q_{\mu_{ish.max}} = \mu_0 F_q \frac{\pi \alpha_m r R_{orr}}{180^\circ \delta_{ish}}$ – ishchi magnit oqimining mos ravishda doimiy tashkil etuvchisi va garmonik tashkil etuvchisining amplituda qiymati.

IVO' larining magnit zanjirlari, odatda, asosiy magnitlanish egri chizig'ining chiziqli bo'lagida ishlaydi. Ammo ishlab chiqarish talabi bilan, ayrim hollarda, IVO' lar sezgirligini oshirish maqsadida ulardagi qo'zg'atuvchi magnit maydoni kuchlanishlarini oshirishga to'g'ri keladi. Buning oqibatida IVO' lar sezgirligi oshsa-da, ularning magnit zanjirlari asosiy magnitlanish egri chizig'ining nochiziq, ya'ni to'yinish bo'lagiga o'tib, magnit zanjirlari nochiziq zanjirlar rejimida ishlay boshlaydi. Bu holat, tabiiyki, IVO' statik va dinamik xarakteristikalarini hamda o'lchash aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi [5, 49-50 b.]. Ushbu salbiy ta'sirlar salmog'ini baholash uchun yuqoridagi magnit zanjiri misolida uning nochiziq rejimini tadqiq etish zarurati tug'iladi.

Ma'lumki [20], magnit materialini quyidagi magnitlanish xarakteristikasi bilan tavsiflanadi:

$$B = f(H) = \mu \mu_0 H. \quad (2.34)$$

Asosiy magnitlanish egri chizig'ini ikkita haddan tashkil topgan to'liqsiz polinom ko'rinishidagi approksimatsiyalovchi funksiya quyidagiga teng [20]:

$$H = pB + qB^3, \quad (2.35)$$

bu erda p, q – аппроксимация коэффициентлари.

(2.34) ni hisobga olib, (2.35) ni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\frac{H}{B} = \frac{1}{\mu\mu_0} = p + qB_{\mu ish}^2 = p + q \frac{Q_{\mu ish}^2}{S_{\mu}^2}. \quad (2.36)$$

(2.36) ni magnit o'tkazgichlar magnit qarshiliklarining ifodalariga qo'yib, quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$W_{\mu\pi 1} = \frac{l_{\mu\pi 1}}{\mu\mu_0 S_{\mu\pi}} = p \frac{l_{\mu\pi 1}}{S_{\mu}} + q \frac{l_{\mu\pi 1}}{S_{\mu}^3} Q_{\mu ish}^2, \quad (2.37)$$

$$W_{\mu\pi 2} = \frac{l_{\mu\pi 2}}{\mu\mu_0 S_{\mu\pi}} = p \frac{l_{\mu\pi 2}}{S_{\mu}} + q \frac{l_{\mu\pi 2}}{S_{\mu}^3} Q_{\mu ish}^2. \quad (2.38)$$

(2.37) va (2.38) hamda $W_{\mu\delta}(\alpha) = \frac{\delta_{ish}}{\mu_0 b(l_{m,orr}-x)}$ qiymatini (2.31) ga qo'yib, quyidagi kub tenglamani hosil qilamiz:

$$a_1 Q_{\mu ish}^3 + a_2 Q_{\mu ish} - 4F_q = 0, \quad (2.39)$$

bu erda $a_1 = \frac{q(4l_{\mu\pi 1} + l_{\mu\pi 2})}{S_{\mu\pi}^3}, [A/Wb^3]; a_2 = \frac{4\delta_{ish}}{\mu_0 b(l_{m,orr}-x)} + \frac{2p(4l_{\mu\pi 1} + l_{\mu\pi 2})}{S_{\mu\pi}}, [A/Wb]$.

(2.39) kub tenglamani Kordano usuli yordamidagi haqiqiy ildizi quyidagi ko'rinishda bo'ladi [23, 146 b.]:

$$Q_{\mu\delta 1} = \sqrt[3]{\frac{F_q}{a_1} \sqrt{\left(\frac{a_2}{3a_1}\right)^3 + \left(\frac{F_q}{a_1}\right)^2}} - \sqrt[3]{\frac{F_q}{a_1} - \sqrt{\left(\frac{a_2}{3a_1}\right)^3 + \left(\frac{F_q}{a_1}\right)^2}}, \quad (2.40)$$

Hisoblash natijalari ishchi magnit oqimlarining (2.40) formula yordamida va tajriba asosida olingan qiymatlarining farqi $2 \div 4$ % dan oshmasligini ko'rsatdi.

Ikkinchi bob bo'yicha xulosalar

Inersion elementni o'zaro perpendikulyar joylashgan to'rtta sektordan iborat va ikkita yondosh sektorlar massalarini qolgan ikkita yondosh sektorlar massalaridan farqli qilib yasash orqali turli yo'nalishlarda chiziqli va burama vibratsiyalarni yuqori sezgirlikda o'lchovchi induksion o'zgartirgichning yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan.

Inersion elementni o‘zaro diametral ikkita magnit o‘tkazgichli va turli massali sektor ko‘rinishida yasash hamda uni gorizontal va vertikal o‘qlari oralig‘ida joylashtirish orqali turli yo‘nalishlarda chiziqli va burama vibratsiyalarni yuqori sezgirlikda o‘lchovchi hamda inersion elementining massasi kichik bo‘lgan induksion o‘zgartirgichning konstruksiyasi ishlab chiqilgan.

Yaratilgan induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining inersion element qutb nakonechniklari holatini o‘zgartirgichga berilgan tezlanish ta’sirida o‘zgarishini aniqlash imkonini beruvchi ishlab chiqilgan matematik modellar tahlili qutb nakonechniklarining faol yuzasi inersion element koordinatasi bilan chiziqli bog‘langanligini ko‘rsatadi.

Yaratilgan induksion vibratsiya o‘zgartirgichlar asosiy xarakte-ristikalarini nazariy tadqiq etish imkoniyatini beruvchi inersion elementga ta’sir ko‘rsatuvchi elektromagnit tabiatli mexanik kuchlar, inersion, og‘irlik va ishqalanish kuchlarining muvozanat tenglamalari hosil qilingan.

Yangi induksion vibratsiya o‘zgartirgichlar magnit zanjirlarining matematik modellari magnit o‘tkazgichlar va ishchi havo oraliqlarining geometrik o‘lchamlari va magnit xossalarini hamda qo‘zg‘atuvchi magnit maydoni kattaliklarini inobatga olgan holda ishlab chiqilgan.

3- BOB. INDUKSION VIBRATSIYA O'ZGARTIRGICHLARINING STATIK VA DINAMIK XARAKTERISTIKALARI

§3.1. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining statik xarakteristikalar

Ma'lumki [18, 23-24 b.;29], O'O' larining, shu jumladan, IVO' lar statik xarakteristikasi – bu uning chiqish kattaligi bo'lgan o'lchash chulg'amida induksiyalangan IVO' kirishi kattaligi hisoblangan vibratsiya parametrlaridan biriga bog'liqligidir. Umumiy holda vibratsiya parametrlari sifatida uning amplituda $\alpha_M(t)$ va chastota $\omega_M(t)$ qiymatlari qaraladi.

Umumiy yangi IVO' larning statik xarakteristikasining analitik ifodasi (2.32) ifodani inobatga olgan holda quyidagicha aniqlanadi:

$$e_{chiq.} = -w_{chiq.} \frac{dQ_{\mu ish}[a_m(t), \omega_M(t)]}{dt}, \quad (3.1)$$

bu yerda $w_{chiq.}$ – o'lchash chulg'amlari o'ramlarining umumiy soni, [–].

VO' lari uchun ishlab chiqilgan Davlat standartiga ko'ra ularning statik xarakteristikalarini tadqiq etish jarayonida vibratsiya chastotasi o'zgarmas, deb qabul qilinadi [32]. Shunga ko'ra yangi IVO' lari statik xarakteristikasining analitik ifodasi (2.32) ni inobatga olgan holda quyidagicha topiladi:

$$e_{chiq.} = -w_{chiq.} \frac{dQ_{\mu ish}(t)}{dt} = \frac{16F_K \mu_0 w_{chiq.} \delta_{ish} \pi \alpha_{m.M} a_m^* r R_{orr} \omega_M \cos \omega_M t}{180^0 \left[4\delta_{ish} + \mu_0 (4W_{\mu \Pi 1} + W_{\mu \Pi 2}) \left(\pi r^2 - \frac{\pi \alpha_{m.M} a_m^* r R_{orr}}{180^0} \sin \omega_M t \right) \right]^2}, \quad (3.2)$$

bu yerda $a_m^* = a_m / a_{m.M}$; a_m ; $a_{m.M}$ – tezlanishning mos ravishda nisbiy, amplituda va maksimal amplituda qiymatlari.

Yangi IVO' konstruksiyasi quyidagi parametr va o'lchamlarga ega: $R_1 = 30 \text{ mm}$; $R_2 = 31 \text{ mm}$; $\delta_{ish} = 1 \text{ mm}$; $R_{orr} = 30,5 \text{ mm}$; $r = 12,0 \text{ mm}$; $b = 40 \text{ mm}$; $H = 0,32 \text{ mm}$; $a = 12 \text{ mm}$; $l_{M1} = 10,01 \text{ mm}$; $l_{M1} = 10,015 \text{ mm}$; $h_2 = 10 \text{ mm}$; $l_{\mu \Pi 1} = 30 \text{ mm}$; $l_{\mu \Pi 2} = 137,82 \text{ mm}$; $r_{orr} = 2,5 \text{ mm}$; $\mu_{orr} = 1805$; $\alpha_{m.M} = 7 \text{ degri}$ ($\alpha_{m.M}$ – IE burilish burchagining IVO' yuqori chegarasiga yuqori chegarasiga mos keluvchi maksimal chegaraviy qiymati).

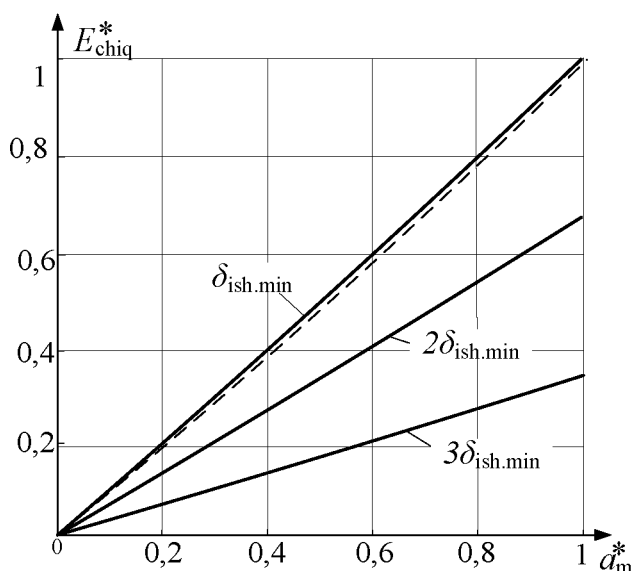
Yaratilgan IVO‘ lari manba MYUK, chulg‘amlar soni va konstruktiv parametrlari hamda geometrik o‘lchamlarining berilgan qiymatlari uchun chiqish signali ta’sir etuvchi qiymatining maksimal qiymati ($E_{chiq.max}$) sifatida ulardaishchi havo oralig‘ining minimal qiymati ($\delta_{ish.min}$) va $a_m^* = 1$ bo‘lgan holat uchun qabul qilamiz.

Demak, yangi IVO‘ lari statik xarakteristikasining nisbiy birliklardagi analitik ifodasi quyidagi ko‘rinishda hosil qilindi:

$$E_{chiq.}^* = \frac{\delta_{ish} \left[4\delta_{ish.min} 180^0 + \mu_0 W_{\mu\pi} \left(180^0 \pi r^2 - \pi \alpha_{m.M} r R_{orr} (\sqrt{2})^{-1} \right) \right]^2 a_m^*}{\delta_{ish.min} \left[4\delta_{ish} 180^0 + \mu_0 W_{\mu\pi} \left(180^0 \pi r^2 - \pi \alpha_{m.M} r R_{orr} (\sqrt{2})^{-1} a_m^* \right) \right]^2}. \quad (3.3)$$

bu yerda $E_{chiq.}^* = E_{chiq.}/E_{chiq.max}$.

(3.3) funksiya va undagi δ_{ish} ning turli qiymatlari hamda elektr o‘lchash texnikasida ko‘p qo‘llaniladigan va magnit o‘tkazgichi nisbiy magnit singdiruvchanligining o‘rtacha qiymati 1805 ga teng bo‘lgan 1512 markali elektrotexnik po‘latdan yasalgan IVO‘ uchun qurilgan grafiklari (3.1- rasm)



3.1- rasm. Yaratilgan IVO‘ larining δ_{ish} ni turli qiymatlari uchun qurilgan statik xarakteristikalari:
uzluksiz chiziqlar – nazariy; uzlukli chiziqlar – tajriba asosida

tahlili yaratilgan IVO‘ lari statik xarakteristikalari vibratsiya parametrlarini o‘lchash diapazonida chiziqliligini saqlab qolishini ko‘rsatdi.

§3.2. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining dinamik xarakteristikalarini

Bizga ma'lumki [29;56, 123-125 b.], istalgan turdagi O'O' larining dinamik xarakteristikalarini, umumiy holda, chiqish va kirish signallarining o'lchash ma'lumotini beruvchi parametrlari hamda vaqt o'rtasidagi bog'liqlik yoki dinamik rejimda O'O' chiqish va kirish signallari o'rtasidagi bog'liqlikdir. O'O' dinamik xarakteristikalarini, odatda, undagi jarayonlarni o'zida aks ettiruvchi differensial tenglamalar, uzatish yoki kompleks chastotaviy funksiyalar orqali ifodalanadi [48, 24-28 b.].

Yaratilgan IVO' lar dinamik xarakteristikalarini nazariy tadqiq etishda zarur bo'lgan differensial tenglamani hosil qilish uchun biz turli fizik tabiatli zanjirlar energiya-axborot modellariga asoslangan parametrik strukturaviy sxema(PSS)lari usulidan foydalanamiz [41]. Bu usulning avtomatik boshqarish nazariyasida juda keng foydalaniladigan klassik strukturaviy usuldan afzallik tomoni shundan iboratki, birinchidan, O'O' da yuz beradigan fizik hodisalar, effektlar va jarayonlar elementar o'zgartirish, ularning majmuasi va o'zaro ta'siri fizik tabiatining turidan qat'iy nazar PSS da yaqqol ko'rinib turadi, ikkinchidan, esa tuzilgan PSS asosida O'O' xarakteristikalarining analitik ifodalarini hosil qilish nisbatan osonlashadi.

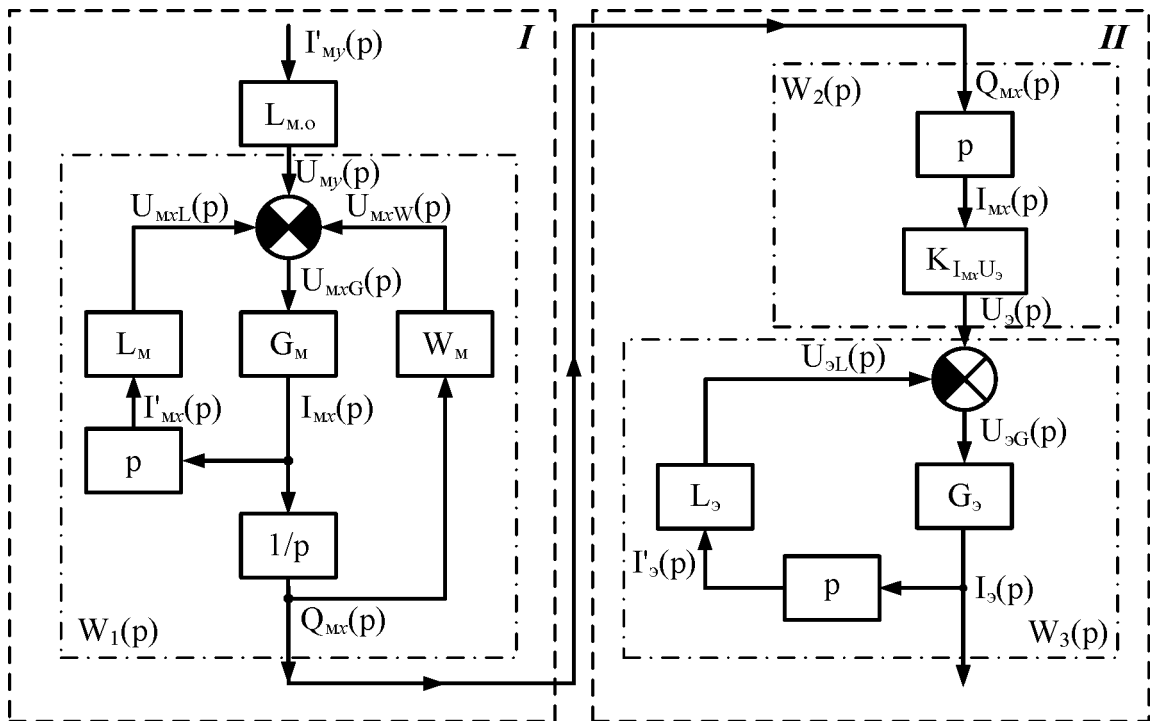
Yaratilgan IVO' lar dinamik xarakteristikalarini nazariy tadqiq etish uchun tuzilgan PSS 3.2- rasmda keltirilgan [8;11]. Ushbu PSS asosida IVO' dinamik xarakteristikasini ifodalovchi operator ko'rinishidagi analitik tenglamani hosil qilishda professor Zaripov M.F. tomonidan ishlab chiqilgan metodika bo'yicha PSS ni uzoq chiziqlar bilan ajratilgan va tegishli rim raqami bilan belgilangan ikkita bo'lakning har biridagi elementar o'zgartirgich uchun tenglamalar yozilsa, masala ancha osonlashadi.

PSS ning II- bo'lagidagi elementar o'zgartirgichlar uchun quyidagi tenglamalarni yozamiz:

$$I_3(p) = G_3 \cdot U_{3G}(p), \quad (3.4) \quad U_{3G}(p) = U_3(p) - U_{3L}(p), \quad (3.7)$$

$$U_{3L}(p) = L_3 \cdot I'_3(p), \quad (3.5) \quad I'_3(p) = pI_3(p), \quad (3.8)$$

$$U_3(p) = K_{I_{mx}U_3} I_{mx}(p), \quad (3.6) \quad I_{mx}(p) = pQ_{mx}(p), \quad (3.9)$$



3.2- rasm. Yaratilgan IVO‘ lar dinamik xarakteristikalarini nazariy tadqiq etish uchun tuzilgan PSS

bu yerda $I_3, [A]$; $G_3, [\Omega^{-1}]$; $L_3, [H]$; U_3 ; U_{3G} , $U_{3L}, [V]$ – mos ravishda o‘lchash zanjiridagi tok, aktiv o‘tkazuvchanlik va induktivlik hamda shu zanjirda induksiyalangan kuchlanish, uning G_3 va L_3 elementlaridagi kuchlanish pasayishlari; $Q_\mu, [Wb]$; $I_\mu, [Wb \cdot s^{-1}]$ – mos ravishda magnit oqimi va uning vaqt bo‘yicha o‘zgarish tezligi; $Q_{Mx}, [m]$; $I_{Mx}, [m \cdot s^{-1}]$ – mos ravishda inersion element(IE)ning IVO‘ korpusiga nisbatan mexanik vibratsion siljishi va uning vaqt bo‘yicha o‘zgarish tezligi; $K_{I_{Mx}U_3}, [(H \cdot A)/m]$ - IE tezligi va o‘lchash zanjirida induksiyalangan kuchlanish orasidagi zanjirlararo fizik-texnik effekt (FTE) koefitsiyenti; $p, [s^{-1}]$ – Laplas operatori.

(3.4) tenglamaga (3.5)-(3.9) tenglamalarni ketma-ket qo‘yib, uncha murakkab bo‘lmaagan aalmashtirishlardan so‘ng, quyidagi operator tenglamani hosil qilamiz:

$$I_3(p) = \frac{G_3 K_{I_{Mx}U_3} p Q_{Mx}(p)}{1 + L_3 G_3 p}, [A \cdot s]. \quad (3.10)$$

Endi PSS I- bo‘lagidagi har bir elementar o‘zgartirgich uchun quyidagi operator ko‘rinishidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$Q_{Mx}(p) = \frac{1}{p} I_{Mx}(p), \quad (3.11) \quad I_{Mx}(p) = G_M \cdot U_{MxG}(p), \quad (3.12)$$

$$U_{\text{MxG}}(p) = U_{\text{My}}(p) - U_{\text{MxL}}(p) - U_{\text{MxW}}(p), \quad (3.13) \quad U_{\text{My}}(p) = L_{\text{M.o}} \cdot I'_{\text{My}}(p), \quad (3.14)$$

$$U_{\text{MxL}}(p) = L_{\text{M}} \cdot I'_{\text{Mx}}(p), \quad (3.15) \quad I'_{\text{Mx}}(p) = p I_{\text{Mx}}(p), \quad (3.16)$$

$$U_{\text{MxW}} = W_{\text{M}} \cdot Q_{\text{Mx}}(p), \quad (3.17)$$

bu yerda $I'_{\text{Mx}}, [m \cdot s^{-2}]$; $G_{\text{M}}, [N^{-1} \cdot s^{-1} \cdot m]$; $L_{\text{M}}, [kg]$ va $W_{\text{M}}, [N \cdot m^{-1}]$ – mos ravishda IE mexanik zanjiridagi vibrotezlanish, aktiv o'tkazuvchanlik, induktivlik va qattqlik (turli fizik tabiatli zanjirlar energiya-axborot modellariga ko'ra mexanik zanjirdagi sig'im parametriga teskari bo'lgan parametr); $U_{\text{My}}, U_{\text{MxG}}, U_{\text{MxL}}, U_{\text{MxW}}, [N]$ – mos ravishda IVO' korpusiga ta'sir etayotgan mexanik kuch va mexanik zanjirning $G_{\text{M}}, L_{\text{M}}$ hamda W_{M} elementlarida pasaygan kuchlanishlar; $I'_{\text{My}}, L_{\text{M.o}}$ – mos ravishda nazorat qilinayotgan obyekt vibrotezlanishi va mexanik induktivligi (massasi).

(3.11) tenglamaga (3.12)-(3.17) tenglamalarni ketma-ket qo'yib, uncha murakkab bo'lmagan almashtirishlardan so'ng, quyidagi operator tenglamani hosil qilamiz:

$$Q_{\text{Mx}}(p) = \frac{L_{\text{M}}^{-1} U_{\text{My}}(p)}{p^2 + 2\delta_{\text{M}}p + \omega_0^2}, [m \cdot s], \quad (3.18)$$

bu yeda $\delta_{\text{M}} = \frac{R_{\text{M}}}{2L_{\text{M}}}, [s^{-1}]$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{\text{M}}C_{\text{M}}}}, [s^{-1}]$ – tadqiq etilayotgan IVO' mexanik zanjiridagi tebranishlarning so'nish koeffitsiyenti va ushbu zanjir xususiy burchak chastotasi.

(3.18) ni (3.10) tenglamaga qo'yib, quyidagi operator ko'rinishidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$I_{\text{I}}(p) = \frac{G_{\text{I}}K_{\text{I}}U_{\text{I}}pL_{\text{M}}^{-1}U_{\text{My}}(p)}{(p^2 + 2\delta_{\text{M}}p + \omega_0^2)(1 + L_{\text{I}}G_{\text{I}}p)}, [A \cdot s]. \quad (3.19)$$

Agar yaratilgan IVO' kirishiga $U_{\text{My}}(t) = U_{\text{MyM}} \cos \omega_{\text{M}} t$ mexanik kuch (bu yerda U_{MyM} va ω_{M} – mexanik kuchning qiymatlari o'zgarmas bo'lgan amplituda va burchak chastotasi) beriladi, deb qabul qilinsa va bu kuch ifodasi operator ko'rinishda $U_{\text{My}}(p) = pU_{\text{MyM}}/(p^2 + \omega_{\text{M}}^2)$ yozilishi inobatga olinsa, u holda (3.19) operator tenglama quyidagicha yoziladi:

$$I_3(p) = \frac{Kp^2}{(p^2+2\delta_M p+\omega_0^2)(p^2+\omega_M^2)(1+L_3 G_3 p)} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)}, [A \cdot s], \quad (3.20)$$

bu yerda $K = G_3 K_{I_{Mx} U_3} L_M^{-1} U_{Mym}, [A \cdot s^{-1}]$.

(3.20) operator ifodaning yoyish teoremasi asosida topilgan originali quyidagiga teng bo'ladi:

$$\begin{aligned} i_3(t) = & \frac{K\sqrt{\omega_0^4 + 4\delta_M^2(\delta_M^2 - \omega_0^2)}e^{-\delta_M t} \cos[\omega_0' t - (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)]}{\sqrt{\delta_M^2 - \omega_0^2}\sqrt{4\delta_M^2(\delta_M^2 - \omega_0^2) + (\omega_0^2 + \omega_M^2)^2} \cdot \sqrt{(1 - \delta_M T_3)^2 + T_3^2(\delta_M^2 - \omega_0^2)}} + \\ & + \frac{K\omega_M \cos[\omega_M t + 90^\circ - (\varphi_4 + \varphi_5)]}{\sqrt{1 + T_3^2 \omega_M^2} \sqrt{(\omega_0^2 - \omega_M^2)^2 + 4\delta_M^2 \omega_M^2}} + \\ & + \frac{K e^{-\frac{t}{T_3}}}{(T_3^{-1} + \omega_M^2 T_3)(T_3^2 \omega_0^2 - 2\delta_M T_3 + 1)} = \\ & = I_{m1(\text{эпк.})} e^{-\delta_M t} \cos[\omega_0' t - (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)] - \\ & - I_{m(\text{маж.})} \cos(\omega_M t + \varphi_4 + \varphi_5) + I_{m2(\text{эпк.})} e^{-\frac{t}{T_3}} = \\ & = i_{\text{эпк.1}}(t) + i_{\text{маж.}}(t) + i_{\text{эпк.2}}(t), \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\text{bu yerda } I_{m1(\text{эпк.})} = \frac{K\sqrt{\omega_0^4 + 4\delta_M^2(\delta_M^2 - \omega_0^2)}}{2\sqrt{\delta_M^2 - \omega_0^2}\sqrt{4\delta_M^2(\delta_M^2 - \omega_0^2) + (\omega_0^2 + \omega_M^2)^2} \cdot \sqrt{(1 - \delta_M T_3)^2 + T_3^2(\delta_M^2 - \omega_0^2)}};$$

$$I_{m(\text{маж.})} = \frac{K\omega_M}{\sqrt{1 + T_3^2 \omega_M^2} \sqrt{(\omega_0^2 - \omega_M^2)^2 + 4\delta_M^2 \omega_M^2}}; \quad I_{m2(\text{эпк.})} = \frac{K}{(T_3^{-1} + \omega_M^2 T_3)(T_3^2 \omega_0^2 - 2\delta_M T_3 + 1)};$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{2\delta_M \omega_0'}{\omega_0^2}; \quad \varphi_2 = \arctg \frac{\omega_0'(\omega_0^2 + \omega_M^2)}{2\delta_M(\delta_M^2 - \omega_0^2)}; \quad \varphi_3 = \arctg \frac{T_3 \omega_0'}{1 - \delta_M T_3};$$

$$\varphi_4 = \arctg \frac{2\delta_M \omega_M}{\omega_M^2 - \omega_0^2}; \quad \varphi_5 = \arctg \omega_M T_3; \quad i_{\text{эпк.1}}(t); \quad i_{\text{эпк.}}(t) - \text{mos ravishda}$$

o'tkinchi tokning tebranuvchi erkin va majburiy (turg'un) tashkil etuvchilarining oniy qiymatlari; $i_{\text{эпк.2}}(t)$ – o'tkinchi tokning erkin aperiodik tashkil etuvchisi; $\omega_0' = \sqrt{\delta_M^2 - \omega_0^2}$ - o'tkinchi tokning tebranuvchi erkin tashkil etuvchisining burchak chastotasi; $T_3 = L_3 G_3, [s]$ – aktiv yuklamali o'lchash zanjirining vaqt doimiysi; $\varphi_{\text{эпк.}} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$ – o'tkinchi tokning tebranuvchi erkin tashkil etuvchisining

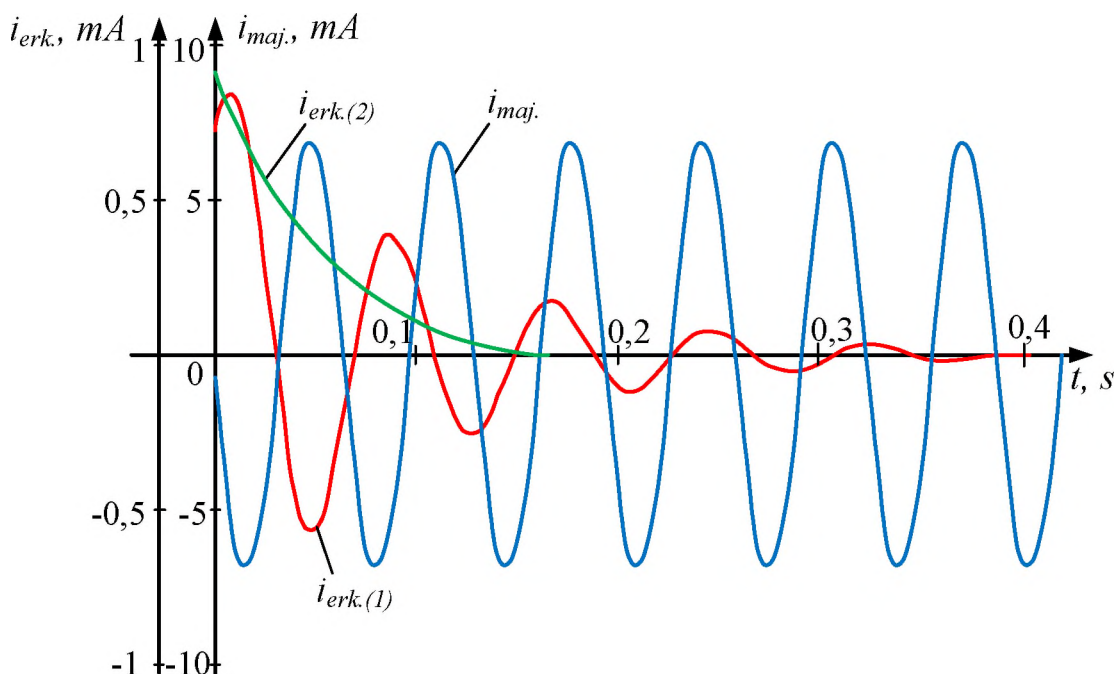
boshlang'ich fazasi; $\varphi_{maj.} = \varphi_4 + \varphi_5$ – o'tkinchi tokning majburiy (turg'un) tashkil etuvchisi va IVO' kirish kattaligi orasidagi faza siljish burchagi.

Ta'kidlab o'tish joizki, tadqiq etilayotgan IVO' lar mexanik zanjiri avtomatik boshqarish nazariyasida o'rganiladigan namunaviy zvenolarning turkumiga mansub, chunki ushbu zvenoni tavsiflovchi xarakteristik tenglama $p^2 + 2\delta_M p + \omega_0^2 = 0$ qo'shma kompleks ildiz ($p_{1,2} = -\delta_M + j\omega_0'$) larga ega [48, 45-47 b.].

(3.21) ifoda va uning asosida qurilgan grafiklar tahlili shuni ko'rsatadiki (3.3-rasm) [57, 63-69 b.; 60, 112-123 b.], undagi birinchi ($i_{erk.1}(t)$) qo'shiluvchi erkin tebranishlarga oid bo'lib, u mexanik tebranish zanjirining so'nish koeffitsiyenti qiymatiga bog'liq ravishda qisqa vaqt ichida tez so'nadi, uchinchi ($i_{erk.2}(t)$) qo'shiluvchi aperiodik erkin tashkil etuvchi bo'lib, u o'lchash zanjirining vaqt doimiysi qiymatiga bog'liq ravishda tezda so'nadi, ikkinchi ($i_{maj.}(t)$) qo'shiluvchi esa IVO' kirishiga berilayotgan garmonik ta'sir natijasida uning elektromexanik zanjirlarida hosil bo'lgan barqaror (turg'un) majburiy tebranishlarni tavsiflaydi.

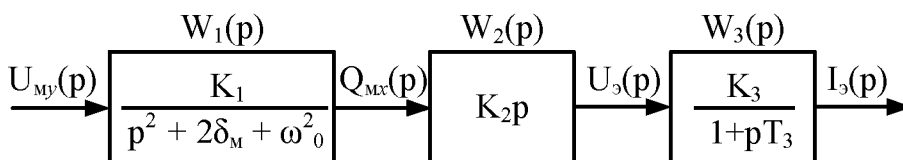
$\omega_M = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta_M^2}$ da, ya'ni IVO' mexanik tebranish zanjirida rezonans yuz berishidan avvalroq $\omega_M < \omega_0$ da yuz beradi, so'nish koeffitsiyentlari noldan katta bo'lgan elektromexanik zanjirli IVO' larda chiqish signali va kirish kattaligi orasida doim faza siljish burchagi mavjud bo'ladi, aktiv xarakterdagi yuklamali IVO' larda uning maksimal qiymati ($\pi/2$) mexanik zanjirda rezonans yuz berganda, ya'ni $\omega_M = \omega_0$ da erishadi.

IVO' larining dinamik xarakteristikalarini, odatda, ularning uzatish funksiyalari va chastotaviy xarakteristikalarini asosida ham baholanadi [11]. Chastotaviy xarakteristikalaridan foydalanishning afzalligi shundan iboratki, ular O'O' larining dinamik xossalarni tavsiflovchi differensial tenglamalarni yechmasdan O'O' larining turg'un ishlash imkoniyatlari va sifat ko'rsatkichlarini baholash imkonini beradi hamda dinamik ko'rsatkichlarini yaxshilovchi korreksiya vositalarini aniqlash va parametrlarini hisoblash imkoniyatini yaratadi [10].



3.3- rasm. Yaratilgan IVO‘ kirishiga garmonik o‘zgaruvchi kattalik berilganda uning chiqishidagi o‘tkinchi tok tashkil etuvchilari

Agar yaratilgan IVO‘ PSS tahlil etilsa, u holda undagi mexanik zanjir avtomatik boshqarish tizimlarining struktura sxemasida tebranuvchi zveno, mexanik siljishni elektr kuchlanishga o‘zgartiruvchi elementar o‘zgartirgich – ideal differensiallovchi zveno, o‘lchash zanjiri esa – birinchi tartibli inersion zvenolarning o‘zaro ketma-ket ulangan struktura sxemasining bir bo‘lagi sifati aks ettirilishi mumkin (3.4- rasm). Bu zvenolar har birining uzatish funksiyasi mos ravishda quyidagicha yoziladi:



3.4- rasm. Yaratilgan IVO‘ struktura sxemasi

$$W_1(p) = \frac{Q_{Mx}(p)}{U_{My}(p)} = \frac{K_1}{p^2 + 2\delta_M p + \omega_0^2}, \quad (3.22)$$

$$W_2(p) = \frac{U_3(p)}{Q_{Mx}(p)} = K_2 p, \quad (3.23)$$

$$W_3(p) = \frac{I_3(p)}{U_3(p)} = \frac{K_3}{1 + pT_3}, \quad (3.24)$$

bu yerda $K_1 = L_M^{-1}, (kg^{-1})$; $K_2 = K_{I_{Mx}U_3}, [(H \cdot A)/m]$; $K_3 = G_3, [\Omega^{-1}]$.

Yaratilgan IVO‘ ning uzatish funksiyasi quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$W(p) = \frac{I_3(p)}{U_{my}(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) =$$

$$= \frac{K_1 K_2 K_3 p}{(p^2 + 2\delta_m p + \omega_0^2)(1 + pT_3)}, \quad (3.25)$$

bu yerda $K_1 K_2 K_3 = K = G_3 K_{I_{mx}} U_3 L_M^{-1} U_{myM}, [A \cdot s^{-1}]$.

Yaratilgan IVO‘ struktura sxemasi va uzatish funksiyasining tahlili shuni ko‘rsatadiki, avtomatik boshqarish tizimlarining struktura sxemasida IVO‘ o‘zaro ketma-ket ulangan tebranuvchi, ideal differensiallovchi va birinchi tartibli inersion zvenolar ko‘rinishida aks ettirilishi mumkin.

Tadqiq etilayotgan IVO‘ chastotaviy xarakteristikasining analitik ifodasi (3.25) ifodadagi p ni $j\omega_m$ ga almashtirish orqali hosil qilinadi:

$$W(j\omega_m) = \frac{K\omega_m e^{j(90^\circ - (\varphi_4 + \varphi_5))}}{2\sqrt{1+T_3^2\omega_m^2} \sqrt{(\omega_m^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta_m^2\omega_m^2}} = A(\omega_m) e^{j\varphi(\omega_m)}, \quad (3.26)$$

bu yerda $A(\omega_m) = \frac{K\omega_m}{2\sqrt{1+T_3^2\omega_m^2} \sqrt{(\omega_m^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta_m^2\omega_m^2}}$; $\varphi(\omega_m) = 90^\circ - (\varphi_4 + \varphi_5)$ – tadqiq

etilayotgan IVO‘ ning mos ravishda amplituda va faza chastotaviy xarakteristika(ACHX va FCHX)lari hisoblanadi.

Yaratilgan IVO‘ ning hosil qilingan chastotaviy xarakteristikasi va o‘tkinchi xarakteristikasi ifodalari tahlili shuni ko‘rsatadiki, IVO‘ amplituda chastotaviy xarakteristikasining qiymati uning o‘tkinchi xarakteristikasi majburiy tashkil etuvchisining amplituda qiymatiga, faza chastotaviy xarakteristikasi qiymati esa majburiy tashkil etuvchisining boshlang‘ich fazasi qiymatiga teng bo‘ladi.

IVO‘ tebranuvchi zvenosi uzatish funksiyasi ifodasi (3.25) ni nisbiy qiymatlarda quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin [10]:

$$W(p) = \frac{1}{T_m^2 p^2 + 2D_m T_m p + 1}, \quad (3.27)$$

bu yerda $D_m = \delta_m / \omega_0$ – IVO‘ mexanik zanjirining so‘nish koeffitsiyenti δ_m o‘rnida foydalaniluvchi nisbiy tinchlanish (dempferlash) darajasi; $T_m = \omega_0^{-1}$.

(3.27) da $p = j\omega_M$ almashtirishni bajarib, IVO‘ mexanik zanjirining quyidagi kompleks ko‘rinishdagi chastotaviy xarakteristikasini hosil qilamiz:

$$W(j\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega_M}{\omega_0}\right)^2 + j2D_M \frac{\omega_M}{\omega_0}} \quad (3.28)$$

Kompleks ko‘rinishdagi chastotaviy xarakteristika (3.28) ning modul qiymati IVO‘ mexanik zanjirining quyidagi AXCH ni tavsiflaydi:

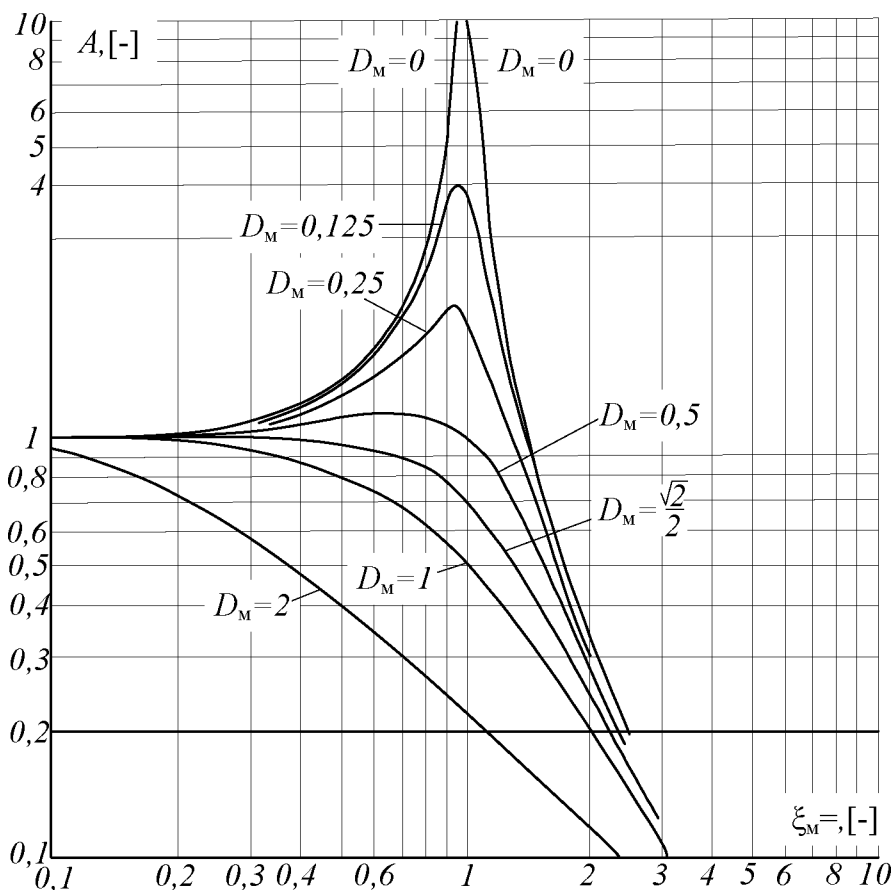
$$A = \frac{1}{\sqrt{(1 - \xi_M^2)^2 + 4\xi_M^2 D_M^2}} \quad (3.29)$$

uning argumenti esa mexanik zanjirning quyidagi FCHX sini tavsiflaydi:

$$\varphi = \arctg \frac{2\xi_M D_M}{1 - \xi_M^2} \quad (3.30)$$

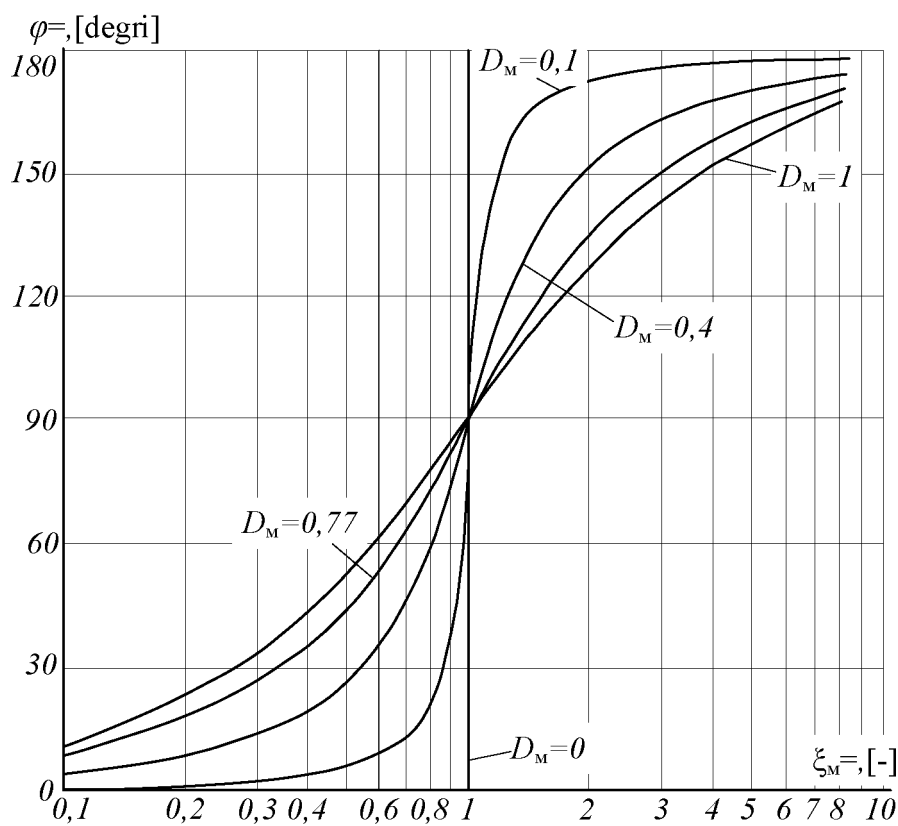
bu yerda $\xi_M = \frac{\omega_M}{\omega_0}$.

3.5 va 3.6- rasmlarda D_M ning turli qiymatlari uchun qurilgan IVO‘ mexanik zanjirining ACHX va FCHX lari keltirilgan. Ularning tahlili shuni ko‘rsatadiki, yara-



3.5- rasm. Yaratilgan IVO‘ mexanik zanjirining nisbiy tinchlanish (dempferlash) darajasi D_M ning turli qiymatlaridagi ACHX lari

tilgan IVO‘ lari chastotasi mexanik tebranish zanjirining xususiy chastotasidan ko‘p marta kichik, ya’ni $\omega_M \ll \omega_0$ bo‘lgan chastota diapazoni juda tor doiradagi vibratsiyalarni kichik buzilish(xatolik)lar bilan o‘lchay oladi. $\xi_M = 0$ bo‘lganda ACHX ning doimiy qiymatdan og‘ishi IE tebranishining amplituda bo‘yicha buzilishini tavsiflaydi. Grafiklardan ko‘rinib turibdiki, amplituda bo‘yicha buzilishni kamaytirish uchun vibratsiya chastotasi ω_M ning berilgan qiymatlarida mexanik zanjir xususiy chastotasi ω_0 oshirish va dempferlash darajasi D_M ning aniq qiymatini tanlash talab etiladi. Aytib o‘tish joizki, ω_0 qiymatini tanlashda, bir tomondan, dinamik buzilishlar kichikligini, ikkinchi tomondan esa halaqitlarni chegaralashni ta’minlash zarur bo‘ladi.



3.6- rasm. Yaratilgan IVO‘ mexanik zanjirining nisbiy tinchlanish (dempferlash) darajasi D_M ning turli qiymatlaridagi FCHX lari

Aytaylik, IVO‘ dagi halaqitning eng kichik chastotasi ω_h ga teng deb olinsa, u holda yuqorida qayd etilgan talablarni qanoatlantirish uchun IVO‘ mexanik zanjirining xususiy chastotasi ω_0 quyidagi tengsizlik asosida tanlanilishi lozim bo‘ladi [11]:

$$\omega_M \ll \omega_0 < \omega_h. \tag{3.31}$$

Aytib o'tish joizki, ω_0 qiymatini tanlashda IVO' sezgirliigi ω_0^2 ga teskari proporsionalligi uchun ω_0 qiymatining ortishi bilan sezgirlik keskin pasayadi [11]. Bundan kelib chiqadiki, yuqori sezgirlik va keng chastota diapazoni talablari o'zaro qarama-qarshi hisoblanadi.

(3.30) ifoda va uning asosida qurilgan FCHX lari tahlili shuni ko'rsatadiki, dempferlash darajasi D_M nolga teng bo'lgandagina IE tebranishi faza bo'yicha buzilishga uchramaydi. Grafiklardan ko'rinib turibdiki, D_M qiymatining o'zgarishi bilan IE tebranishining fazasi keskin o'zgaradi. IVO' ga berilgan tashqi vibratsion tebranish chastotasi ω_M noldan ω_0 gacha ortganda IE ning vibrosiljishi bilan tashqi vibratsion tebranish orasidagi faza siljish burchagi(signalning faza bo'yicha buzilishi)ning miqdori noldan 90^0 gacha ortib boradi (IE ning vibrotezligi bilan tashqi vibratsion tebranishlar orasidagi faza siljish burchagi esa 90^0 dan nolgacha kamayib boradi). Bunda ω_M chastota $0 \leq \omega_M < \omega_0$ oraliqda o'zgarganda inersion mexanik zanjir undagi parametrlarning o'zaro munosabatlariga qarab induktiv yoki sig'im xarakterga ega bo'lishi mumkin. Bu oraliqda dempferlash darajasi D_M ning qiymati qancha noldan katta bo'lsa, faza bo'yicha buzilish miqdori shuncha kichik bo'ladi. $\xi_M = 1$, ya'ni $\omega_M = \omega_0$ (rezonans rejimi)da D_M ning istalgan qiymatida vibrosiljishning faza bo'yicha buzilish miqdori 90^0 ga, vibrotezlik bo'yicha esa nolga teng bo'ladi. Bu rejimda mexanik zanjirda faza bo'yicha to'ntarilish yuz beradi, ya'ni chastota ω_M ning bundan keyingi ortishi mexanik zanjir xarakterini o'zgarishiga olib keladi.

Avtomatik boshqarish nazariyasida, ko'pincha, avtomatik tizim yoki undagi zveno FCHX ni dempferlash darajasi D_M ning qanday D_{opt} qiymatidan boshlab ularning to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan proporsional xarakteristikadan og'ishini aniqlash muhim hisoblanadi [11]. Ushbu og'ish minimal bo'lgan D_{opt} ni topish uchun (3.30) ni ξ ning nolga yaqin bo'lgan qiymatlarida Makloren qatoriga yoyamiz va uning birinchi uchta hadi bilan cheklanib, quyidagi ifodani hosil qilamiz [11]:

$$\varphi = D_M \xi_M + 4D_M(3 - 4D_M^2). \quad (3.32)$$

$\varphi = f(\xi_M)$ funksiyani proporsional xarakteristikadan iborat bo'lishi shartidan (3.32) funksiya o'ng tomonidagi ikkinchi hadni nolga tenglab, D_{opt} ning quyidagi qiymatini topamiz: $D_{opt} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,866$.

§3.3. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining dinamik xarakteristikalarini korrektsiyalash

Avval ta'kidlab o'tilganidek, tadqiq etilayotgan IVO' lar obyekt vibratsiya parametrlarini o'zlarining o'lchash xatoliklari doirasida mexanik zanjirining xususiy chastotasiga nisbatan juda tor diapazonda o'lchay oladi. Chunki, IVO' parametrlari optimal qiymatlarda tanlanganda ham ushbu VO' lari konstruktiv xususiyatlaridan kelib chiqqan holda ularning o'lchash chastota diapazonini kengaytirishning imkoni bo'lmay qoladi: akselerometr rejimida ishlayotgan IVO' larda inersion mexanik zanjir elementlari parametrlari (mexanik qarshilik, induktivlik va sig'im) qiymatlarini tanlash bilan zanjir xususiy chastotasini oshirish orqali chastota diapazonini kengaytirish VO' sezgirligini keskin kamayishiga sabab bo'ladi, chunki inersion VO' sezgirligi uning xususiy chastotasi kvadratiga teskari proporsionaldir [45, 348 b.].

IVO' lar berilgan xususiy chastotalarida o'lchash chastota diapazonini kengaytirishning eng samarali usuli – bu ularning o'lchash zanjirlariga elektr korrektsiyalovchi qurilma(sxema)larni ulash usulidir [66, 390-416 b.]. Bu usul avtomatik boshqarish tizimlari, aloqa qurilmalari, avtomatik kompensatorlar va boshqa elektr o'lchash asboblari va o'zgartirgichlarida ularning dinamik xarakteristikalarini yaxshilash maqsadida keng qo'llaniladi [17, 232-237 b.; 46, 77-79 b.; 55, 189-197 b.; 84, 111-114 b.].

Bu usulga ko'ra korrektsiyalovchi qurilma parametrlari shunday tanlanadiki, natijada IVO' va unga ketma-ket ulangan korrektsiyalovchi qurilmaning umumiy chastotaviy xarakteristikasidagi chastotalarni o'tkazuvchi zona(polosa) kengayadi. Korrektsiyalovchi qurilmadan foydalanishning yana bir afzallik tomoni shundan iboratki, IVO' ni loyihalash jarayonida uning sezgirligini talab etiladigan qiymatda

saqlash maqsadida inersion zanjir xususiy chastotasini kichik qiymatda tanlab, keyin IVO⁺ chastotaviy diapazonini korreksiyalovchi sxema yordamida kengaytirish imkoniyati mavjud bo⁺ladi.

IVO⁺ lar chastotaviy xarakteristikalarini elektr korreksiyalash quyidagi ikkita usulga bo⁺linadi [66, 390-416 b.]: 1) chastotaviy xarakteristikalarni o⁺zaro ko⁺paytirishga asoslangan usul; 2) xatolikni modulyatsiyalashga asoslangan usul. Birinchi usulga ko⁺ra dastlabki IVO⁺ chiqish zanjiriga shunday to⁺rtqutblik ulanadiki, bunda ushbu to⁺rtqutblik dastlabki IVO⁺ chastotaviy xarakteristikasidagi keskin o⁺zgarishlarni talab qilingan chastota diapazonida silliqlash vazifasini bajaradi. Ikkinchi usulga ko⁺ra dastlabki IVO⁺ chiqish signaliga ushbu signalning korreksiyalovchi sxemadan o⁺tkazilib o⁺zgartirilgan bir qismi unga shunday qo⁺shiladiki, natijada hosil bo⁺lgan signal - tuzatmaning qiymati dastlabki IVO⁺ chastotaviy xatoligiga teng, ishorasi esa unga teskari bo⁺ladi.

Aytib o⁺tish joizki, ikkala usul o⁺zaro solishtirilganda birinchi usulning konstruktiv amalga oshirilishi nisbatan sodda (signallarni o⁺zaro qo⁺shuvchi sxemaga ehtiyoj bo⁺lmaydi va signal bitta kanal orqali o⁺tadi), ikkinchi usul esa dastlabki IVO⁺ chastotaviy xarakteristikasidagi rezonans “пик” iga RC- filtr yordamida tuzatish kiritish imkoniyati paydo bo⁺ladi. Shuning uchun korreksiyalash usulini qo⁺yilgan talab va har bir holatdan kelib chiqib tanlash tavsiya etiladi. Bundan tashqari, korreksiyalanuvchi IVO⁺ chastotaviy xarakteristikasi va korreksiyalangan IVO⁺ tenglamasi korreksiyalovchi to⁺rtqutblik xossalariidan kelib chiqib, turlicha ko⁺rinishda bo⁺lishi mumkin. Bunda “normal” korreksiyalash, ya⁺ni korreksiyalanuvchi IVO⁺ va korreksiyalangan IVO⁺ chastotaviy xarakteristikalari tenglamalari o⁺zaro faqat koeffitsiyentlarining qiymatlari bilan farq qiluvchi korreksiyalash afzal hisoblanadi.

Vibrotezlanish rejimida ishlayotgan yaratilgan IVO⁺ chastotaviy diapazonini chastotaviy xarakteristikalarni o⁺zaro ko⁺paytirishga asoslangan usul yordamida kengaytirish maqsadida sintez qilinishi lozim bo⁺lgan korreksiya sxemasi

chastotaviy xarakteristikasi tenglamasini (3.27) va (3.28) ifodalardan foydalangan holda quyidagicha yozamiz:

$$W_K(j\omega_M) = \frac{W_2(j\omega_M)}{W_1(j\omega_M)} = \frac{T_M^2 p^2 + 2D_M T_M p + 1}{T_2^2 p^2 + 2D_2 T_2 p + 1}, \quad (3.33)$$

bu yerda $W_1(j\omega_M)$, $W_2(j\omega_M)$ – mos ravishda dastlabki va korreksiyadan keyingi IVO‘ larning (3.27) ko‘rinishidagi chastotaviy xarakteristikalari; $k = \frac{k_2}{k_1 k_k}$; k_1 , k_2 va k_k – mos ravishda dastlabki va korreksiyadan keyingi IVO‘ lar hamda korreksiya sxemasi uchun proporsionallik koeffitsiyentlari; D_2 , T_2 - korreksiyadan keyingi IVO‘ ning mos ravishda nisbiy tinchlanish (dempferlash) darajasi va vaqt doimiysi.

Korreksiya sxemasini chastotaga bog‘liq bo‘lgan bitta zvenoli kuchlanish bo‘lgich ko‘rinishida izlash maqsadida quyidagi tenglamadan foydalanamiz:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{kW_K(j\omega_M)} - 1, \quad (3.34)$$

bu yerda Z_1 , Z_2 – bitta zvenoli kuchlanish bo‘lgichidagi kompleks qarshiliklar. (3.34) ga (3.33) ni qo‘yib, uncha murakkab bo‘lmagan almashtirishlardan keyin quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{(T_2^2 - kT_M^2)p^2 + 2(D_2 T_2 - kD_M T_M)p + (1 - k)}{(T_M p)^2 + 2D_M T_M p + 1}. \quad (3.35)$$

Z_1 va Z_2 kompleks qarshiliklar real qiymatlarga ega bo‘lishi uchun (3.35) ifodadagi barcha koeffitsiyentlar musbat bo‘lishi lozim. Buning uchun avvalam bor quyidagi shart bajarilishi talab etiladi:

$$T_2^2 - kT_M^2 \geq 0. \quad (3.36)$$

Chegaraviy holat, ya’ni $T_2^2 - kT_M^2 = 0$ dan k ning qiymatini topib, uni (3.35) ni qo‘yib, uncha murakkab bo‘lmagan almashtirishlardan keyin quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{2\left(D_2 \frac{T_M}{T_2} - D_M\right) + \left[\left(\frac{T_M}{T_2}\right)^2 - 1\right] \frac{1}{T_M p}}{2D_M + T_M p + \frac{1}{T_M p}}. \quad (3.37)$$

Bitta zvenoli kuchlanish bo‘lgich(filtr)ning Z_2 kompleks qarshiligini (3.37) tenglama o‘ng tomonidagi kasr maxrajiga proporsional, deb qabul qilamiz, ya’ni:

$$Z_2 = \left(2D_M + T_M p + \frac{1}{T_M p}\right) R_0, \quad (3.38)$$

bu yerda R_0 – qarshilik o‘lchov birligidagi koeffitsiyent bo‘lib, uning qiymati shunday tanlanadiki, natijada sintez qilinayotgan filtr qarshiligi eng qulay qiymatga ega bo‘lsin.

(3.38) dan ko‘rinib turibdiki, Z_2 qarshilik parametrlari quyidagicha aniqlanadigan va elementlari o‘zaro ketma-ket ulangan tebranish konturidan tashkil topgan:

$$R_2 = 2D_M R_0; L_2 = T_M R_0; C_2 = T_M / R_0. \quad (3.39)$$

(3.38) ni inobatga olgan holda (3.37) dan Z_1 qarshilikning quyidagi qiymatini aniqlash mumkin:

$$Z_1 = \left\{ 2 \left(D_2 \frac{T_M}{T_2} - D_M \right) + \left[\left(\frac{T_M}{T_2} \right)^2 - 1 \right] \frac{1}{T_M p} \right\} R_0. \quad (3.40)$$

(3.40) tenglama o‘ng tomonidagi ifoda tahlili shuni ko‘rsatadiki, Z_1 qarshilik o‘zaro ketma-ket ulangan aktiv qarshilik va sig‘im elementlaridan tashkil topgan bo‘lib, ularning qiymatlari quyidagilarga teng:

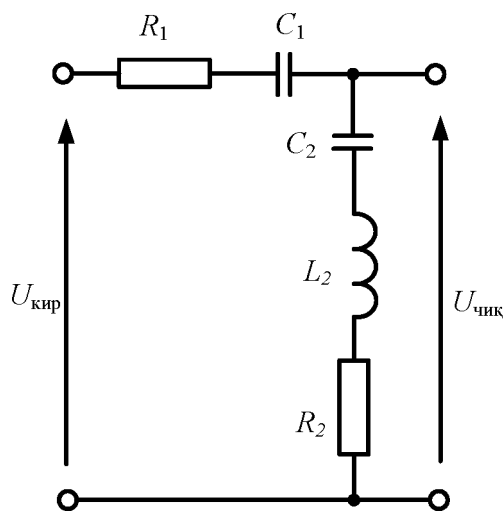
$$R_1 = 2 \left(D_2 \frac{T_M}{T_2} - D_M \right) R_0; C_1 = T_M / \left\{ \left[\left(\frac{T_M}{T_2} \right)^2 - 1 \right] R_0 \right\}. \quad (3.41)$$

Shunday qilib, nisbiy tinchlanish (dempferlash) darajasi D_M va vaqt doimiysi T_M bo‘lgan dastlabki IVO‘ chastota diapazonini IVO‘ ning talab qilinayotgan D_2 va T_2 qiymatlarda chastotaviy xarakteristikalarini o‘zaro ko‘paytirishga asoslangan usul yordamida kengaytirish uchun sintez qilingan korrektsiyalovchi sxema 3.7- rasmda keltirilgan ko‘rinishda bo‘lishi aniqlandi.

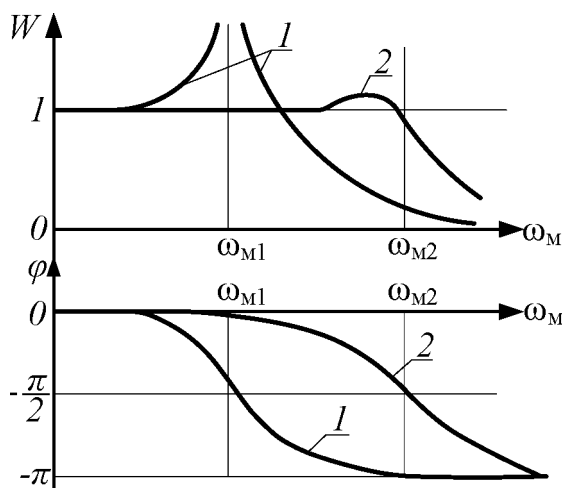
Aytib o‘tish joizki, 3.7- rasmdagi sxema yordamida IVO‘ chastota diapazonini undagi kondensator sig‘imi C_1 qiymatini rostlash hisobiga katta chegaralarda kengaytirish imkoniyati mavjud bo‘ladi (3.8- rasm).

Shunga e‘tiborni qaratish lozimki, T_2 vaqt doimiysi kamaytirilganda vibrotezlanishni o‘lchash rejimida ishlayotgan IVO‘ sezgirliги ham $k = T_2^2 / T_M^2$ marta kamayib ketadi.

Shunday qilib, vibrotezlanishni o‘lchash rejimida ishlayotgan IVO‘ sezgirliги uning chastota diapazonini korrektsiyalash natijasida mexanik tebranuvchi zanjir xususiy chastotasining kvadratiga proporsional ravishda kamayib ketadi.



3.7- rasm. IVO‘ uchun korreksiyalovchi sxema



3.8- rasm. IVO‘ ning ACHX va FCHX lari:
1 – korreksiyalashdan avval;
2 - korreksiyalangandan keyin

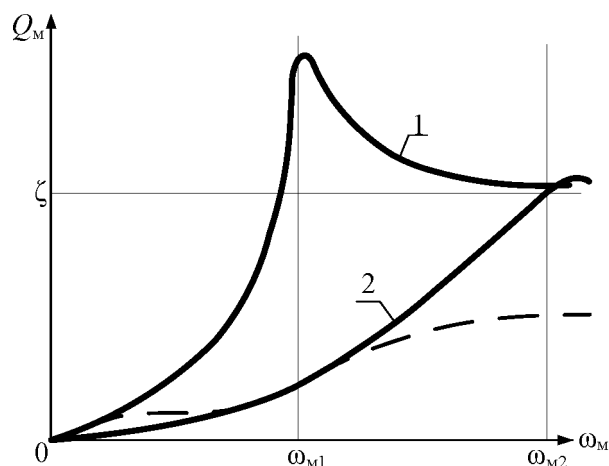
(3.39) dan ko‘rinib turibdiki, korreksiyalovchi sxema Z_2 kompleks qarshiligi tarkibiga kiruvchi aktiv qarshilik R_2 qiymati IVO‘ tinchlanish darajasiga proporsional. Bu holat IVO‘ tinchlanish darajasi qiymati harorat o‘zgarishi ta’sirida o‘zgarsa, korreksiyalangan IVO‘ chastotaviy xarakteristikasini harorat ta’sirida o‘zgarishini R_2 qarshilik harorat koeffitsiyentini IVO‘ tinchlanish darajasi harorat koeffitsiyentiga mutanosib qilib tanlash yo‘li bilan kompensatsiyalash imkoniyati yuzaga keladi.

Vibrotezlanishni o‘lchash rejimida ishlayotgan IVO‘ tinchlanish darajasi qiymatini korreksiyalash jarayonida korreksiyalovchi sxemadagi R_1 qarshilik qiymatini rostdash orqali katta chegaralarda o‘zgartirish mumkin.

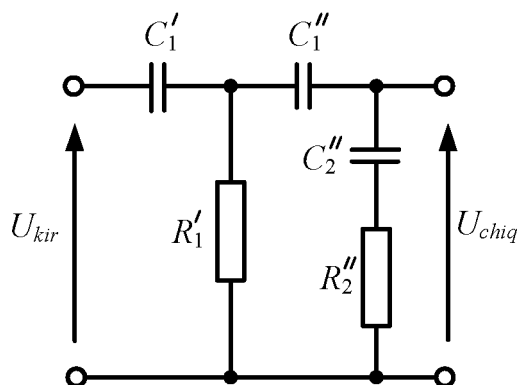
Korreksiyalovchi sxemani rostdash qiyinchilik tug‘dirmaydi: uni induktivlik qiymatini rostdash orqali oson amalga oshirish mumkin bo‘ladi.

Endi korreksiyalashda qanday fizik jarayonlar yuz berishiga e’tiborni qaratamiz. 3.9- rasmda mexanik zanjiridagi rezonans chastotasi ω_{01} ga teng bo‘lgan IVO‘ chastotaviy xarakteristikasi keltirilgan (1- egri chiziq). Avval ta’kidlab o‘tilganidek, o‘lchanayotgan vibratsiya chastotasi ω_M uchun $\omega_M > \omega_{01}$ shart bajarilganda, IE ning nisbiy vibro siljishi nazorat qilinayotgan obyekt

vibrosiljishiga, $\omega_M < \omega_{01}$ shart bajarilganda esa obyekt vibrotezlanishiga proporsional bo‘ladi.



3.9- rasm. IVO‘ ning chastotaviy xarakteristikalar: 1,2 – korreksiya-lashdan avvalgi va keyingi chastotaviy xarakteristikalar



3.10- rasm. RC- elementlaridan tashkil topgan korreksiyalovchi sxema

Dastlabki IVO‘ ni korreksiyalash natijasida uning chastota diapazoni dastlabki rezonans chastotasidan kattaroq bo‘lgan rezonans chastotasi ω_{01} gacha kengaytiriladi (3.9- rasmdagi 2- egri chiziq). Bunda obyekt vibrotebranishlari $\omega_M < \omega_{01}$ oraliqda o‘zgarganda IVO‘ signali korreksiyalovchi sxema tomonidan bir tekis, ammo chastota kvadratiga proporsional ravishda susayib boradi. $\omega_{02} > \omega_M > \omega_{01}$ oraliqda esa IVO‘ signalining susayish tezligi kamaysa-da, uning chastota kvadratiga proporsionalligi saqlanib qolaveradi. Obyekt vibrotebranishlari chastotasi ω_{02} qiymatga yaqinlashganda esa IVO‘ signali korreksiyalovchi sxema yordamida birmuncha ortadi.

3.7- rasmdagi sxema yordamida dastlabki IVO‘ chastota diapazoni kengaytirilganda quyidagi jarayonlar yuz beradi. Nazorat qilinayotgan obyekt vibrotebranishlari $\omega_M < \omega_{01}$ oraliqda o‘zgarganda sxema sig‘im elementlarining reaktiv qarshiliklari uning elementlari qarshiliklaridan sezilarli darajada ortadi, shuning uchun ham sxema o‘zini sig‘imli kuchlanish bo‘lgichi kabi tutadi. Chastota ω_M ning qiymati IVO‘ rezonans chastotasi ω_{01} ga yaqinlashganda sxemadagi o‘zaro ketma-ket ulangan sig‘im C_2 va induktivlik L_2 dan tashkil topgan va rezonans

rejimida qarshiligi faqat R_2 dan iborat bo'lgan tebranish konturi hisobiga IVO' signalning maksimal darajada susayishi yuz beradi. Obyekt vibrotebranishlarining chastotasi yanada ortib, $\omega_{02} > \omega_M > \omega_{01}$ oraliqda o'zgarganda, korreksiyalovchi sxemaning chiqish qarshiligi qiymati asosan chastota ortishi bilan ortib boradigan induktivlik L_2 reaktiv qarshiligi bilan aniqlanadi. Shuning uchun ham chastotaning bu oralig'ida sxema kuchlanish bo'lgichi koeffitsiyentining qiymati kamayadi. Chastota ω_M ning qiymati yangi rezonans chastotasi ω_{02} yaqinlashganda sig'im C_1 va induktivlik L_2 elementlaridagi rezonans tufayli chastotaviy xarakteristikaning ko'tarilishi yuz beradi hamda induktivlikdagi kuchlanish qiymati ortadi. Obyekt vibrotebranishlarining chastotasi qiymati $\omega_{02} > \omega_M > \omega_{01}$ oraliqda o'zgarganda chastotaviy xarakteristikada ko'tarilish yuz bermaganda edi, u xuddi tinchlanish darajasining qiymati o'zining kritik qiymatiga yaqin bo'lgan holatdagi kabi o'zgargan bo'lar edi (3.9- rasmdagi uzlukli egri chiziq).

Vibrotezlanishni o'lchashga mo'ljallangan IVO' lar inersion tizimi rezonans chastotasining qiymati juda kichik bo'lganligi sababli ular chastota diapazonini kengaytirishda tarkibida induktiv elementi bo'lgan korreksiyalovchi sxemani qo'llash maqsadga muvofiq bo'lmaydi. Bunday holatda faqat aktiv qarshilik va sig'im elementlaridan iborat bo'lgan korreksiyalovchi sxema tavsiya etiladi. Xatoliklarni modellash usuli yordamida sintez qilingan korreksiya sxemasi 3.10- rasmda keltirilgan. Ushbu sxemadagi elementlar parametrlarining xatoliklarni modellash usuli yordamida aniqlangan qiymatlari quyida keltirilgan:

$$\begin{aligned} C_1' &= \frac{T_2'}{R_0'}; \quad R_2' = R_0'; \quad C_1'' = \frac{T_2''(T_M^2 - T_2^2)}{[(T_M^2 - T_2^2) - 2T_2''(D_M T_M - D_2 T_2)]R_0''}; \\ R_2'' &= R_0''; \quad C_2'' = \frac{(T_M^2 - T_2^2)}{2(D_M T_M - D_2 T_2)R_0''}, \end{aligned} \quad (3.42),$$

bu yerda $T_2' = T_2 (D_2 - \sqrt{D_2^2 - 1})$; $T_2'' = T_2 (D_2 + \sqrt{D_2^2 - 1})$.

Shunday qilib, yuqorida keltirilgan korreksiyalovchi sxema(filtr)lar yordamida vibrotezlanishni o'lchashga mo'ljallangan yaratilgan IVO' lar chastota diapazonini kengaytirish imkoniyati yuzaga keladi. Bu esa yaratilgan IVO' lar qo'llanish sohalarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Uchinchi bob bo'yicha xulosalar

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlari statik xarakteristikasining hosil qilingan analitik ifodasi va undagi ishchi havo oralig'i (δ_{III})ning turli qiymatlari uchun qurilgan grafiklari tahlili yaratilgan o'zgartirgichlar statik xarakteristikalari vibratsiya parametrlarini o'lchash diapazonida chiziqliligini saqlab qolishini ko'rsatadi.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlari kirishiga garmonik o'zgaruvchi kattalik berilganda, uning chiqishidagi o'tkinchi tok chastotasi kirish kattaligi chastotasi bilan tebranadigan majburiy, miqdorlari mos ravishda mexanik va chiqish elektr zanjiri vaqt doimiylariga bog'liq ravishda so'no'vchi ikkitata erkin tashkil etuvchilarning algebraik yig'indisidan tashkil topgan.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlari chiqishidagi majburiy tebranishlar amplitudasi ulardagi boshlang'ich shartlarga va vaqtga bog'liq bo'lmaydi, uning maksimal qiymati mexanik tebranish zanjirida rezonans yuz berishidan avvalroq yuz beradi, so'nish koeffitsiyentlari noldan katta bo'lganda chiqish signali va kirish kattaligi orasida doim faza siljish burchagi mavjud bo'lib, aktiv xarakterdagi yuklamada uning maksimal qiymati ($\pi/2$) mexanik zanjirda rezonans yuz berganda erishadi.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlari avtomatik boshqarish tizimlarining struktura sxemalarida o'zaro ketma-ket ulangan tebranuvchi, ideal differensiallovchi va birinchi tartibli inersion zvenolar ko'rinishida aks ettirilishi mumkin.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlarini korreksiyalash natijasida uning chastota diapazoni dastlabki rezonans chastotasi (ω_{01})dan kattaroq bo'lgan rezonans chastotasi (ω_{02}) gacha kengaytirilganda va obyekt vibrotebranishlari chastotasi (ω_M) $\omega_M < \omega_{01}$ oraliqda o'zgarganda o'zgartirgichlar signali bir tekis, ammo chastota kvadratiga proporsional ravishda susayib boradi, $\omega_{02} > \omega_M > \omega_{01}$ oraliqda esa signal susayishining tezligi kamayadi, ω_M chastota ω_{02} qiymatga yaqinlashganda esa signal kattaligi birmuncha ortishi kuzatiladi.

4-BOB. INDUKSION VIBRATSIYA O'ZGARTIRGICHLARINING XATOLIGI VA ISHONCHLILIGI

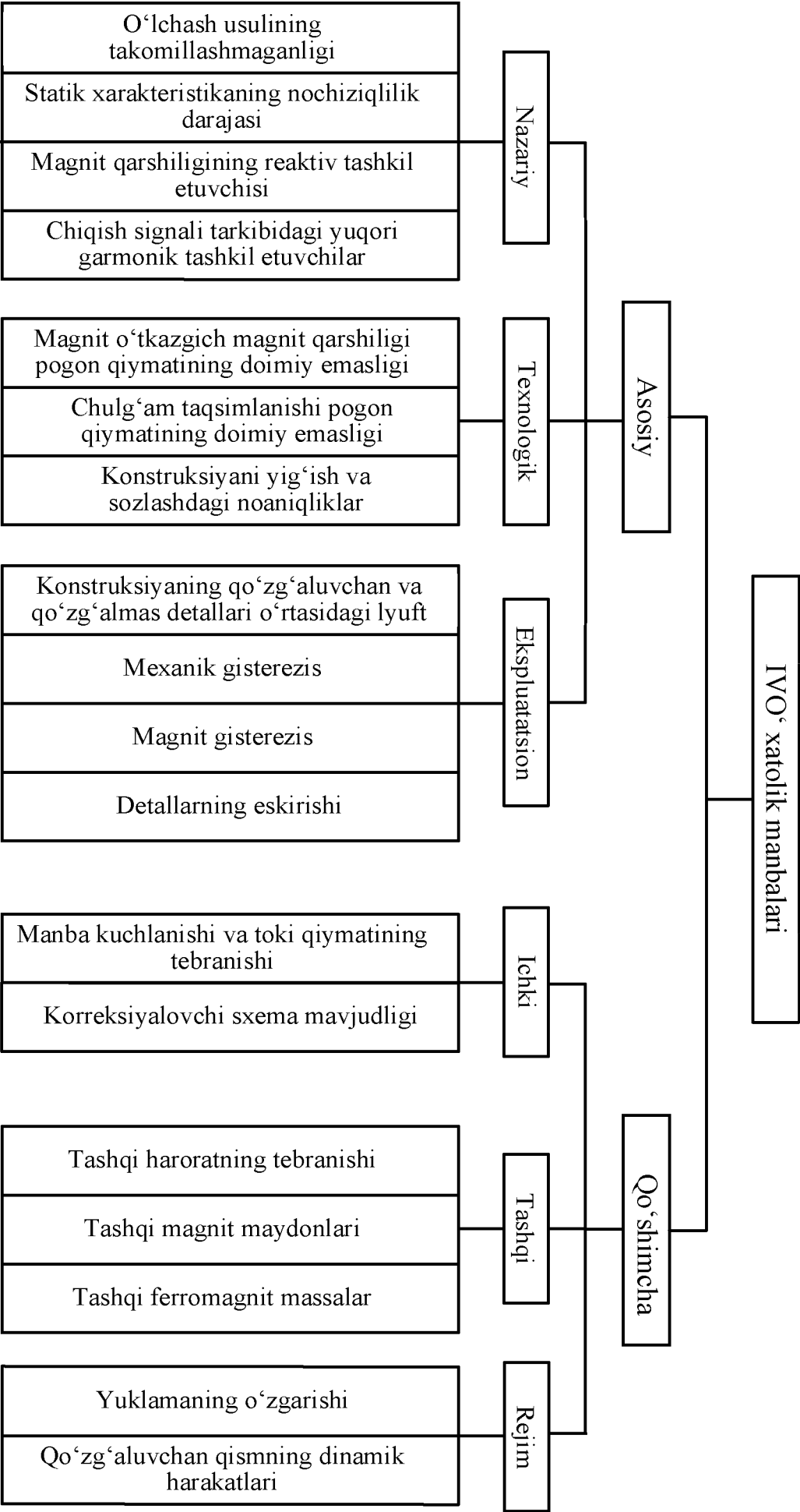
§4.1. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining xatolik manbalari

Vibratsiya parametrlarini o'lchash real obyekt vibratsiyasining murakkab xarakteri, ya'ni nazorat qilinayotgan obyektning mexanik tizim sifatidagi erkinlik darajasi, tebranishlar spektrining kengligi, davriy yoki nodavriyligi bilan uzviy bog'liq bo'ladi [45, 139-166 b.]. Vibratsiya parametrlarini o'lchash xatoligini baholashda barcha holatlar uchun biron bir yagona yondashuvni tavsiya etish imkonsiz masala hisoblanadi. Vibratsiya xarakteri va o'lchashlar o'tkaziladigan shart-sharoitlar ma'lum bo'lsagina, vibratsiya parametrlarini o'lchash xatoligini yetarli darajada to'laroq baholash imkoniyati paydo bo'ladi [30;31; 45, 723-728 b.].

Ma'lumki, o'lchanayotgan vibratsiya kattaligining $[t_1 \div t_2]$ vaqt oralig'idagi barcha oniy qiymatlarini bilish ushbu o'lchanayotgan kattalik to'g'risidagi to'la ma'lumotga ega bo'lish demakdir. Ammo, ko'pincha, o'lchanayotgan vibratsiya kattaligining quyidagi bir nechta parametrlari to'g'risida ma'lumotga ega bo'lish yetarli bo'ladi: garmonik tashkil etuvchilarning amplitudasi, chastotasi va boshlang'ich fazalari; davriy tebranishlarning og'ish ko'lami ("pazmax"), o'rtacha va effektiv qiymatlari. O'lchash xatoliklarini aniqlashda o'lchanayotgan vibratsiya kattaligining ushbu parametrlarini inobatga olish zarur bo'ladi.

IVO' lar tasnifiga oid nashr etilgan ilmiy manbalarni tahlil etish asosida tuzilgan tasnif 4.1- rasmda keltirilgan bo'lib, unga ko'ra xatolik asosiy va qo'shimcha xatolik tashkil etuvchilariga bo'linadi.

Ma'lumki [42, 34 b.], O'O' ning asosiy xatolik manbalariga ularni normal ish sharoitida (qo'zg'atish chulg'amiga berilayotgan tok yoki kuchlanish miqdori nominal, shakli sinusoidal, chastotasi esa mutadil bo'lganda, atrof-muhitning normal haroratida, tashqi elektr, magnit maydonlari va ferromagnit massalar



4.1- rasm. IVO' xatolik manbalarining tasnifi

bo'lmaganida, kirish kattaligining barcha tartibli hosilalari nolga teng bo'lganda hamda chiqishidagi yuklama o'zgaras bo'lganda) aniqlangan xatolik manbalari kirsa, qo'shimcha xatolik manbalariga esa O'O' ning normal ish sharoitidan og'gan paytda yuzaga keladigan xatolik manbalari kiradi [74, 24-25 b.].

Biz yaratilgan IVO' lar xatoliklarini tadqiq etishda ularning kirishiga berilayotgan vibratsion tebranishlar garmonik qonuniyatga bo'yso'nadi, deb hisoblaymiz. Chunki, agar o'lchanayotgan vibratsion tebranishlar tarkibida davri birinchi(asosiy) garmonika davridan biroz bo'lsa-da farq qiladigan garmonika mavjud bo'lsa, u holda o'sha garmonikani o'lchashda yuzaga keladigan xatolikni natijaviy xatolikni hisoblashda inobatga olishni ko'zda tutuvchi qo'shimcha shartlarni kiritish talab etiladi.

§4.2. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining asosiy xatoliklari

1. *O'lchash usulining takomillashmaganligi tufayli yuzaga keladigan xatolik* [58,73]. IVO' vibratsiya parametrlarining chiziqli komponentlarini o'lchayotganda nazorat qilinayotgan obyektida vibratsiyaning burama komponentlari ham mavjud bo'lganda, o'lchash jarayonida usul xatoligi yuzaga keladi. Ushbu xatolikni kamaytirish maqsadida, masalan, IVO' oz o'qi bo'ylab chiziqli tebranish parametrlarini o'lchayotganda quyidagi shart bajarilishi talab etiladi:

$$\omega_0^2 = (\omega_x^2 + \omega_y^2)_{max}, \quad (4.1)$$

bu yerda ω_x, ω_y – nazorat qilinayotgan obyektning mos ravishda ox va oy o'qlari atrofidagi burama tebranishlarining chastotalari.

Texnologik xarakterdagi xatolik manbalariga IVO' alohida elementlarining yasalish, yig'ilish va rostlanish jarayonidagi xatoliklar mansub bo'ladi.

Aytib o'tish joizki, yuzaga kelish qonuniyatiga ko'ra xatoliklar muntazam va tasodifiy turlarga bo'linsa-da, ko'pincha ularning chegarasini belgilash qiyin masala hisoblanadi [40, 24-29 b.]. Shuning uchun ham IVO' lar texnologik xatoliklari, ko'pincha, taqsimlanish qonuniyati normal bo'lgan tasodifiy kattaliklar sifatida qaraladi [45, 725 b.]. O'lchash xatoligining o'lchanayotgan kattalik qiymatiga

bog'liqligi murakkab xarakterga ega bo'lsa-da, ko'pchilik hollarda, uni quyidagi ikki had yordamida approksimatsiyalash mumkin bo'ladi [40, 34 b.]:

$$\zeta = \zeta_0 + \gamma_s a, \quad (4.2)$$

bu yerda ζ , ζ_0 , γ_s – mos ravishda o'lchanayotgan vibratsion tezlanish a bilan funksional bog'langan natijaviy xatolik, uning additiv (nul xatoligi) va vibratsion tezlanish a ga proporsional bo'lgan multiplikativ (sezgirlik xatoligi) tashkil etuvchilari.

Bunda nisbiy xatolik qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = \frac{\zeta_0}{a} + \gamma_s. \quad (4.3)$$

IVO' larining o'lchash xatoliklarini bitta o'zgartirgich yordamida turli sharoitlarda o'lchash bir-biridan keskin farq qiladigan qiymatlarni berishi mumkin [45, 729-740 b.]. Shuning uchun ham xatoliklarni asosiy va qo'shimcha xatoliklarga ajratish maqsadga muvofiq hisoblanadi [5, 289-297 b.]. Ma'lumki [40, 19 b.], O'O' ning asosiy xatoliklari u normal sharoitlarda ishlaganda yuzaga keladi. Qo'shimcha xatoliklar O'O' ga ta'sir etuvchi omillarni ularning normal qiymatlaridan og'ganida yuzaga keladi. O'O' larining qo'shimcha xatoliklari, ko'pincha, ta'sir etuvchi omil kattaligi birligiga to'g'ri keluvchi koeffitsiyent shaklida beriladi [40, 78 b.].

IVO' lar dinamik xatoliklari ularning o'lchanayotgan vibratsiya parametrlarining tezkor o'zgarishiga oniy ravishda reaksiya qila olmasliklaridan va IVO' larga ko'rsatiladigan salbiy dinamik ta'sirlar natijasida yuzaga keladi [45, 729 b.]. Biz ushbu dissertatsiyada IVO' lardagi tezlanish va siljish o'zgartirgich (TO' va SO')lari elementar zvenolarida yuzaga keladigan dinamik xatoliklarni aniqlash masalasiga to'xtalamiz. Bu xatoliklar, oxir oqibat, IVO' lar o'zgartirgich funksiyalarining nochiziqligiga sababchi bo'ladi [5, 298 b.].

2. *IVO' larning dinamik xatoliklari.* Dissertatsiyaning 3.2- paragrafida yaratilgan IVO' lari dinamik xarakteristikalarini nazariy tadqiq etish natijasida hosil qilingan (3.26) ifoda va uning asosida qurilgan ACHX lari (3.4- rasm)dan shu narsa kelib chiqadiki, IVO' lar amplituda xatoligi vibratsion tebranishlar chastotasi (ω_M) va mexanik tebranish zanjiri xususiy chastotasi (ω_0) nisbati $\xi_M = \omega_M/\omega_0$ hamda

IVO‘ mexanik zanjirining nisbiy tinchlanish(dempferlash) darajasi $D_M = \delta_M/\omega_0$ larga bog‘liq bo‘lib, quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\delta_A = \left(\frac{1}{\sqrt{(1-\xi_M^2)^2 + 4\xi_M^2 D_M^2}} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

(3.27) ifoda va uning asosida qurilgan FCHX lari(3.5- rasm)dan ko‘rinadiki, yaratilgan IVO‘ larining fazaviy xatoligi ham ξ_M va D_M qiymatlariga bog‘liq bo‘ladi va ushbu xatolik FCHX $\varphi(\xi_M)$ ni proporsional xarakteristika $\varphi_\Pi(\xi_M)$ dan og‘ishi ko‘rinishida quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

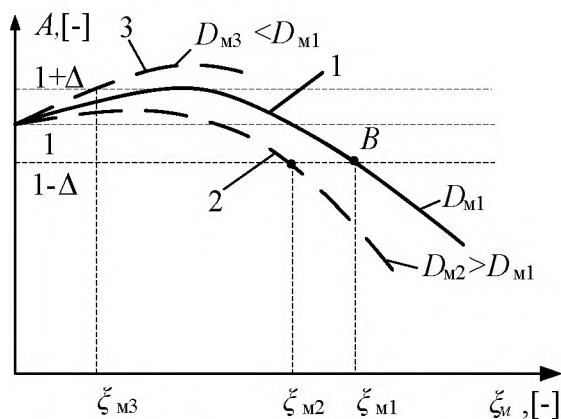
$$\Delta\varphi = \varphi(\xi_M) - \varphi_\Pi(\xi_M) = \arctg \frac{2D_M\xi_M}{1-\xi_M^2} - \varphi_\Pi(\xi_M). \quad (4.5)$$

Hosil qilingan (4.4) va (4.5) ifodalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ξ_M va D_M lar qiymatlarini tanlash orqali yaratilgan IVO‘ lari dinamik xatoliklarini kamaytirish mumkin. ξ_M va D_M lar optimal qiymatlarini turli optimallashtirish mezonlari asosida, ya’ni, masalan, quyidagi masalalarni yechish orqali topish mumkin [45, 168-175 b.]:

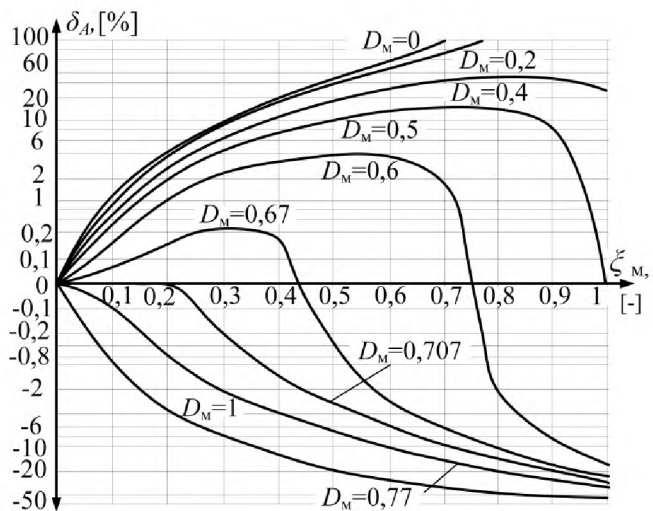
- 1) IVO‘ kirishiga zinasimon o‘zgaruvchi kattalik berilganda uning chiqishidagi o‘tkinchi xarakteristika davomiyligini minimallashtirish;
- 2) IVO‘ kirishiga garmonik o‘zgaruvchi kattalik berilganda chastotalarni o‘tkazish kengligini minimallashtirish;
- 3) berilgan chastota diapazonida faza buzilishlarini minimallashtirish.

Vibratsion tezlanishlarni o‘lchashda chastota bo‘yicha o‘lchash diapazonini belgilovchi chastotalarni o‘tkazish (amplitudani birdan og‘ishi ruxsat etilgan dinamik xatolik Δ dan oshmaydigan) kengligi asosiy mezon hisoblanadi.

(3.26) ifoda va uning asosida qurilgan grafiklar (4.2- rasm) tahlili shuni ko‘rsatadiki, chastotalarni o‘tkazish kengligining maksimal qiymatiga mos keluvchi D_M ning optimal qiymati mavjud. Ushbu grafikdan ko‘rinib turibdiki, nisbiy tinchlanish darajasining D_{M1} ning optimal qiymati mavjud. Ushbu grafikdan ko‘rinib turibdiki, nisbiy tinchlanish darajasining ξ_{M1} ga erishadi. Bunda $A = f(\xi_M)$ funksiyaning maksimum qiymati uning ruxsat etilgan chegaraviy qiymati $(1 + \Delta)$ ga mos keladi.



4.2- rasm. ξ_M ning turli qiymatlari uchun $A = f(\xi_M)$ funksiya grafiklari



4.3- rasm. D_M ning turli qiymatlari uchun $\delta_A = f(\xi_M)$ funksiya grafiklari

Chastotalarni o'tkazish kengligining chegaraviy qiymati ξ_{M1} egri chiziqli 1 dagi B nuqta absissasi bilan aniqlanadi (4.2- rasm).

Yaratilgan IVO'lar nisbiy tinchlanish darajasining $D_{M2} > D_{M1}$ va $D_{M3} < D_{M1}$ qiymatlariga mos keluvchi ACHX lari egri chiziqlari (4.2- rasmdagi 2 va 3 egri chiziqlar) uchun chastotalarni o'tkazish kengligining chegaraviy qiymatlari ξ_{M2} va ξ_{M3} egri chiziqli 1 uchun o'rinli bo'lgan ξ_{M1} qiymatdan kichik.

Shunday qilib, nisbiy tinchlanish darajasi D_M ning optimal qiymatini topish masalasi uning shunday qiymatini aniqlashga olib kelinadiki, bunda $A = f(\xi_M)$ funksiyaning maksimumi $(1 + \Delta)$ qiymatga teng bo'lsin.

D_M ning optimal qiymatini topish maqsadida $A = f(\xi_M)$ funksiyaning qiymati maksimum bo'ladigan ξ_M qiymatini topamiz. Buning uchun (3.26) funksiyani ξ_M bo'yicha hosilasini nolga tenglaymiz, ya'ni:

$$\frac{dA}{d\xi_M} = \left\{ [(1 - \xi_M^2)^2 + 4\xi_M^2 D_M^2]^{-\frac{1}{2}} \right\}'_{\xi_M} = 0. \quad (4.6)$$

(4.6) tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\xi_M = \pm \sqrt{1 - D_M^2}. \quad (4.7)$$

(3.26) tenglamaning chap tomoniga (4.7) yechimni, uning o'ng tomoniga esa 4.2- rasmdagi $A = f(\xi_M)$ funksiya egri chizig'i 1 uchun maksimal qiymati $(1 + \Delta)$ ni qo'yib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$1 + \Delta = \frac{1}{\sqrt{4D_M^2(1 - D_M^2)}}. \quad (4.8)$$

Yuqoridagi (4.8) tenglamadan yaratilgan IVO' lar mexanik tebranish zanjiri nisbiy tinchlanish darajasi D_M ning quyidagi optimal qiymatini topamiz:

$$D_{M,opt} = \sqrt{\frac{1 + \Delta - \sqrt{\Delta(2 + \Delta)}}{2(1 + \Delta)}}. \quad (4.9)$$

$D_{M,opt}$ qiymatga mos keladigan ξ_M qiymatini topish uchun (3.26) tenglamaning chap tomonidagi D_M o'rniga uning (4.9) dagi qiymatini, o'ng tomoniga esa $A = f(\xi_M)$ funksiya egri chizig'i 1 ning chastotalarni o'tkazish kengligi qiymatiga mos keluvchi B nuqtasiga mos keluvchi $(1 - \Delta)$ qiymatini qo'yib, uncha murakkab bo'lmagan almashtirishlardan keyin chastotalarni o'tkazish kengligi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\xi_{M,k} = \sqrt{\frac{\Delta(2 + \Delta)}{(1 + \Delta)^2} + \frac{2\sqrt{\Delta}}{1 - \Delta^2}}. \quad (4.10)$$

Yaratilgan IVO' lar uchun chastotalarni o'tkazish kengligining haqiqiy qiymati quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$\xi_{M,k,h} = \xi_{M,k} \cdot \omega_0. \quad (4.11)$$

Agar ξ_M va D_M larning turli qiymatlari uchun (4.4) yordamida IVO' amplituda xatoligi δ_A qiymatlari hisoblab topilgan bo'lsa, u holda IVO' ning berilgan chastota diapazoni uchun chiqish signali amplituda bo'yicha buzilishining minimal yoki ruxsat etilgan qiymatini aniqlash uchun mexanik tebranish zanjiri xususiy chastotasi ω_0 va nisbiy tinchlanish darajasi D_M larning optimal qiymatini topish masalasi ancha osonlashadi.

δ_A qiymatlarini hisoblash natijalari dissertatsiya ilovasidagi 4.1- jadvalda, ular asosida qurilgan grafiklar esa 4.3- rasmda keltirilgan. Ushbu ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, chastotalarni o'tkazish kengligining eng katta qiymati ($\xi_M = 0,5$)

berilgan $\delta_A \leq 0,6 \%$ uchun $D_M = 0,67$. Chastotalar nisbatining qiymati $0 \leq \xi_M \leq 0,3$ oraliqda bo'lganda eng kichik amplituda xatolik ($\delta_A \leq 0,4 \%$) ka erishish uchun nisbiy tinchlanish darajasi $D_M = 0,707$ qiymatga teng bo'lishi aniqlandi.

Shunday qilib, yuqorida o'tkazilgan nazariy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, yaratilgan IVO' lar kirishiga garmonik qonuniyat bilan o'zgaradigan o'lchanayotgan kattalik (vibratsion tebranishlar) berilganda IVO' lar amplituda dinamik xatoligini kamaytirish uchun o'lchash qurilmasidagi TO' zvenosi xususiy chastotasini oshirish va nisbiy tinchlanish darajasi optimal qiymatini tanlash talab etiladi.

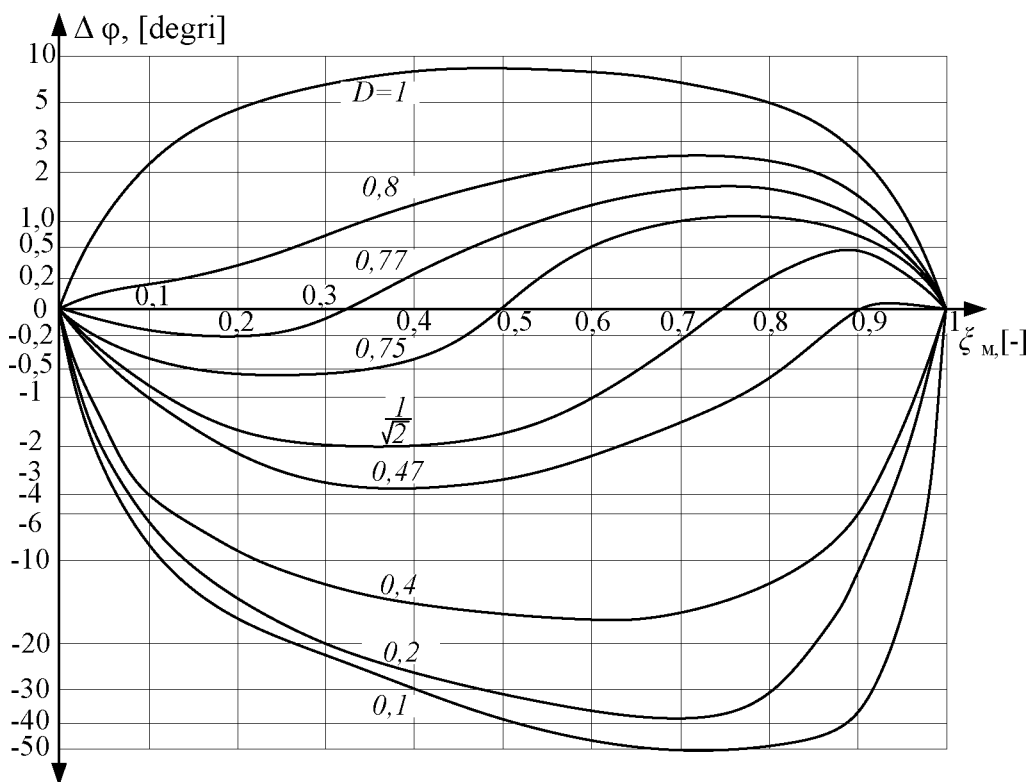
Yaratilgan IVO' lar TO' zvenosi tomonidan chiqish signalining faza jihatdan buzilishini minimallashtirish uchun ham ushbu zveno ξ_M va D_M optimal qiymatlarini tanlash kerak bo'ladi.

IVO' larning ideal (faza jihatdan buzilmagan) ko'rinishdagi FCHX uchun koordinata tekisligining (0) va $(1, \frac{\pi}{2})$ nuqtalaridan o'tuvchi hamda absissa o'qi bilan quyidagi burchakni tashkil etuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan proporsional xarakteristikani qabul qilamiz:

$$\epsilon = \arctg \frac{\pi}{2} = 1,004 = 57^{\circ}37'. \quad (4.12)$$

Ushbu burchak qiymati real FCHX ga o'tkazilgan urinmaning absissa o'qi bilan hosil qilgan burchagi qiymatiga qancha yaqin bo'lsa, real FCHX uning ideal xarakteristikasiga shuncha yaqin bo'ladi.

(4.5) formula asosida ξ_M va D_M larning turli qiymatlari uchun TO' zvenosi chiqish va kirish kattaliklari o'rtasidagi faza siljish burchagi (φ) ning hisoblangan qiymatlari 4.2- jadvalda, ular asosida qurilgan grafiklar esa 4.4- rasmda keltirilgan. Ushbu jadval ma'lumotlari va grafiklar asosida ω_0 va D_M optimal qiymatlarini tanlash mumkin bo'ladi. Ularning tahlili shuni ko'rsatadiki, $0 \leq \xi_M \leq 1,0$ oraliq uchun minimal xatolik ($\Delta\varphi_{max} = 1^{\circ}18'$) nisbiy tinchlanish darajasi $D_M = 0,75$ bo'lganda erishiladi. Agar o'lchanayotgan kattalik nisbiy chastota diapazoni $\xi_M = 0,4$ dan oshmasa, u holda $D_M = 0,77$ bo'lganda $\Delta\varphi_{max} = 18'$ ni tashkil etadi. Agar IVO' faza bo'yicha xatoligi minimal bo'lishi juda muhim bo'lsa, u holda



4.4- rasm. D_M ning turli qiymatlari uchun $\varphi = f(\xi_M)$ funksiya grafiklari

FCHX ga ko‘ra (3.5- rasimga qarang!) nisbiy tinchlanish darajasining qiymatini juda kichik tanlash talab etiladi.

Shunday qilib, yaratilgan IVO‘ lar amplitudaviy va fazaviy xatoliklarini kamaytirish maqsadida ular optimal parametrlarini tanlash jarayoni shuni ko‘rsatadiki, ACHX va FCHX o‘zaro bog‘liq bo‘lganligi sababli bir vaqtning o‘zida ham amplitudaviy ham fazaviy xatoliklarni minimallashtirishning imkoni bo‘lmaydi.

§4.3. Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlarining qo‘shimcha xatoliklari

O‘O‘ lar, shu jumladan, yaratilgan IVO‘ lar qo‘shimcha xatoliklarining asosiy manbalariga quyidagilar kiradi [40, 23-27 b.; 64, 45-53 b.]: 1) atrof-muhit haroratining tebranishi; 2) manba parametrlarining doimiy emasligi; 3) tashqi magnit, elektr va akustik maydonlarning ta’siri; 4) namlik, bosim va boshqalarning o‘zgarishi.

Yuqorida keltirilgan xatolik manbalarini yaratilgan IVO‘ lar o‘lchash natijalariga ta’sirini ko‘rib chiqamiz [74].

1) IVO‘ IE ni neytral holatda ushlab turuvchi elastik element xarakteristikalarining harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha xatolik. Tadqiq etilayotgan IVO‘ larida elastik element elektromagnit yoki mexanik prujina ko‘rinishida yasalishi mumkin [66, 44-48 b.]. Pujinali osmalarning minimal xatolik bilan ishlashini ta’minlovchi eng muhim xossalarga quyidagilar kiradi: elastiklik moduli qiymatining kichik bo‘lishi va uni harorat o‘zgarishiga sezgirligining pastligi; elastiklik va mustahkamlik chegaralarining yuqoriligi; gisterizis qiymatining kichikligi; issiqlikdan chiziqli kengayish koeffitsiyentining kichikligi. Yuqoridagi xossalarga ega bo‘lgan osma berilliyli bronzadan yasalgan prujina hisoblanadi [66, 46 b.].

Harorat o‘zgarganda prujinali osmaning geometrik o‘lchamlari va elastiklik moduli, bularning natijasida esa osmaning mexanik qattiqligi W_M o‘zgaradi. W_M o‘zgarishi esa IVO‘ mexanik zanjirining xususiy burchak chastotasi $\omega_0 = \sqrt{W_M/L_M}$ ning o‘zgarishiga sababchi bo‘ladi.

W_M ning harorat o‘zgarishi ΔT ga bog‘liqligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$W_M = W_{M0}(1 + \alpha_W \Delta T), \quad (4.13)$$

bu yerda W_{M0} - osma mexanik qattiqligining normal haroratdagi qiymati; $\alpha_W, [(\text{°C})^{-1}]$ – elastiklikning harorat koeffitsiyenti.

(3.26) ifodani quyidagi ko‘rinishda yozib olamiz:

$$A = \frac{W_M}{\sqrt{(W_M - L_M \omega_M^2)^2 + 4\omega_M^2 D_M^2 L_M W_M}}. \quad (4.14)$$

$A = f(W_M)$ funksiyani Makloren qatoriga yoyib, uning dastlabki ikkita hadi bilan cheklanamiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$A = A_0 + \frac{\partial A}{\partial W_M} \cdot \frac{\partial W_M}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T. \quad (4.15)$$

(4.15) tenglikdan tashqi muhit harorati o'zgarishi tufayli yaratilgan IVO' larda prujinali osma qattiqligining o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan amplitudaviy nisbiy xatolik quyidagi ifoda yordamida hisoblab topiladi:

$$\gamma_{W_M} = \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial W_M} \cdot \frac{\partial W_M}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T. \quad (4.16)$$

(4.14) ifodadan W_M bo'yicha hosila olib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{\partial A}{\partial W_M} = \frac{L_M \omega_M^2 [W_M (2D_M^2 - 1) + L_M \omega_M^2]}{\sqrt{[(W_M - L_M \omega_M^2)^2 + 4\omega_M^2 D_M^2 L_M W_M]^3}}. \quad (4.17)$$

(4.13) ifodadan ΔT bo'yicha hosila olib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{\partial W_M}{\partial \Delta T} = W_{M0} \alpha_W. \quad (4.18)$$

(4.16) ga (4.14) (4.17) va (4.18) larni qo'yib, amplitudaviy nisbiy xatolik uchun quyidagi yakuniy ifodani hosil qilamiz:

$$\gamma_{W_M} = \frac{L_M \omega_M^2 [W_M (2D_M^2 - 1) + L_M \omega_M^2] W_{M0} \alpha_W}{W_M [(W_M - L_M \omega_M^2)^2 + 4\omega_M^2 D_M^2 L_M W_M]} \cdot \Delta T. \quad (4.19)$$

Tashqi muhit harorati o'zgarishi tufayli yaratilgan IVO' lar prujinali osma qattiqligining o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan fazaviy nisbiy xatolikni hisoblash formulasini topish uchun (3.27) ifodani quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$\varphi = \arctg \frac{2\omega_M D_M \sqrt{L_M W_M}}{W_M - L_M \xi_M^2}. \quad (4.20)$$

(4.20) funksiyani ham Makloren qatoriga yoyib, uning dastlabki ikkita hadi bilan cheklanamiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta \varphi_{W_M} = \frac{\partial \varphi}{\partial W_M} \cdot \frac{\partial W_M}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T. \quad (4.21)$$

(4.20) ifodadan W_M bo'yicha hosila olishdan hosil bo'lgan ifodani va (4.18) ni (4.21) tenglama o'ng tomoniga qo'yib, fazaviy nisbiy xatolikni hisoblashning quyidagi yakuniy formulasini hosil qilamiz:

$$\Delta \varphi_{W_M} = - \frac{\omega_M D_M \sqrt{L_M} (W_M + L_M \omega_M^2) W_{M0} \alpha_W}{\sqrt{W_M} [(W_M - L_M \omega_M^2)^2 + 4\omega_M^2 D_M^2 L_M W_M]} \cdot \Delta T. \quad (4.22)$$

IVO' konsol ko'rinishidagi elastik osma mexanik qattiqligini harorat o'zgarishi sababli o'zgarishini quyidagi munosabat yordamida aniqlash mumkin [64, 136-137 b.]:

$$\left[1 - \frac{1}{(1+\alpha_T\Delta T)(1+\alpha_E\Delta T)}\right] \cdot 100 \approx 100\Delta T(\alpha_T + \alpha_E), \quad (4.23)$$

bu yerda $\alpha_T, [(\text{°C})^{-1}]$; $\alpha_E, [(\text{°C})^{-1}]$ – elastik element materialining mos ravishda issiqlikdan chiziqli kengayish va modul E ning issiqlik koeffitsiyentlari.

$\alpha_T = 16,6 (\text{°C})^{-1}$; $\alpha_E = -35 (\text{°C})^{-1}$ bo‘lgan berilliyli bronza materiali uchun harorat $-50 \div +50 \text{ °C}$ oraliqda o‘zgarganda elastik osma qattiqligi qiymatining o‘zgarishi foiz hisobida $0,0032 \text{ \%/°C}$ ni tashkil etadi.

2) *IVO‘ nisbiy tinchlanish darajasi qiymatini harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha xatolik.* Tashqi muhit harorati o‘zgarganda IVO‘ nisbiy tinchlanish darajasi qiymatining o‘zgarishi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$D_M = D_{M0}(1 + \alpha_{D_M}\Delta T), \quad (4.24)$$

bu yerda D_{M0} ; α_{D_M} - nisbiy tinchlanish darajasining mos ravishda normal haroratdagi qiymati va harorat koeffitsiyenti.

(3.26) ifoda asosida xuddi yuqoridagi ketma-ketlikdagi amallarni D_M bo‘yicha bajarib, IVO‘ nisbiy tinchlanish darajasi qiymatini harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha amplitudaviy xatolikni topish imkonini beruvchi formulasini hosil qilamiz:

$$\gamma_{D_M} = \frac{\partial A}{\partial D_M} \cdot \frac{\partial D_M}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T \frac{1}{A} = \frac{(1-\xi_M^2)^2 + 4D_M\xi_M^2(D_M-1)D_{M0}\alpha_{D_M}\Delta T}{(1-\xi_M^2)^2 + 4D_M\xi_M^2}. \quad (4.25)$$

Nisbiy tinchlanish darajasi qiymatini harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha fazaviy xatolik qiymatini quyidagi formula yordamida topish mumkin:

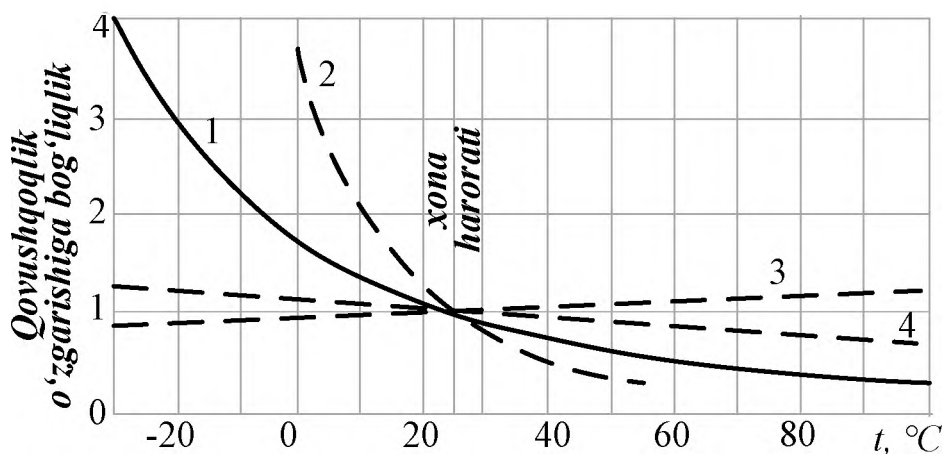
$$\Delta\varphi_{D_M} = \frac{\partial\varphi}{\partial D_M} \cdot \frac{\partial D_M}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T = \frac{2\xi_M(1-\xi_M^2)D_{M0}\alpha_{D_M}\Delta T}{(1-\xi_M^2)^2 + 4D_M\xi_M^2}. \quad (4.26)$$

Yuqorida hosil qilingan ifodalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, nisbiy tinchlanish darajasi qiymatini harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha xatolikni kamaytirish uchun dempferlash koeffitsiyentini haroratga bog‘liqlik darajasini kamaytirish talab etiladi.

Havoli tinchlantirgich (dempferlash) xarakteristikasi harorat o'zgarishiga eng mu'tadil hisoblanadi va elektr o'lchash texnikasida, shu jumladan, IVO' larda ham keng qo'llaniladi [18, 56-59 b.]. Bu havo qovushqoqligini haroratga juda kam bog'liqligi bilan izohlanadi.

4.5- rasmda tinchlantirgich vazifasini bajaruvchi turli muhit nisbiy dinamik qovushqoqligi (η^*) ni haroratga bog'liqlik egri chiziqlari keltirilgan. Ushbu egri chiziqlar tahlili shuni ko'rsatadiki, havoli tinchlantirgich qovushqoqligi harorat o'zgarishi bilan juda kam o'zgaradi.

3) IVO' doimiy magnitlari va qo'zg'atish hamda o'lchash chulg'amlari qarshiliklarining harorat nomutadilligi tufayli o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo'shimcha xatoliklar.



4.5- rasm. IVO' larda tinchlantirgich vazifasini bajaruvchi turli muhit va elektromagnit tinchlantirgich nisbiy qovushqoqligini haroratga bog'liqlik egri chiziqlari: 1 – silikonli moy; 2 – neftdan olingan moy; 3 – havo; 4 – elektromagnit tinchlantirgich

Doimiy magnit magnit induksiyasi qiymatining harorat o'zgarishiga bog'liqligi quyidagi ifoda bilan tavsiflanadi [40, 112-113 b.]:

$$B = B_0(1 + \alpha_B \Delta T), \quad (4.27)$$

bu yerda B_0 – magnit induksiyasining normal haroratdagi qiymati; $\alpha_B = \frac{\Delta B}{B_0 \Delta T}, [(\text{°C})^{-1}]$ - magnit induksiyasining harorat koeffitsiyenti; ΔB – magnit induksiyasining harorat ΔT ga o'zgargandagi o'zgarishi.

Doimiy magnit tayyorlanadigan ko'pgina magnitqattiq materiallar uchun α_B qiymatlari $(0,015 \div 0,48) \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ oraliqda bo'ladi. Shuning uchun ham IVO' larda qo'llaniladigan tashqi harorat $(-180 \div +600) ^{\circ}\text{C}$ oralig'ida o'zgarganda ham doimiy magnitlar magnit xossalarini o'zgarishi hisobga olmaslik darajada kichik qiymatda bo'ladi.

Aksariyat hollarda, IVO' larda hosil qilinayotgan magnit maydoni induksiyasi qiymatini rostdlash imkoniyatini yaratish maqsadida ulardagi doimiy magnitlarda qo'zg'atish chulg'amlari ham ko'zda tutiladi va ular o'zgarmas kuchlanish yoki tok manbalaridan ta'minlanadi.

Chulg'amlar aktiv qarshiligining haroratga bog'liqligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$R_{chul.} = R_{chul.o}(1 + \alpha_R \Delta T), \quad (4.28)$$

bu yerda $R_{chul.o}$; $\alpha_R, [(^{\circ}\text{C})^{-1}]$ - chulg'amlar aktiv qarshiligining mos ravishda normal haroratdagi qiymati harorat koeffitsiyenti.

Yaratilgan IVO' lar chiqish signalini uning kirish kattaligi bilan bog'liqligini ifodalovchi matematik modelini quyidagi qo'rinishda yozamiz:

$$E_{chiq.} = \frac{\mu_0 \omega_M W_{qo'z.} W_{o'lch.} \pi \alpha_M r R_{o'ir} U_{qo'z.}}{180^{\circ} \delta_{ish} R_{qo'z.}}. \quad (4.29)$$

Yuqoridagi $E_{chiq.} = f(R_{qo'z.})$ funksiyani Makloren qatoriga yoyib, uning dastlabki ikkita hadi bilan cheklanish natijasida quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$E_{chiq.} = E_{chiq.o} + \frac{\partial E_{chiq.}}{\partial R_{qo'z.}} \cdot \frac{\partial R_{qo'z.}}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T. \quad (4.30)$$

(4.30) ifoda o'ng tomonidagi $\frac{\partial E_{chiq.}}{\partial R_{chiq.}}$ ba $\frac{\partial R_{qo'z.}}{\partial \Delta T}$ larning qiymatlari mos ravishda quyidagilarga teng:

$$\frac{\partial E_{chiq.}}{\partial R_{qo'z.}} = - \frac{\mu_0 \omega_M W_{qo'z.} W_{o'lch.} \pi \alpha_M r R_{o'ir} U_{qo'z.}}{180^{\circ} \delta_{ish} R_{qo'z.}^2}. \quad (4.31)$$

$$\frac{\partial R_{qo'z.}}{\partial \Delta T} = R_{qo'z.o} \alpha_R. \quad (4.32)$$

Tashqi muhit harorati o'zgarishi tufayli yaratilgan IVO' lar qo'zg'atish chulg'ami aktiv qarshiligining o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan nisbiy xatolik quyidagi ifoda yordamida hisoblab topiladi:

$$\gamma_{R_{qo'z.}} = \frac{1}{E_{chiq.}} \frac{\partial E_{chiq.}}{\partial R_{qo'z.}} \cdot \frac{\partial R_{qo'z.}}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T. \quad (4.33)$$

(4.29), (4.31) va (4.32) larni (4.33) ga qo'yib, $\gamma_{R_{qo'z.}}$ ning quyidagi yakuniy ifodasini hosil qilamiz:

$$\gamma_{R_{qo'z.}} = - \frac{R_{qo'z.o} \alpha_R}{R_{qo'z.}} \Delta T. \quad (4.34)$$

Yuklama rejimida ishlayotgan IVO' o'lchash chulg'ami aktiv qarshiligi qiymatini harorat o'zgarishidagi o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo'shimcha xatolikni hisoblash o'lchash zanjiridan o'zgaruvchan tok o'tishi munosabati bilan yuqoridagidan birmuncha farq qiladi.

IVO' o'lchash chulg'ami aktiv induktiv yuklamaga ulangan o'lchash zanjiridan kattaligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadigan chiqish toki o'tadi:

$$I_{chiq.} = \frac{E_{chiq.}}{\sqrt{R_{chiq.\Sigma}^2 + X_{chiq.\Sigma}^2}}, \quad (4.35)$$

bu yerda $R_{chiq.\Sigma}$; $X_{chiq.\Sigma}$ - o'lchash chulg'ami va yuklamadan tashkil topgan chiqish zanjirining mos ravishda aktiv va induktiv qarshiliklari.

Agar $I_{chiq.} = f(R_{chiq.\Sigma})$ funksiyani Makloren qatoriga yoyib, uning dastlabki ikkita hadi bilan cheklansak, u holda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$I_{chiq.} = I_{chiq.0} + \frac{\partial I_{chiq.}}{\partial R_{chiq.\Sigma}} \cdot \frac{\partial R_{chiq.\Sigma}}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T. \quad (4.36)$$

(4.36) ifoda o'ng tomonidagi $\frac{\partial I_{chiq.}}{\partial R_{chiq.\Sigma}}$ va $\frac{\partial R_{chiq.\Sigma}}{\partial \Delta T}$ larning $\Delta T = 0$ dagi qiymatlari mos ravishda quyidagilarga teng:

$$\frac{\partial I_{chiq.}}{\partial R_{chiq.\Sigma}} = - \frac{2R_{chiq.\Sigma} E_{chiq.}}{\sqrt{(R_{chiq.\Sigma}^2 + X_{chiq.\Sigma}^2)^3}}, \quad (4.37)$$

$$\frac{\partial R_{chiq.\Sigma}}{\partial \Delta T} = R_{chiq.\Sigma.o} \alpha_R. \quad (4.38)$$

Tashqi muhit harorati o'zgarishi tufayli yaratilgan IVO' lar o'lchash zanjiri aktiv qarshiligining o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan amplitudaviy nisbiy xatolik quyidagi ifoda yordamida hisoblab topiladi:

$$\gamma_{R_{chiq.\Sigma}} = \frac{1}{I_{chiq.}} \frac{\partial I_{chiq.}}{\partial R_{chiq.\Sigma}} \cdot \frac{\partial R_{chiq.\Sigma}}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T = \frac{2R_{chiq.\Sigma} R_{chiq.\Sigma.o} \alpha_R}{(R_{chiq.\Sigma}^2 + X_{chiq.\Sigma}^2)} \Delta T. \quad (4.39)$$

Yuklama rejimida ishlayotgan yaratilgan IVO‘ chiqish toki fazaviy xatoligini aniqlash uchun chiqish zanjiridagi chiqish EYUK va tok o‘rtasidagi faza siljish burchagi uchun o‘rinli bo‘lgan quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$\varphi_{R_{chiq.\Sigma}} = \arctg \frac{R_{chiq.\Sigma}}{X_{chiq.\Sigma}}. \quad (4.40)$$

Fazaviy xatolikni hisoblash formulasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\Delta\varphi_{R_{chiq.\Sigma}} = \frac{\partial\varphi_{chiq.}}{\partial R_{chiq.\Sigma}} \cdot \frac{\partial R_{chiq.\Sigma}}{\partial \Delta T} \cdot \Delta T = \frac{R_{chiq.\Sigma} \cdot \alpha_R \Delta T}{X_{chiq.\Sigma} + \frac{R_{chiq.\Sigma}^2}{X_{chiq.\Sigma}}}. \quad (4.41)$$

(4.34), (4.39) va (4.41) ifodalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, tashqi muhit harorati o‘zgarishi tufayli yaratilgan IVO‘ lar o‘lchash zanjiri aktiv qarshiligining o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan amplitudaviy nisbiy xatolikni kamaytirish uchun chulg‘amlarni α_R qiymati juda kichik bo‘lgan (masalan, manganin) materialdan yasalgan simlardan foydalanish, fazaviy nisbiy xatolikni kamaytirish uchun esa chiqish zanjiri induktiv qarshiligini uning aktiv qarshiligiga nisbatan oshirish talab etiladi.

4) IVO‘ ishchi havo oraliqlari magnit sig‘imining harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha xatolik. IVO‘ ishchi havo oraliqlari magnit sig‘imining harorat nomutadilligi tufayli o‘zgarishi undagi qutb nakonechniklari vazifasini bajaruvchi magnit o‘tkazgichlarning harorat o‘zgarishiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi bilan izohlanadi. Bizgacha o‘tkazilgan tadqiqotlar natijalarining tahlili shuni ko‘rsatdiki, tashqi muhit haroratining $(-70 \div +150)^\circ\text{C}$ oraliqda o‘zgarganda ishchi havo oralig‘i magnit sig‘imi qiymatining o‘zgarishi 0,002 % dan oshmaydi [5, 239 b.].

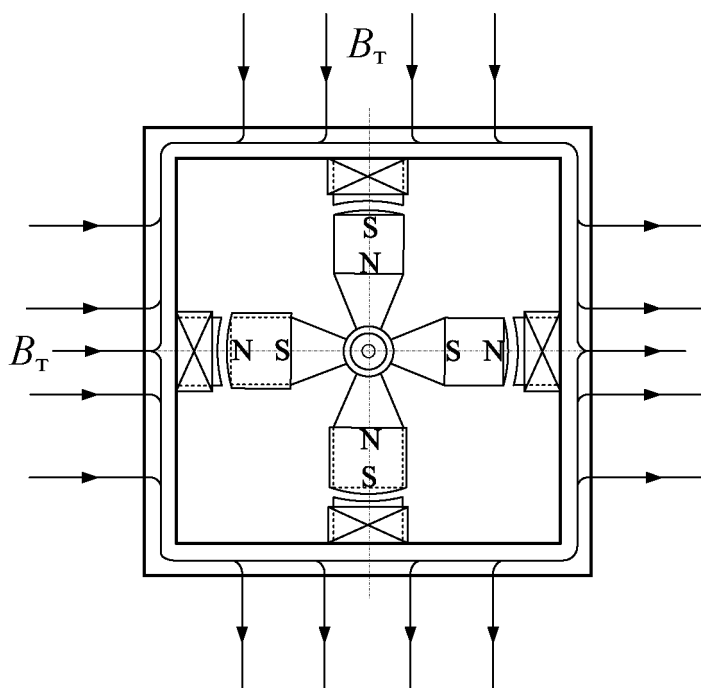
5) IVO‘ qo‘zg‘atish chulg‘ami kuchlanishining o‘zgarishi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha xatolik. (4.29) ifoda tahlili shuni ko‘rsatadiki, IVO‘ chiqish signali manba kuchlanishi qiymatiga to‘g‘ri proporsional. Shuning uchun manba kuchlanishining nomu‘tadilligi hisobidan yuzaga keladigan qo‘shimcha nisbiy xatolik quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\gamma_U = \frac{\Delta U_B}{U_B} \cdot 100 \%. \quad (4.42)$$

Ushbu xatolikni faqat kuchlanishi yoki toki mu'tadillangan manbadan yoki manba kuchlanishi o'zgarishini kompensatsiyalovchi sxemalardan foydalanish hisobiga kamaytirish mumkin bo'ladi [70, 67-69 b.].

6) IVO' ga tashqi magnit maydonining ta'siri hisobidan yuzaga keladigan qo'shimcha xatolik. Tashqi magnit maydonining IVO' ish rejimiga ta'siri ushbu maydon induksiyasi (B_T) ning kattaligi va IVO' magnit tizimiga nisbatan yo'nalishiga bog'liq bo'ladi [31;69, 194-199 b.].

4.6- rasmda yaratilgan IVO' konstruksiyasi va unga ta'sir ko'rsatayotgan



4.6- rasm. Yaratilgan IVO' konstruksiyasi va unga ta'sir ko'rsatayotgan bo'ylama va ko'ndalang yo'nalishdagi tashqi magnit maydonlarining kuch chiziqlari

bo'ylama va ko'ndalang yo'nalishdagi tashqi magnit maydonlarining kuch chiziqlari ko'rsatilgan bo'lib, ulardan ko'rinib turibdiki, bo'ylama va ko'ndalang yo'nalishdagi tashqi magnit maydonlarining kuch chiziqlari, asosan, IVO' korpusi vazifasini bajarayotgan magnit o'tkazgich orqali birlashib, uning ichiga deyarli kirmaydi, ya'ni chulg'amlarni kesib o'tmaydi. Buning sababi shundaki, birinchidan, IVO' korpusi nisbiy magnit singdiruvchanligi yuqori bo'lgan magnityumshoq materialdan yasalgan va shuning uchun ham u korpus ichidagi o'lchash mexanizmi uchun ekran vazifasini bajaradi, ikkinchidan esa, magnit maydonlarining kuch chiziqlari korpus ichidagi o'lchash mexanizmi orqali birlashishi uchun uning

yoʻlidagi magnit qarshiligi juda katta boʻlgan ikkita ishchi havo oraligʻi δ_{ish} ni kesib oʻtishiga toʻgʻri keladi.

Oʻtkazilgan eksperimental tadqiqotlar shuni koʻrsatdiki, oʻzgartirgich korpusi ekran vazifasini bajarayotganligi sababli yoʻnalishi eng noqulay boʻlgan tashqi magnit maydonining IVOʻ chiqish signaliga koʻrsatayotgan salbiy taʼsiridan yuzaga keladigan xatolik $\gamma_B = \frac{B_T}{B_{\delta_{ish}}} \cdot 100 \% = \pm 0,1 \%$ dan oshmaydi.

§4.4. Induksion vibratsiya oʻzgartirgichlari korreksiyalovchi sxemalarining xatoligi

IVOʻ lar korreksiyalovchi sxema(KS)larining xatoligi – bu korreksiyalash natijasida xususiy chastotasi ω_{02} va tinchlanish darajasi D_{M2} ga teng boʻlgan IVOʻ chastotaviy xarakteristikasini uning hisobiy chastotaviy xarakteristikasidan ogʻishidir [77, 168-171 b.]. Ushbu xatolikni aniqlash masalasi KS chastotaviy xarakteristika tenglamasidagi koeffitsiyentlar qiymatlarini ularning hisobiy qiymatlaridan ogʻishini aniqlashga qaratiladi.

Aytaylik, KS ning chastota boʻyicha aniq sozlanmaganligi (“расстройка”) $\Delta\omega_{01}$ ga teng boʻlsin. Bu holatda korreksiyalanayotgan IVOʻ ni undagi KS bilan birgalikdagi chastotaviy xarakteristikasining analitik tenglamasi quyidagi koʻrinishda boʻladi:

$$\begin{aligned}
 W_2(j\omega_M) &= \frac{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right] + j2D_M \frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}}{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right] - j2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M}} \cdot \\
 &\quad \cdot \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right] - j2D_{M1} \frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}} = \\
 &= \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right] - j2D_M \frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}} \cdot K(\omega_M),
 \end{aligned} \tag{4.43}$$

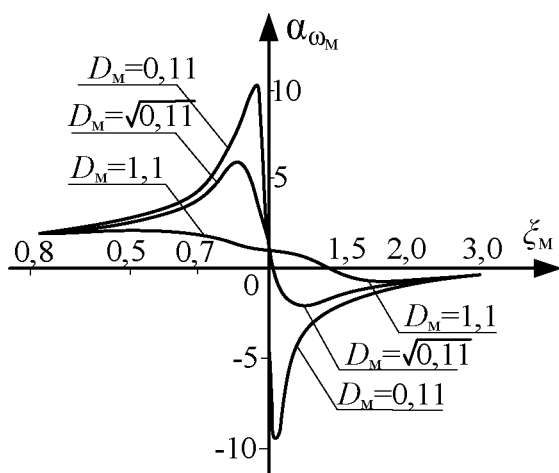
bu yerda $K(\omega_M) = 1 + \delta(\omega_M) = \frac{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right] + j2D_M \frac{\omega_{01} + \Delta\omega_{01}}{\omega_M}}{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right] - j2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M}}$ – xususiy chastotasi

$(\omega_{01} + \Delta\omega_{01})$ ga teng bo‘lgan IVO‘ chastotaviy xarakteristikasining analitik ifodasiga ko‘paytirilgan tuzatma sifatida qaraluvchi koeffitsiyent; $\delta(\omega_M)$ – korreksiya tufayli yuzaga keladigan xatolik.

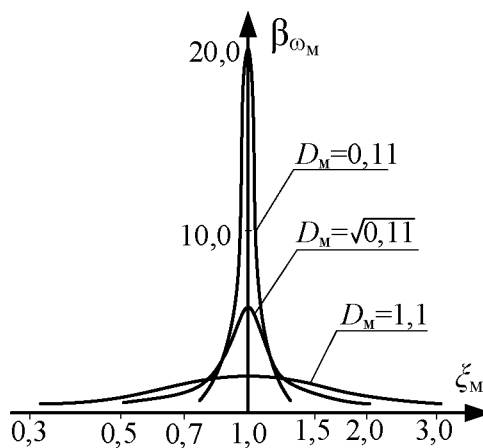
$K(\omega_M)$ ifodasidagi chastotaviy xarakteristika KS “ideal sozlangan” holatdagiga nisbatan modul va faza bo‘yicha farqini aniqlash uchun $K(\omega_M)$ ifodasidagi $\delta(\omega_M)$ qiymatini (ikkinchi tartibli orttirmalarni hisobga olmagan holda) quyidagi ko‘rinishda topamiz:

$$\delta_{\omega_M} = \frac{2 \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2 \left[\left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2 - 1\right] + j2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M} \cdot \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}}{\left[\left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2} + j \frac{2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M} \left[1 + \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2\right]}{\left[\left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M}\right)^2} = \alpha_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M} + j\beta_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}. \quad (4.44)$$

$\alpha_{\omega_M} = f(\xi_M)$ va $\beta_{\omega_M} = f(\xi_M)$ funksiyalarning nisbiy tinchlanish darajasi D_{M1} turli qiymatlari uchun (4.44) tenglama o‘ng tomonidagi ifodalar asosida qurilgan grafiklari 4.7- va 4.8- rasmlarda keltirilgan.

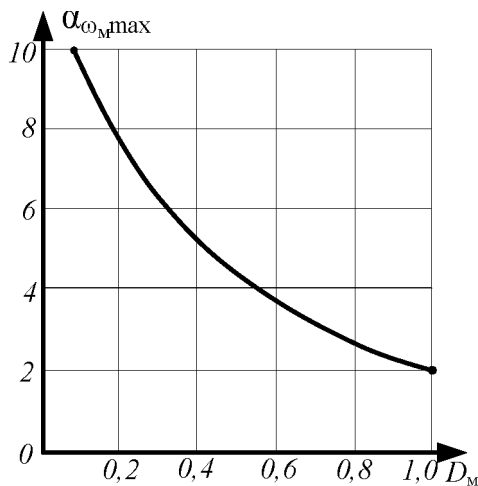


4.7- rasm. $\alpha_{\omega_M} = f(\xi_M)$ funksiyaning D_M turli qiymatlari uchun qurilgan grafiklari

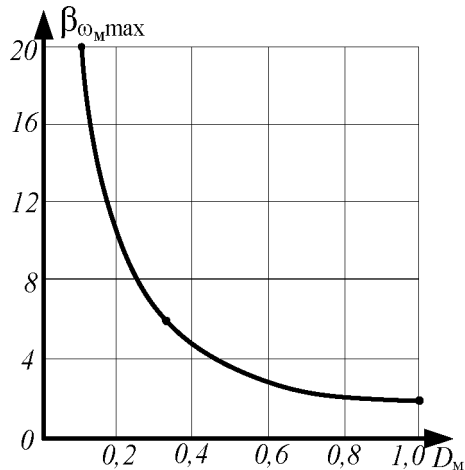


4.8- rasm. $\beta_{\omega_M} = f(\xi_M)$ funksiya-ning D_M turli qiymatlari uchun qurilgan grafiklari

Amaliy hisoblashlarda $\alpha_{\omega_M \max} = f(D_M)$ va $\beta_{\omega_M \max} = f(D_M)$ funksional bog‘lanishlardan ham foydalaniladi. 4.7- va 4.8- rasmlardagi tegishli grafiklar qiymatlari asosida qurilgan ushbu bog‘lanishlar 4.9- va 4.10- rasmlarda keltirilgan.



4.9- rasm. $\alpha_{\omega_M \max} = f(D_M)$ funksiya grafigi



4.10- rasm. $\beta_{\omega_M \max} = f(D_M)$ funksiya grafigi

Chastota bo‘yicha nosozlik tufayli chastotaviy xarakteristikaning modul qiymati bo‘yicha og‘ishi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$|\delta_{\omega_M}| = \sqrt{\left[1 + \alpha_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right]^2 + \left[\beta_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right]^2} - 1. \quad (4.45)$$

(4.45) ifoda va 4.9- hamda 4.10- rasmlardagi grafiklar tahlili shuni ko‘rsatadiki, agar nisbiy tinchlanish darajasi uchun $D_M \geq 0,1$ shart bajarilsa va chastota bo‘yicha nosozlik bir necha foizdan oshmasa, u holda (4.45) ifoda amaliy hisoblashlar uchun yetarlicha aniqlikka ega bo‘lgan quyidagi ko‘rinishda soddalashtirilishi mumkin:

$$|\delta_{\omega_M}| \approx \alpha_{\omega_M} (\Delta\omega_{01} / \omega_M). \quad (4.46)$$

Chastota bo‘yicha nosozlik tufayli chastotaviy xarakteristikaning faza bo‘yicha og‘ishi (4.44) asosida quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\Delta\varphi_{\omega_M} = \arcsin \frac{\beta_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}}{\left[1 + \alpha_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right]^2 + \left[\beta_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M}\right]^2}. \quad (4.47)$$

Yoki ifoda amaliy hisoblashlar uchun yetarlicha aniqlikka ega bo‘lgan quyidagi ifoda yordamida topilishi mumkin:

$$\Delta\varphi_{\omega_M} = \arcsin \left[\beta_{\omega_M} \frac{\Delta\omega_{01}}{\omega_M} \right]. \quad (4.48)$$

Endi nisbiy tinchlanish darajasini sozlashdagi noaniqlik tufayli yuzaga keladigan xatolikni hisoblash formulalarini aniqlaymiz.

Aytaylik, korreksiyanuvchi sxema ($D_M + \Delta D_M$) qiymatga sozlangan bo'lsin. Bu holatda IVO' chastotaviy xarakteristikasining analitik tenglamasi (4.43) ga o'xshash ravishda quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

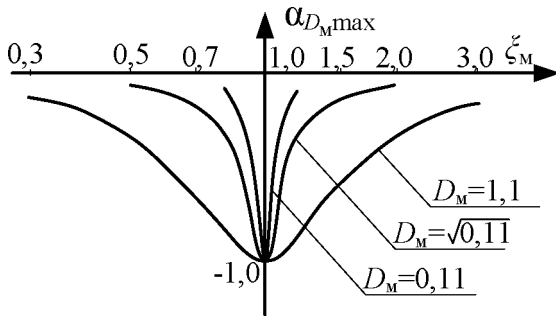
$$W_2(j\omega_M) = \frac{K(D_M)}{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 \right] - j2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M}}, \quad (4.49)$$

bu yerda $K(D_M) = 1 + \delta_{D_M} = \frac{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 \right] + j2(D_M + \Delta D_M) \frac{\omega_{01}}{\omega_M}}{\left[1 - \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 \right] - j2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M}}$ - korreksiyalovchi sxemaning sozlanish aniqligiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent.

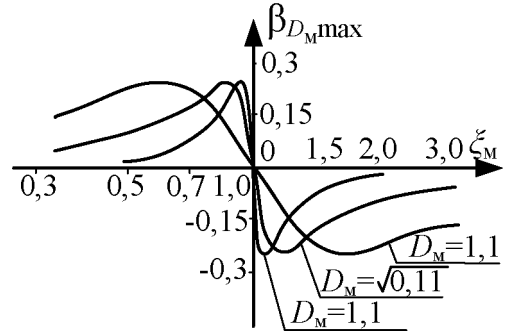
$K(D_M)$ ning yuqoridagi ifodasidan ikkinchi tartibli orttirmalarni hisobga olmagan holda nisbiy tinchlanish darajasini sozlashdagi noaniqlik tufayli yuzaga keladigan xatolikni hisoblash uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \delta_{D_M} = & \frac{4D_M^2 \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 \frac{\Delta D_M}{D_M}}{\left[\left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 - 1 \right]^2 + \left(2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2} \cdot \frac{\Delta D_M}{D_M} + \\ & + j \frac{2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M} \left[1 - \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 \right]}{\left[\left(\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2 - 1 \right]^2 + \left(2D_M \frac{\omega_{01}}{\omega_M} \right)^2} = \alpha_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M} + j\beta_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}. \end{aligned} \quad (4.50)$$

$\alpha_{D_M} = f(\xi_M)$ va $\beta_{D_M} = f(\xi_M)$ funksiyalarning nisbiy tinchlanish darajasi D_{M1} turli qiymatlari uchun (4.49) tenglamada o'ng tomonidagi tegishli ifodalar asosida qurilgan grafiklari 4.11- va 4.12- rasmlarda keltirilgan. Grafiklardan ko'rinib turibdiki, α_{D_M} va β_{D_M} koeffitsiyentlarning maksimal qiymatlari IVO' nisbiy tinchlanish darajasi qiymatiga bog'liq emas hamda mos ravishda $\alpha_{D_{Mmax}} = 1,0$ va $\beta_{D_{Mmax}} = 0,25$ ga teng.



4.11- rasm. $\alpha_{D_M} = f(\xi_M)$ funksiyaning D_M turli qiymatlari uchun qurilgan grafiklari



4.12- rasm. $\beta_{D_M} = f(\xi_M)$ funksiya-ning D_M turli qiymatlari uchun qurilgan grafiklari

Xuddi (4.45)-(4.47) formulalarga o'xshash ravishda nisbiy tinchlanish darajasini sozlashdagi noaniqlik tufayli yuzaga keladigan xatolikning mos ravishda modul va faza qiymatlarini hisoblash uchun quyidagi formulalarni hosil qilamiz:

$$|\delta_{D_M}| = \sqrt{\left[1 + \alpha_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}\right]^2 + \left[\beta_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}\right]^2} - 1 \approx \alpha_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}. \quad (4.51)$$

$$\Delta\varphi_{D_M} = \arcsin \frac{\beta_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}}{\left[1 + \alpha_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}\right]^2 + \left[\beta_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}\right]^2} \approx \beta_{D_M} \frac{\Delta D_M}{D_M}. \quad (4.52)$$

Ayтайlik, nisbiy tinchlanish darajasi $D_M = 0,1$ ga teng bo'lgan IVO' ACHX ning uning hisobiy xarakteristikasidan og'ishi $\delta_{\omega_M} = 0,05$, ya'ni 5 % dan, FCHX ning og'ishi esa $\varphi = 5 \text{ degri}$ dan oshmasligi talab etilsin. 4.9 - 4.12- rasmlardan $\alpha_{\omega_M max} = 10,4$; $\beta_{\omega_M max} = 21$; $\alpha_{D_M max} = 1,1$; $\beta_{D_M max} = 0,26$ ekanligini topamiz. Bu qiymatlarni (4.46) va (4.48) larga qo'yib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\frac{\omega_{01}}{\omega_M} = \frac{|\delta_{\omega_M}|}{\alpha_{\omega_M max}} = \frac{0,05}{10,4} \approx 0,005, \quad (4.53)$$

$$\frac{\omega_{01}}{\omega_M} = \frac{\sin[\Delta\varphi_{\omega_M}]}{\beta_{\omega_M max}} = \frac{0,088}{21} \approx 0,0044. \quad (4.54)$$

(4.54) shart nisbatan qattiqroq hisoblanadi. Shuning uchun ham korreksiyalovchi sxemani rezonans chastotasiga sozlash IVO' FCHX ning ruxsat etilgan buzilishidan xatolik $\frac{\omega_{01}}{\omega_M} \approx 0,0044 = 0,44 \%$ dan ortiq bo'lmagan qiymatda amalga oshirish talab etiladi.

(4.51) va (4.52) lardan quyidagilarni topamiz:

$$\frac{\Delta D_M}{D_M} = \frac{\delta_{D_M}}{\alpha_{D_M max}} = \frac{0,05}{1,1} \approx 0,046. \quad (4.55)$$

$$\frac{\Delta D_M}{D_M} = \frac{\sin[\Delta \varphi_{D_M}]}{\beta_{D_M \max}} = \frac{0,088}{0,26} \approx 0,034. \quad (4.56)$$

Bu holatda (4.55) shart nisbatan qattiqroq hisoblanadi. Shuning uchun ham korreksiyalovchi sxemani asllik bo'yicha sozlash IVO' ACHX ning ruxsat etilgan buzilishi asosida xatolik $\frac{\Delta D_M}{D_M} \approx 5\%$ dan ortiq bo'lmagan qiymatda amalga oshirish talab etiladi.

Shunday qilib, korreksiyalovchi sxemalar xatoliklarini hisoblash uchun hosil qilingan ifodalar va ular asosida qurilgan grafiklar IVO' dinamik xarakteristikalarini yaxshilash imkonini beruvchi korreksiyalovchi sxema elementlarini yetarli darajadagi aniqlik bilan tanlash imkonini beradi.

§4.5. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining ishonchliligi

Yaratilgan IVO' larining t vaqt mobaynidagi strukturaviy ishonchliligi quyidagicha aniqlanadi [71, 56 b.]:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t) \dots P_{19}(t), \quad (4.57)$$

bu yerda $P_1(t) \div P_{19}(t)$ – IVO' dagi korpus – ichki qutb nakonechniklariga ega bo'lgan magnit o'tkazgich, har biri to'rtta seksiyadan iborat bo'lgan qo'zg'atish va o'lchash chulg'amlari, qutb nakonechniklariga ega bo'lgan to'rtta doimiy magnit, sharsimon asosga va o'zaro perpendikulyar joylashtirilgan to'rtta sektordan tashkil topgan IE, sharnirli element, ikkita silindrik qoplama va ikkita amortizatsion cheklagichlarning ishdan chiqmaslik ehtimollari.

Strukturaviy ishonchlilik $P(t)$ ni ishdash chiqishlar intensivligi $\lambda_n(t)$ orqali ifodalab, (4.57) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$P(t) = \exp \left[- \sum_{i=1}^{11} \int_0^t \lambda_n(t) dx \right]. \quad (4.58)$$

Yaratilgan IVO' ishdan chiqish intensivligini aniqlash maqsadida ularning $N = \frac{\ln(1-\beta)}{\ln P(t)} = 44$ tasi parametrik usul asosida kuzatuv ostiga olindi. Bunda berilgan nisbiy xatolik uning o'rtacha qiymatidan $\sigma \leq 0,05$ dan ko'p emas, ehtimollik ishonchliligi esa $\beta \geq 0,9$ va ishonchliligi $P(t) = 0,90$ ni tashkil etadi.

Kuzatuv jarayoni mobaynida ishdan chiqqan element yangisi bilan almashtirilmadi. Kuzatuv jarayoni $T_0 = 1100$ soat davom etdi. Bu davr mobaynida $T_i = 8,4; 40,3; 40,7; 45,3; 47,8; 54; 69,5; 72,9; 100; 100,7; 103; 117,6; 168,7; 169,6$; soat $\sum_{i=1}^{14} t = 1084,9$ soat ishlash vaqti bilan $d = 14$ element ishdan chiqdi.

Ma'lumki [47, 125-131 b.; 71, 62b.], qo'zg'aluvchan qismlarga ega bo'lgan obyektlar uchun ishdan chiqish ehtimoli eksponensial taqsimlanish qonuniyatiga bo'yso'nadi. Tadqiq etilayotgan yangi IVO' uchun N, U, T_0 rejani tanlash maqsadga muvofiq bo'ladi, bu yerda U - ishdan chiqqan elementlarni yangisiga almashtirilmasligini rejada belgilanishi.

Yuqorida keltirilganlar asosida quyidagilarni topish mumkin: T_{yp} - ishdan chiqqungacha o'rtacha ishlash vaqti; $P(l) - t = 4000$ soat vaqtda ishdan chiqmasdan ishlash ehtimoli; $\lambda(l)$ - ishdan chiqish intensivligi; $\gamma = 90\%$ - gamma foiz resursi.

Tanlangan reja uchun ishdan chiqishning o'rtacha intensivligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$\hat{\lambda} = \frac{d}{\sum_{i=1}^d t_i + (N-d)T_0} = \frac{12}{1081,2 + (43-12) \cdot 1100} = 0,0001553 \text{ soat}. \quad (4.59)$$

Hisoblab topilgan $\hat{\lambda}$ uchun $\beta = 0,9$ ishonchlilik ehtimoli bilan ikki tomonlama ishonchlilik chegaralarini quyidagicha aniqlaymiz [47, 79 b.]:

quyi chegarasi:

$$\lambda_{\kappa} = \frac{\hat{\lambda} N \chi_{\frac{1-\beta}{2}, 2d}^2}{d \left(2N - d + \frac{1}{2} \chi_{\frac{1-\beta}{2}, 2d}^2 \right)} = \frac{0,000325 \cdot 43 \cdot \chi_{\frac{1-0,9}{2}, 2 \cdot 12}^2}{10 \left(2 \cdot 43 - 12 + \frac{1}{2} \chi_{\frac{1-0,9}{2}, 2 \cdot 12}^2 \right)} = 0,0001501 \frac{1}{\text{soat}}; \quad (4.60)$$

yuqori chegarasi:

$$\lambda_{10} = \frac{\hat{\lambda} N \chi_{\frac{1-\beta}{2}, 2d}^2}{d \left(2N - d + \frac{1}{2} \chi_{\frac{1-\beta}{2}, 2d}^2 \right)} = \frac{0,0001553 \cdot 43 \cdot \chi_{\frac{1+0,9}{2}, 2 \cdot 12}^2}{10 \left(2 \cdot 43 - 12 + \frac{1}{2} \chi_{\frac{1+0,9}{2}, 2 \cdot 12}^2 \right)} = 0,0004849 \frac{1}{\text{soat}}; \quad (4.61)$$

bu yerda $\chi_{\frac{1-0,9}{2}, 2 \cdot d}^2 = 8,2$ va $\chi_{\frac{1+0,9}{2}, 2 \cdot d}^2 = 29,3$ lar [16] dan olingan.

Hisoblash natijalaridan ko'rinib turibdiki, ikki tomonlama ishonchlilik qiymatlari $0,0001501 < 0,0001553 < 0,0004849$ oraliqqa taalluqli bo'lib, $\chi_1^2 <$

χ^2_2 shartni qanoatlantiradi, binobarin, tanlangan qonuniyat tajriba ma'lumotlariga zid kelmaydi, ya'ni λ_q va λ_{yu} larning hisoblab topilgan qiymatlari 0,9 ehtimollik bilan $\hat{\lambda}$ ning haqiqiy qiymatini qoplaydi.

Ishdan chiqqungacha ishlash o'rtacha qiymatining nuqtaviy baholash quyidagiga teng bo'ladi:

$$T_{orr} = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{1}{0,1553 \cdot 10^{-3}} = 6439 \text{ soat.} \quad (4.62)$$

$T_{\tilde{y}p}$ ning quyi va yuqori ishonchlilik chegarasi quyidagicha aniqlanadi:

$$T_{orr.q} = \frac{1}{\lambda_{yu}} = \frac{1}{0,4849} = 2062,3 \text{ soat,} \quad (4.63)$$

$$T_{\tilde{y}p.yo} = \frac{1}{\lambda_q} = \frac{1}{0,1501 \cdot 10^{-3}} = 6662 \text{ soat.} \quad (4.64)$$

Ishdan chiqmasdan ishlash ehtimoli:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,000155 \cdot 1100} = 0,84. \quad (4.65)$$

Ishdan chiqmasdan ishlash ehtimolining qiymatlari 4.1- jadvalda keltirilgan.

4.1- jadval

Ishlash vaqti	200	500	1100	2000	2500	3000	4000
$P(t)$	0,96	0,92	0,84	0,73	0,67	0,62	0,53

$P(t)$ uchun ikki tomonlama ishonchlilik chegaralari qiymatlarini λ_q va λ_{yu} larning hisoblab topilgan qiymatlari asosida quyidagicha topamiz:

$$P(t)_{yo} = e^{-\hat{\lambda}_q t} = e^{-0,0001501 \cdot 1100} = 0,84, \quad (4.66)$$

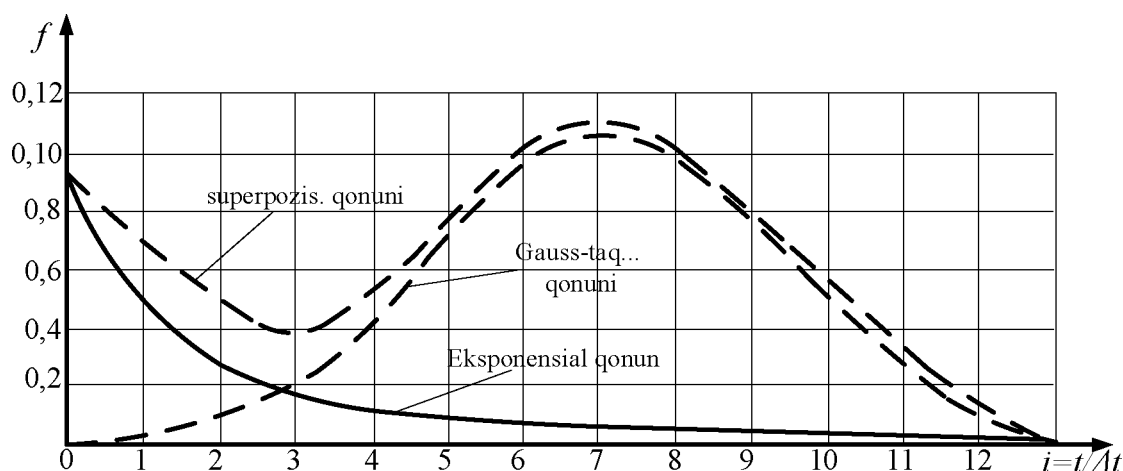
$$P(t)_{\kappa} = e^{-\hat{\lambda}_{yu} t} = e^{-0,0004849 \cdot 1100} = 0,58. \quad (4.67)$$

Gamma-foiz resursi qiymatlarini quyidagicha aniqlaymiz ($\gamma = 90\%$):

$$T_{\gamma\kappa} = \frac{1}{\lambda_{yu}} (-\ln 0,9) = \frac{1}{0,0004849} (-\ln 0,9) = 217,28 \text{ soat,} \quad (4.68)$$

$$T_{\gamma yu} = \frac{1}{\lambda_q} (-\ln 0,9) = \frac{1}{0,0001501} (-\ln 0,9) = 701,93 \text{ soat.} \quad (4.69)$$

Bunday vaziyatlarda O‘Q ning nazorat qilinayotgan obyekt ishchi organlari bilan birgalikda ishlayotgan elementlarining ketma-ket ishdan chiqish vaqtlari bo‘yicha statistik ma’lumotlarini qayta ishlov berish jarayoni eksponensial va Gauss taqsimlanish qonuniyatlarini o‘zaro ustma-ustlanishini ko‘rsatdi (4.13- rasmda).



4.13- rasm. O‘Q ni ishdan chiqquncha ishlashini eksponensial (1) va normal (2) taqsimlanish qonuniyatlarining ustma-ustlanish (3).

Ikkita taqsimlanish qonuniyatlari ustma-ustlanishini taqsimlanish zichligining quyidagi formulasi orqali tavsiflash mumkin:

$$f(t) = k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t), \quad (4.70)$$

bu yerda $k_1 = 0,2$, $k_2 = 0,8$ va $f_1(t)$, $f_2(t)$ – mos ravishda eksponensial va normal taqsimlanish qonuniyatlari bo‘yicha ishdan chiqish ulushi hamda taqsimlanish zichliklari.

Taqsimlanish zichliklari quyidagicha hisoblanadi [71, 114 b.]:

$$f_1(t) = \frac{1}{T_{orr.yu}} \exp\left(-\frac{t}{T_{orr.yu}}\right) = \frac{1}{6662} \exp\left(-\frac{4000}{6662}\right) = 0,0823 \cdot 10^{-3} \frac{1}{soat}, \quad (4.71)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{2\pi\delta} \exp\left(-\frac{(t-T_{otr.q})^2}{2\delta^2}\right) = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15} \exp\left(-\frac{(4000-2062,3)^2}{2 \cdot 0,15^2}\right) = 0,013 \cdot 10^{-3} \frac{1}{soat} \quad (4.72)$$

(4.71) va (4.72) larni (4.70) ga qo‘yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$f(t) = 0,0953 \cdot 10^{-3} soat^{-1}. \quad (4.73)$$

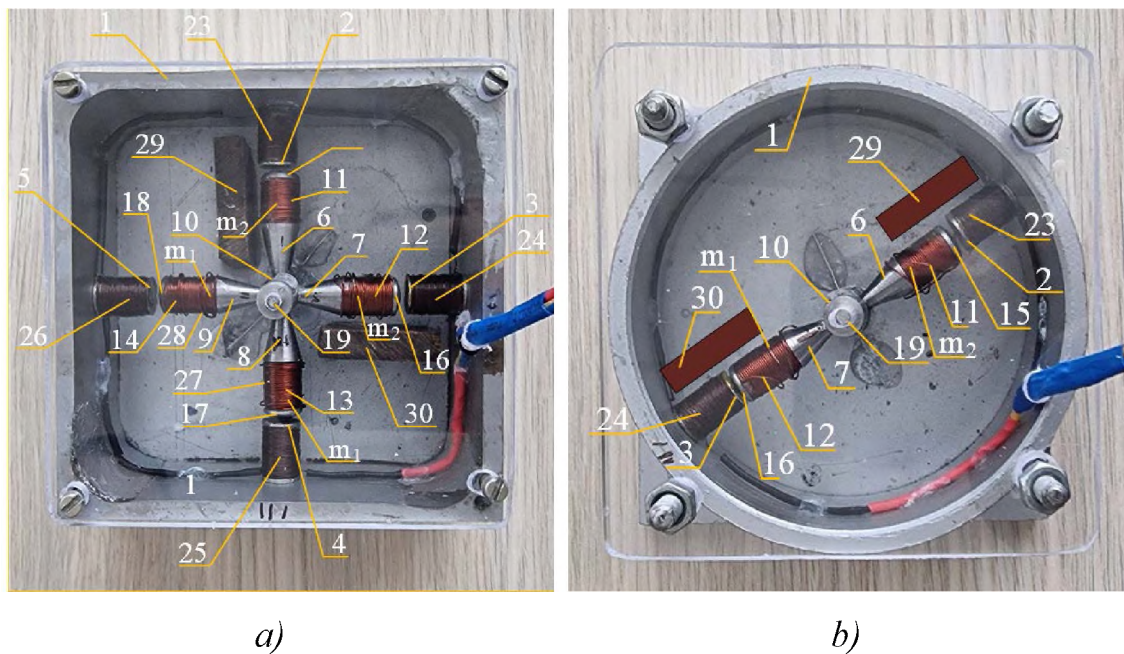
Shunday qilib, ushbu paragrafda kuzatish rejasi asosida induksion vibratsiya o‘zgartirgichi ishonchliligining asosiy ko‘rsatkichlari aniqlandi. Pirson mezonining sonli qiymatlari asosida o‘zgartirgich ishdan chiqquncha ishlashining eksponensial

va normal taqsimlanish qonuniyatlari ustma-ustlanishining taqsimlanish zichligi aniqlandi.

§4.6. Induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining asosiy texnik ko'rsatkichlari

Bajarilgan ushbu dissertatsiya ishining yakuni - bu temir yo'l transporti obyektlari vibratsiyasi to'g'risidagi aniq ma'lumotlar bilan tegishli boshqaruv va diagnostika tizimlari ta'minlovchi funksional imkoniyatlari kengaytirilgan va sezgirligi oshirilgan IVO' larini yaratish, yasash, ularni nazariy va eksperimental tadqiq etish hamda ishlab chiqarishga joriy qilishdir.

Yaratilgan ikkita IVO' tajriba nusxasining tegishli o'lchamlari ko'rsatilgan konstruktiv sxemalari va umumiy ko'rinishlari mos ravishda 4.14- rasmda, o'lchash qurilmasini ishlab chiqarish obyektida o'rnatilgan holati esa 4.15- rasmda keltirilgan.



4.14- rasm. Yaratilgan IVO'-1 (a) va IVO'-2 (b) lar tajriba nusxalari: 1,2 – O- simon magnit o'tkazuvchi korpus va undagi qutb nakonechniklari; 3,4,5,6,7 - inersion element sektorlari, doimiy magnitlari, sharsimon asosi, qutb nakonechniklari va silindrsimon qo'shimcha yuklari; 8 – o'lchash chulg'amlari; 9 – ishchi havo oraliqlari; 10 – amortizatsion cheklagichlar

Yaratilgan IVO' larning asosiy texnik ma'lumotlari 4.2- jadvalda keltirilgan.



4.16- rasm. Yaratilgan IVO'-1 ni ishlab chiqarish obyektida o'rnatilgan holati

4.2- jadval

Asosiy texnik ma'lumotlari	Mavjud O'Q	IVO' - 1	IVO' - 2
Vibratsion tezlanishlarni o'lchash diapazoni, m/s^{-2}	$0 \div 300$	$0 \div 300$	$0 \div 300$
O'lchanayotgan vibrosiljishlar diapazoni, mm	± 10	± 10	± 10
Sezgirligi, $mV/(mm \cdot s^{-1})$	0,005	0,02	0,02
O'lchash xatoligi, $\pm \%$	2,0	2,0	1,5
Turli yo'nalishdagi vibratsiyalarni o'lchash imkoniyati	1	3	3
Statik tavsifining nochiziqlilik darajasi, % dan ko'p emas	2,5	0,1	0,1
Manba kuchlanishi, V	12	12	12
Qo'zg'atish chulg'ami o'ramlari soni	400	400	400
O'lchash chulg'ami o'ramlari soni	200	200	200
Gabarit o'lchamlari, mm	50x52x30	48x48x30	Ø48x28
Massasi, kg	0,36	0,3	0,24

To‘rtinchi bob bo‘yicha xulosalar

Induksion vibratsiya o‘zgartirgichlari xatolik manbalarining tahlili shuni ko‘rsatadiki, ular xatoliklari tarkibida boshqa o‘lchash o‘zgartirgichlari xatoliklariga nisbatan korreksiyalovchi sxemalari tufayli yuzaga keladigan xatolik mavjudligi bilan farq qiladi.

Vibratsiyalarni o‘lchash induksion usulining takomillashmaganligi tufayli yuzaga keladigan xatolikni kamaytirish uchun obyektning o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta o‘qining bittasi bo‘ylab chiziqli tebranish parametrlarini o‘lchayotganda o‘zgartirgich xususiy chastotasining kvadrati ushbu obyektning qolgan ikkita o‘q atrofidagi burama tebranishlari chastotalari kvadratlari yig‘indisiga teng qilib tanlash lozim.

Yangi induksion vibratsiya o‘zgartirgichlari amplitudaviy dinamik xatoligini kamaytirish uchun o‘lchash qurilmasi xususiy chastotasini oshirish va nisbiy tinchlanish darajasi optimal qiymatini tanlash, faza bo‘yicha xatoligini kamaytirish uchun esa nisbiy tinchlanish darajasining qiymatini juda kichik tanlash talab etilishi aniqlangan. O‘zgartirgichlar amplituda-chastotaviy va faza-chastotaviy xarakteristikalar o‘zaro bog‘liq bo‘lganligi sababli bir vaqtning o‘zida ham amplitudaviy ham fazaviy xatoliklarni minimallashtirishning imkoni bo‘lmasligi ko‘rsatilgan.

Yangi induksion vibratsiya o‘zgartirgichlari chulg‘amlari aktiv qarshiliklarining harorat o‘zgarishi va korreksiyalovchi sxema parametrlarining noaniq sozlanganligi tufayli yuzaga keladigan xatoliklari qo‘shimcha xatoliklarning asosiy ulushiga to‘g‘ri kelishi aniqlangan.

Yangi induksion vibratsiya o‘zgartirgichlari ishonchliligining asosiy ko‘rsatkichlari va ular ishdan chiqquncha ishlashining eksponensial va normal taqsimlanish qonuniyatlari ustma-ustlanishining taqsimlanish zichligi aniqlangan.

UMUMIY XULOSA VA TAVSIYALAR

Vibratsiya parametrlarini o'lchovchi o'lchash o'zgartirgichlari asosiy xarakteristikalarining qiyosiy tahlili shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqarish obyektlari boshqaruv va diagnostikalash tizimlari tomonidan qo'yiladigan talablarga vibratsiya parametrlarini o'lchovchi o'lchash o'zgartirgichlari ko'p jihatdan induksion vibratsiya o'lchash o'zgartirgichlari javob berishi aniqlangan.

Inersion elementni o'zaro perpendikulyar joylashgan to'rtta sektordan iborat va ikkita yondosh sektorlar massalarini qolgan ikkita yondosh sektorlar massalaridan farqli qilib yasash orqali turli yo'nalishlarda chiziqli va burama vibratsiyalarni yuqori sezgirlikda o'lchovchi induksion o'zgartirgichning yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan.

Inersion elementni o'zaro diametral ikkita magnit o'tkazgichli va turli massali sektor ko'rinishida yasash hamda uni gorizontal va vertikal o'qlari oralig'ida joylashtirish orqali turli yo'nalishlarda chiziqli va burama vibratsiyalarni yuqori sezgirlikda o'lchovchi hamda inersion elementining massasi kichik bo'lgan induksion o'zgartirgichning konstruksiyasi ishlab chiqilgan.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlarining inersion element qutb nakonechniklari holatini o'zgartirgichga berilgan tezlanish ta'sirida o'zgarishini aniqlash imkonini beruvchi ishlab chiqilgan matematik modellar tahlili qutb nakonechniklarining faol yuzasi inersion element koordinatasi bilan chiziqli bog'langanligi aniqlangan.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlar asosiy xarakteristikalarini nazariy tadqiq etish imkoniyatini beruvchi inersion elementga ta'sir ko'rsatuvchi elektromagnit tabiatli mexanik kuchlar, inersion, og'irlik va ishqalanish kuchlarining muvozanat tenglamalari hamda ushbu o'zgartirgichlar matematik modellari magnit o'tkazgichlar va ishchi havo oraliqlarining geometrik o'lchamlari va magnit xossalari hamda qo'zg'atuvchi magnit maydoni kattaliklarini inobatga olgan holda ishlab chiqilgan.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlari kirishiga garmonik o'zgaruvchi kattalik berilganda, uning chiqishidagi o'tkinchi tok chastotasi kirish kattaligi chastotasi bilan tebranadigan majburiy, miqdorlari mos ravishda mexanik va chiqish elektr zanjiri vaqt doimiylariga bog'liq ravishda so'no'vchi ikkitata erkin tashkil etuvchilarning algebraik yig'indisidan iborat bo'lishi aniqlangan.

Yaratilgan induksion vibratsiya o'zgartirgichlarini korreksiyalash natijasida uning chastota diapazoni dastlabki rezonans chastotasi (ω_{01}) dan kattaroq bo'lgan rezonans chastotasi (ω_{02}) gacha kengaytirilganda va obyekt vibrotebranishlari chastotasi (ω_M) $\omega_M < \omega_{01}$ oraliqda o'zgarganda o'zgartirgichlar signali bir tekis, ammo chastota kvadratiga proporsional ravishda susayib boradi, $\omega_{02} > \omega_M > \omega_{01}$ oraliqda esa signal susayishining tezligi kamayadi, ω_M chastota ω_{02} qiymatga yaqinlashganda esa signal kattaligi birmuncha ortishi kuzatilgan.

Yangi induksion vibratsiya o'zgartirgichlari amplitudaviy dinamik xatoligini kamaytirish uchun o'lchash qurilmasi xususiy chastotasini oshirish va nisbiy tinchlanish darajasi optimal qiymatini tanlash, faza bo'yicha xatoligini kamaytirish uchun esa nisbiy tinchlanish darajasining qiymatini juda kichik tanlash talab etilishi aniqlangan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Авдеев В. А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: учебное пособие / В.А. Авдеев. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2018. – 260 с.
2. Автоматическое управление вибрационными испытаниями / Гетманов А.Г., Дехтяренко П. И., Мандровский-Соколов В.Ю., и др., - Москва: Энергия, 1978. – 112 с.
3. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.Н. Датчики контроля и регулирования: справочные материалы / 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1965. — 928 с.
4. Азимов Р.К. Принципы построения и проектирования первичных преобразователей с распределенными параметрами для систем контроля и управления: автореф. Дис. ... д.т.н.. – Ташкент, ТГТУ, 1993. – 32 с.
5. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Математические модели новых индукционных преобразователей вибраций//“ XIII Международной научно-практической конференции «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАУКИ 2024». – Пенза, 2024.– С.20-29.
6. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Исследование динамических характеристик механической цепи разработанного индукционного преобразователя вибраций инерционного действия// Journal “Chemical technology. Control and management” – Tashkent, 2023. № 6. – С.23-32.
7. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Индукционные преобразователи вибраций инерционного действия// Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации, 2023 №4. – С.133-145.
8. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Динамические характеристики разработанного индукционного преобразователя вибраций инерционного действия// The scientific journal vehicles and roads, – Ташкент, 2023. № 4. – С.153-162.

9. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Новые индукционные преобразователи вибраций инерционного действия // The scientific journal vehicles and roads, – Ташкент, 2024. № 1. – С.13-22.

10. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Индукцион вибрация ўзгартиргичларининг динамик характеристикаларини коррекциялаш // The scientific journal vehicles and roads, – Ташкент, 2024. №1 . – С.37-44.

11. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Исследование динамических характеристик разработанных индукционных преобразователей вибраций инерционного действия // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации, – Ташкент, 2024. № 1. – С.106-114.

12. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Электровозлар тортувчи асинхрон моторларини электромагнит усуллар ёрдамида диагностикалаш // “Yosh ilmiy tadqiqotchi” xalqaro ilmiy anjumani, Toshkent 2021, №1. – С.783-788.

13. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Темир йўл транспорти объектлари бошқарув ва диагностика тизимлари учун вибрацияларни ўлчовчи янги индукцион ўзгартиргичлар конструкциялари//“Рақамли технологиялар объектлари энергия таъминотини ривожлантиришнинг замонавий муаммолари ва истиқболлари” халқаро илмий-амалий анжуман. – Ташкент, 2024.– С.366-375.

14. Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А. Динамические характеристике механической цепи нового индукционного преобразователя вибраций инерционного действия // Актуальные вопросы науки, II международная научно-практическая конференция, Пенза 2024, – С.36-45.

15. А.с. № 1336027. Преобразователь вибраций // Фридман В.П., Жернаков В.С., Фридман Вел.П., Хафизов М.И./ G 01 Н 1/00, 23.01.1985. В.И. № 3.

16. А. с. № 1783317. Датчик виброскорости // Амиров С.Ф., Маллин Н.У./ G 01 Н 11/02, 23.12.1992. В.И. № 47.

17. Арефьев В.Н., Киселев С.К. Основы теории управления и автоматики. Учебное пособие. –Ульяновск, УлГТУ, 2014. –315 с.

18. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учебное пособие. – Москва: Дрофа, 2005. – 415 с.

19. Вавков О.В., Вазилевский Ф.Ю., Грищенко А.В. Автоматизация локомотивов: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. – М.: ГОУ: «Учебно–методический центр по образованию ж.-д. транспорта», 2007. – 323 с.

20. Ведрицкий И.М. Сравнительный анализ аналитических выражений для аппроксимации кривых намагничивания электротехнических сталей // Электрика. – Москва, 2011. – №7. – С. 38-40.

21. Вессонов Л.А. Теоретические основы электротехники // Электрические цепи. – Москва: Гардарики, 2006. – 701 с.

22. Вуйносов А. П. Влок для экспериментальных исследований вибрации узлов электропоезда в эксплуатации / Вуйносов А. П., Денисов Д.С.// Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 147-149.

23. Вронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Изд., 13–е, исправленное. – Москва: Наука. Гл. ред. Физ.–мат. лит., 1986. – 544 с.

24. Вуль О.В. Методы расчета магнитных цепей электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEEM - Москва: АСАДЕМ А, 2005.-337 с.

25. Вурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника: учебник в 2- х т. - Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 480 с.

26. Грибков В.А. Виброизмерительная аппаратура: структура, работа датчиков, калибровка каналов [Текст]/ Грибков В.А., Шиян Д.Н. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Ваумана, 2011. – 109 с.

27. Грязин Д.Г. Методы и средства контроля динамических характеристик инерциальных микромеханических датчиков и модулей/Грязин Д.Г.//Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2017. – Т. 60.

– № 8. – С. 797- 800.

28. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований: учебн. пособие Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 253 с.

29. ГОСТ 8.009 – 84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. Москва: Стандартинформ, 2006. -27 с.

30. ГОСТ 8.401 – 80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования. Москва: Стандартинформ, 2010. -11 с.

31. ГОСТ 8.417– 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. Москва: Стандартинформ, 2018. -32 с.

32. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 26 с.

33. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 43 с. 53. ГОСТ Р 52545.1-2006 Методы измерения вибрации. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 15 с.

34. ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на не вращающихся частях. Часть 3. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 16 с.

35. ГОСТ 32106-2013. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 8 с.

36. ГОСТ ISO 20958-2015 Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя / [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133099> (дата обращения: 20.02.2019). – Москва: Стандартинформ, 2014. – 8 с.

37. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Изд. 4-е –

Санкт-Петербург: Питер, 2006, том 2. -576 с.

38. Зарипов М.Ф. Преобразователи с распределенными параметрами для ав-томатики и информационно-измерительной техники. Москва, Энергия, 1969. -177с.

39. Заявка на изобретение №20230720. Преобразователь вибраций/Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А., Файзуллаев Ж.С., Вотиров Х.Э. – Заявлено: 18.12 2023 г.

40. Жуков В.К. Теория погрешностей измерения: учебное пособие / В.К. Жуков. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 180 с.

41. Зарипов М.Ф., Зайнуллин Н.Р., Петрова И.Ю. Энергоинформационный метод научно-технического творчества. – Москва: ВНИИПИ ГКНТ, 1988. – 124 с.

42. Измерение и анализ механических колебаний. Технический центр компании Врюль и Къер. Москва, 2007. – 41 с.

43. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. Пособие для вузов. / Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров; - Москва, Энергоатомиздат, 1990. 352 с

44. Информационно-измерительная техника и электроника/ Под. ред. Раннева Г.Г. – Москва: Академия, 2007. – 511 с.

45. Иориш Ю.И. Виброметрия. (Измерения вибрации и ударов. Общая теория методы и приборы). Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, Москва, 1963. –771 с.

46. Калашников А.М., Степук Я.В., Колебательные системы (Основы радиотехники и радиолокации). Учебное пособие. Военное изд., Москва, 1972. – 376 с.

47. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок. Санкт-Петербург: издательство «Элмор», 2009.- 336 с.

48. Келим Ю.М. Типовые элементы систем автоматического

управления. Учебное пособие. – Москва, ФОРУМ: ИНФРА-М, 2002. -384 с.

49. Ким К.К., Анисимов Г.Н., Варбарович В.Ю., Литвинов В.Я. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Питер, 2006. – 368 с.

50. Компания «ПромСервис» (РФ) [электронный ресурс]
[URL: http://promservis.ru/vibro.html](http://promservis.ru/vibro.html)

51. Компания «National Instruments» (США) [электронный ресурс]
[URL: https://www.ni.com/ru-ru/shop/hardware/products/vibration-sensor.html](https://www.ni.com/ru-ru/shop/hardware/products/vibration-sensor.html)

52. Компания «Briel and Kjer» (Дания) [электронный ресурс]
[URL: https://www.bksv.com/en/transducers/vibration/accelerometers](https://www.bksv.com/en/transducers/vibration/accelerometers)

53. Компания «METRAVIB» (Франция) [электронный ресурс]
[URL: https://www.metravib-engineering.com/](https://www.metravib-engineering.com/)

54. Конюхов Н.Е., Медников Ф.М., Нечаевский М.Л. Электромагнитные датчики механических величин. – Москва: Машиностроение, 1987. – 256 с.

55. Лиманова Н.И. Датчики механических величин, инвариантные к дестабилизирующим факторам. Диссерт. на соиск. учен. степени доктор. техн. наук, Самара, Самарский государственный аэрокосмический университет, 2006. - 271 с.

56. Лукашкин В.Г., Гарипов В.К., Слепцов В.В., Вишнеков А.В. Автоматизация измерений, контроля и управления. – Москва: Машиностроение, 2005. – 663 с.

57. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2005. – 448 с.

58. Методическая погрешность расчета магнитных потоков трансформаторных датчиков перемещений / А. А. Трофимов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 4 (6). – С. 9–15.

59. Нгулу-А-Ндзели, В.Ю. Теттер, В.Г. Шахов Опыт диагностирования тяговых двигателей локомотивов / Омский научный вестник, – Омск. –2019. №. С.67-71.

60. Патент РУз (UZ) № IAP 7661. Индукционный преобразователь вибраций/ Амиров С.Ф., Шоимкулов А.А., Файзуллаев Ж.С., Вотилов Х.Э. //Расмий ахборотнома – 2024. - №5.

61. Патент РУз (UZ) № IAP 7683. Преобразователь угловых перемещений // Амиров С.Ф., Каримов И.А., Юлдашев Н.Р., Мамадалиев У.Ш., Шоимкулов А.А. // Расмий ахборотнома, 2024. - №5.

62. Петрухин В. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации. Учебное пособие [Текст]/ Петрухин В. В., Петрухин С. В. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. – 168 с.

63. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов, т. 2: Учебное пособие для втузов. –13-е изд. –Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.–560 с.

64. Погрешности контрольно – измерительных устройств. Салов Г.В., Тихомиров Ю.Ф., Яковлев Е.Л., Яковлев Л.Г. «Техника», 1975. - 232 с.

65. Подлипенский В.С., Савинин Ю.А., Юрчук Л.Ю. Элементы и устройства автоматики. – Санкт-Петербург: Политехника, 1995, - 472 с.

66. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник. В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. В.В. Крюева. – Москва: Машиностроение, 1978. – 448 с.

67. Проектирование элементов информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий: монография / Д.П. Ануфриев, В.М. Зарипова, Ю.А. Лежнина, И.Ю. Петрова, Т.В. Хоменко, О.М. Шикульская. – Астрахань: ГАОУ АО ВПО «Астраханский инженерно-строительный институт», 2015. – 231 с.

68. Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С. и др. Вибродиагностика: монография. / Под ред. Г.Ш. Розенберга. –СПб.: ПЭИПК, 2003. –284 с.

69. Саттаров Х.А. Индукционные датчики угловых ускорений для систем автоматического контроля и регулирования движения поездов: дис. ... к.т.н., Ташкент, 2009. – 229 с.

70. Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи перемещения с плоскими измерительными обмотками: автореф. дис. ... к.т.н., Ташкент, ТашПИ, 1990. – 24 с.

71. Сотсков В.С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. Москва, «Высшая школа», 1970. – 270 с.

72. Файзуллаев Ж.С. Электровозлар тортувчи асинхрон моторларини функционал диагностика усуллари ва техник воситаларини такомиллаштириш, дис. ... PhD., Ташкент, 2020. – 208 с.

73. Файзуллаев Ж.С., Шоимкулов А.А. Янги индукцион вибрация ўзгартиргичининг хатоликлари // The scientific journal vehicles and roads, – Ташкент, 2024. № 2. – С.77-83.

74. Файзуллаев Ж.С., Шоимкулов А.А. Индукцион вибрация ўзгартиргичларининг кўшимча хатоликлари // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации, 2024 №.2 – С.96-107.

75. Файзуллаев Ж.С. Тортувчи асинхрон моторларни функционал диагностика усулларининг қиёсий таҳлили// ТТЙМИ ахборотномаси. – Тошкент, 2019. – №4. – С. 96-101.

76. Фальк Г.В. Технические средства автоматизации и управления: исполнительные устройства, под ред. проф. А.Ф. Каперко. Учебное пособие.- МГИЭМ. М.2004. – 126 с.

77. Федотов А.В. Теория и расчет индуктивных датчиков перемещений для систем автоматического контроля: монография /. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 176 с.

78. Хамидов О.Р. Научные основы совершенствования методов диагностирования асинхронных тяговых электродвигателей локомотивов на железных дорогах Республики Узбекистан, дис. ... д.т.н., Санкт-Петербург, 2020. – 450 с.

79. Шрамков Е.Г. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс) Учеб. Пособие для вузов. Москва, «Высш. школа»

1972. – 520 с.

80. Шоимкулов А.А., Турдибеков К.Х., Файзуллаев Ж.С. Выбор диагностических параметров и алгоритма функциональной диагностики тяговых асинхронных двигателей // *Фан ва технологиялар тараққиёти* – Вухара, 2023. – №1. С.146-154.

81. Шоимкулов А.А. Эксплуатация жараёнида тортувчи асинхрон моторларнинг техник ҳолатини назорат қилиш усуллари // “Иқтисодий ва рақамлаштириш шароитларида энергетиканинг долзарб муаммолари” мавзусидаги халқаро республика илмий анжумани -Вухоро, 2022. – С. 486-488.

82. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин/ под ред. Е.О. Полищука. – Киев; Высшая школа, 1984. с. 284-288.

83. Электротехнический справочник: в 4-х т – 10-е изд., стереотип. / под ред. В.Г. Герасимова и др.–Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. – Т.1 – 963 с.

84. Юсупбеков Н.Р., Игамбердиев Х.З., Маликов А.В. Основы автоматизации технологических процессов: Учебное пособие для высшего и среднего специального образования. В 2-х ч. – Ташкент: ТГТУ, 2007. ч.1, 2. – 152 с., 173 с.

85. Юсупов А.Н. Структурные методы повышения точности трансформаторных преобразователей угла: автореф. дис. ... к.т.н.- Ижевск, ИГТУ, 2000. – 26 с.

86. Amirov S.F., Yakubov M.S. Metrologiya va elektr o'lchashlar. Darslik. Toshkent , - Adabiyot uchqunlari, 2018. -330 b.

87. Amirov S.F., Yakubov M.S., Jabborov N.G'. Nazariy elektrotexnika: Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun darslik. –Toshkent: ToshTYMI, 2016. – 481 b.

88. Amirov S.F., Shoimkulov A.A. Operating conditions, malfunctions of electric locomotives traction asynchronous motors and the current state of their diagnostics // *Acta of Turin polytechnic university in Tashkent* – Tashkent, 2022.– №3. P.57-62.

89. Amirov S.F., Shoimkulov A.A. Advantages of Electromagnetic diagnostics of traction asynchronous motors of electric locomotives // European multidisciplinary journal of modern science, 2022.– Volume 7. P. 439-442.
90. Amirov S.F., Shoimkulov A.A. Static and dynamic characteristics of the developed induction inertial vibration transducer // The scientific journal of vehicles and roads, 2024.– № 1. P. 125-135.
91. Amirov S.F., Sharapov Sh.A. Mathematical Models of Displacement Measurement Differential Transformer Sensors with Different Drive Elements and Magnetic // EUROPEAN MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF MODERN SCIENCE (EMJMS), Volume 15, Feb -2023 pp. 1-8.
92. Braun S., Ewins D., Rao S.S. Encyclopedia of vibration // Academic press 2002. – p 1685.
93. Collette C. Vibration control of flexible structures using fusion of inertial sensors and hyper-stable actuator-sensor pairs/ C. Collette F. Matichard// proceedings of ISMA 2014 including USD 2014. – 2014. – p. 1073-1084.
94. Christian Lalanne. Random vibration: Mechanical vibration and shock analysis revised and updated 3 -rd editon, volume 3 //Wiley, 2002, p 649.
95. Daniel J.Inman. Engineering vibration – fourth edition/ Persaon, 2014, p 721.
96. David Thompson. Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control // Elsevier Science, 2009, p 519.
97. Dirk Spreemann, Yiannos Manoli. Electromagnetic vibration energy harvesting devices // Springer, 2012, p 210.
98. Dominic Maurath, Yiannos Manoli. CMOS Circuits for electromagnetic vibration transducers: interfaces for ultra-low voltage energy harvesting // Springer, 2015, p 309.
99. Hatch, Michael R. Vibration simulation using MATLAB and ANSYS // CHAPMAN & HALL/CRC, 2000, p 656
100. Jyoti Kumar Sinha. Vibration analysis, instruments, and signal processing // CRC press, 2014, p 310.

101. Michel Geradin, Daniel J. Rixen. Mechanical vibrations: theory and application to structural dynamics // Wiley, 2015, p 617.
102. Pain H.J. The physics of vibrations and waves – sixth edition / John Wiley& Sons, Ltd, 2005, p 570.
103. Paul M. Kurowski. Vibration analysis of SOLIDWORKS simulation // SDC Publications, 2014, p 295.
104. Richard Boll, Kenneth J. Overshott, Wolfgang Göpel, Joachim Hesse, J. N. Zemel. “Sensors, Magnetic Sensors”. 2008. p 548.
105. Shoimkulov A.A. Advantages of test and functional diagnostics in troubleshooting traction asynchronous motors of electric locomotives // "International Journal of Theoretical and Practical Research" 2022. Vol.2. №11.P.26-31.
106. William T. Thompson. Vibration Monitoring of induction motors / Cambridge university press, 2020, p 316.
107. C. Chiriac., H. Chiriac. “Magnetic field and displacement sensor based on linear transformer with amorphous wire core” Sensors and Actuators A: Physical Volume 106, Issues 1–3, 15 September 2003, Pages 172-173.

QISQARTIRISHLAR RO‘YXATI

VO‘ – vibratsiya o‘zgartirgichi

STG – sinusoidal tebranishlar generatori

QQ – quvvat kuchaytirgich

SQ – sinalayotgan qurilma

BQ – boshqaruvchi qurilma

R – registrator

SR – skanirlovchi regulyator

DO – diagnostikalanuvchi obyekt

ARO‘ – analog raqamli o‘zgartirgich

RF – raqamli filtr

Vy. O‘ – veyvlent o‘zgartirgichi

FTO‘ – Fure tezkor o‘zgartirgichi

MB – ma’lumotlar bazasi

SA – spektr analizatori

HQ – hisoblash qurilmasi

NB – nosozliklar bazasi

Y – yaroqli

B – brak

IE – inersion element

ParVO‘ – parametrik vibratsiya o‘zgartirgichi

IVO‘ – induksion vibratsiya o‘zgartirgichi

TVO‘ – tenzometrik vibratsiya o‘zgartirgichi

RF – Rossiya Federatsiyasi

SVO‘ – sig‘im vibratsiya o‘zgartirgichi

QCHF – quyi chastota filtri

PVO‘ – pezoelektrik vibratsiya o‘zgartirgichi

ACHX – amplituda-chastotaviy xarakteristika

FCHX – faza-chastotaviy xarakteristika

EYUK – elektr yurituvchi kuch

MYUK – magnit yurituvchi kuch

SO' – siljish o'zgartirgichi

TO' – tezlanish o'zgartirgichi

PSS – parametrik struktura sxemasi

O'O' – o'lchov o'zgartirgichi

KS – korreksiyalovchi sxema

O'Q – o'lchov qurilmasi

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI TRANSPORT VAZIRLIGI
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
TERMIZ DAVLAT MUHANDISLIK VA AGROTEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI

Amirov Sulton Fayzullayevich
Shoimqulov Asror Abduabiyevich

BOSHQARUV VA DIAGNOSTIKA TIZIMLARI UCHUN
VIBRATSIYALARNI O'LCHOVCHI INDUKSION
O'ZGARTIRGICHLAR

Muharrir: S. T. Xashimov
Musahhih: H. Zakirova
Sahifalovchi: A. Hidoyatov
Dizayner: A. Abdiahodov

Nashriyot litsenziyasi AI № 3676, 24.12.2020 Ofset qog'ozi.
Bosishga ruxsat etildi 24.12.2024. Format 60x84 1/16.
Garnitura «Times New Roman». Bosma taboq 9.0 Adadi
300 nusxa. Buyurtma №15.

«"MOHIRBEK-ZIYO" »mas'uliyati cheklangan jamiyati.
Toshkent shahri, Uchtepa tumani Farhod ko'chasi 58-uy