

Әбдірашев Ә.К., Калманова Д.М.



**ЭЛЕКТР ӨЛШЕГІШ
ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІ БАР
АҚПАРАТТЫҚ-ӨЛШЕУ
ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ СЫЗЫҚТЫҚ
ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫ ӨЛШЕУДІҢ
ЖҮЙЕЛІК ҚАТЕЛІКТЕРІ**

Монография

Қазақстан республикасы Ғылым және жоғары білім
министрлігі
«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті»
КеАҚ

Әбдірашев Ө.К., Калманова Д.М.

**ЭЛЕКТР ӨЛШЕГІШ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІ БАР
АҚПАРАТТЫҚ-ӨЛШЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ
СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫ ӨЛШЕУДІҢ
ЖҮЙЕЛІК ҚАТЕЛІКТЕРІ**

Монография



Алматы
2024

ӘОЖ621.3
КБЖ32.84
Ә14

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Ғылыми Кеңесінің шешімімен қаралды және баспасөзге
ұсынылды, «24» қазан 2024 ж. №6_хаттама*

Рецензенттер:

Карипбаев С.Ж. – PhD, Азаматтық авиация академиясының,
"Авиациялық техника және технологиялар" кафедрасының қауым-
дастырылған профессоры

Ермекбаев М.М. – PhD, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика
және байланыс университетінің «Телекоммуникациялық инже-
нерия» кафедрасының доценті

Кокаев У.Ш. –техника ғылымдарының кандидаты, Л. Н. Гумилев
атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің "Көлік-энергетика
факультетінің" деканы

Ө.К. Әбдірашев, Д.М. Калманова

**Электр өлшегіш түрлендіргіштері бар ақпараттық-
өлшеу жүйелеріндегі сызықтық қозғалыстарды
өлшеудің жүйелік қателіктері:** Монография. - Алматы:
«ЛАНТАР BOOKS», 2024. – 259 стр.

ISBN 978-601-361-696-4

Монографияда электромагниттік жүйенің түбегейлі жаңа және ерекше үлгісін пайдалана отырып, автоматтандырылған басқаруы бар роботты жүйелердегі сенсорлық жабдықты бақылау және басқару үшін ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелері мәселелері көрсетілген.

ӘОЖ621.3
КБЖ32.84

ISBN 978-601-361-696-4 Әбдірашев Ө. К., Калманова Д. М., 2024
© «ЛАНТАР BOOKS», 2024

МАЗМҰНЫ

ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ	7
КІРІСПЕ	9
1 ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨЛШЕУ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІНІҢ КӨМЕГІМЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУДІҢ КОЛДАНЫСТАҒЫ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ	17
1.1. Механикалық шамалардың өлшеу жүйелерін дамытудың негізгі бағыттары	17
1.2. Шағын механикалық қозғалыстардың қарапайым электромагниттік түрлендіргіші	37
1.3. Классикалық электромагниттік фазалық түрлендіргіш және оның жұмыс принципі	39
1.4.Сызықтық орын ауыстырудың өлшеу жүйесінің метрологиялық сипаттамаларын жақсарту құралы ретінде гетерогенді магнит өткізгіші бар электромагниттік фазалық түрлендіргіш	52
1-тарау бойынша қорытындылар	57
2 СЫЗЫҚТЫҚ ОРЫН АУЫСТЫРУДЫ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ АЛГОРИТМІ ЖАҚСАРТЫЛҒАН ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ФАЗАЛЫҚ АУЫСТЫРҒЫШҚА НЕГІЗДЕЛГЕН ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІН ТҮРЛЕНДІРУ ФУНКЦИЯСЫ	59
2.1.Электр параметрлері және электромагниттік жүйенің электр және магниттік шамаларының таратылған параметрлері бар біртекті емес магнит өткізгішпен негізгі арақатынасы	59
2.1.1. Біркелкі ораманың индуктивтілігі	60
2.1.2. Синус орамасының индуктивтілігі	62
2.1.3. Косинус орамасының индуктивтілігі	65
2.1.4. Синустық және біркелкі орамалардың өзара индукция коэффициентін анықтау	68
2.1.5. Косинус пен біркелкі орамалардың өзара индукция коэффициентін анықтау	71
2.1.6. Синус және косинус орамаларының өзара индукция коэффициентін анықтау	73
2.1.7. Өлшеуіш электромагниттік түрлендіргіштің электрлік күй теңдеулерінің жалпыланған жүйесі элементтерінің параметрлері	77

2.2. Бір фазалы режимде жұмыс істейтін электро-магниттік түрлендіргіш орамаларының токтрын есептеу	80
2.3. Бір фазалы жұмыс режимінде сызықтық қозғалыстардың өлшеу жүйесін түрлендіру функциясы	87
2.4. Электромагниттік түрлендіргішті екі фазалы кернеу көзінен қуаттандыру кезінде сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесін түрлендіру функциясы	89
2.5. Таратылған параметрлері бар біртекті емес магниттік өткізгіш негізінде сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің алгоритмін әзірлеудің математикалық негізі	96
2.6. Электромагниттік түрлендіргіштің геометриялық өлшемдерін, материал параметрлерін және алдын ала есептеулерді енгізу	104
2.7. Компьютерлік модельді қолдана отырып, электромагниттік түрлендіргішпен сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің электрлік күйін талдау	105
2.8. Орамалардың токтарын есептеу нәтижелерін талдау. Электромагниттік түрлендіргіштің электрлік күйі.	106
2-тарау бойынша қорытындылар	112

3 СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫҢ АӨЖ ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ	114
3.1. Сызықтық қозғалыстардың АӨЖ имитациялық моделі	114
3.2. Сызықтық қозғалыстардың АӨЖ құрылымдық схемасы	117
3.3. Сызықтық қозғалыстарды өлшеуге арналған ақпараттық-өлшеу жүйесі (АӨЖ)	118
3.4. Сызықтық қозғалыстың фазалық сенсоры үшін кейбір қатынастар	138
3.5. Геометриялық өлшемдер мен физикалық параметрлер блогы	144
3.6. АӨЖ қызметін имитациялау блогы	146
3.7. Шығыс сигналының параметрлер блогы	147
3.8. АӨЖ қатесін анықтау блогы	150
3.9. Алынған нәтижелерді талдау және модельдеу моделін қолдану бойынша ұсыныстар	151
3-тарау бойынша қорытындылар	152

4 ТАРАТЫЛҒАН ПАРАМЕТРЛЕРІ БАР ГЕТЕРОГЕНДІ МАГНИТ ӨТКІЗГІШІ БАР ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТҮР-ЛЕНДІРГІШІ БАР СЫЗЫҚТЫҚ ОРЫН АУЫСТЫРУЛАРДЫ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЖҮЙЕЛІК ҚАТЕЛІК КӨЗДЕРІН ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІ	153
4.1. Сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің жүйелік қателіктерінің негізгі себептері.....	153
4.2. Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің амплитудалық қателігін талдау	161
4.3. Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің фазалық қателігін талдау	165
4.4. Электромагниттік түрлендіргіш орамдарының айналу санын бүтін санға дейін дөңгелектеудің өлшеу жүйесінің қателігіне әсері	167
4.5. Тістер санының дискреттілігінің өлшеу жүйесінің абсолютті қателігіне әсерін талдау	170
4.6. Электромагниттік түрлендіргіштің синус және косинус орамаларының электрлік параметрлерін теңдестірудің өлшеу жүйесінің қателігіне әсерін талдау	176
4.7 АӨЖ қателігіне шунт ұзындығының әсерін талдау.....	178
4.8. Генератор жиілігінің тұрақтылығының өлшеу жүйесінің қателігіне әсерін талдау	181
4-тарау бойынша қорытындылар.....	184

5 ТАРАТЫЛҒАН ПАРАМЕТРЛЕРІ БАР ГЕТЕРОГЕНДІ МАГНИТ ӨТКІЗГІШІ БАР ФАЗАЛЫҚ АУЫСТЫРҒЫШҚА НЕГІЗДЕЛГЕН ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ.....	186
5.1. Таратылған параметрлері бар гетерогенді магниттік құбыр негізінде өлшеу фазалық ауыстырғышының дизайны.....	186
5.2. Бөлінген параметрлері бар гетерогенді магнит өткізгіші бар электромагниттік фазалық ауыстырғышқа негізделген сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің құрылымы.....	189
5.3. Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесі үшін бөлінген параметрлері бар гетерогенді магнит өткізгіші бар фазалық ауыстырғыштың магниттік жүйесін талдау	192
5.4. Бөлінген параметрлері бар гетерогенді магнит өткізгіші бар электромагниттік түрлендіргіш негізінде сызықтық орын ауыстырудың өлшеу жүйесін ауыстыру схемасы	198
5.5. Берілген метрологиялық сипаттамалары бар сызықтық қозғалыстардың өлшеу жүйесін жобалау мәселелері	200

5.6. Көп өлшемді кеңістік және факторлардың өзара әрекеттесуі	202
5.7 Әсер етуші факторлардың теңдік жағдайынан әсер етуші факторлардың рұқсат етілген қателіктерін параметрлерін есептеу	216
5.8. Таразы теңсіздігі жағдайынан бір факторлы тәуелділіктердің стандартты ауытқуларын анықтау	218
5.9. Сызықтық қозғалыстардың ақпараттық-өлшеу жүйесінің жүйелік қателігін талдау мысалы	220
5-тарау бойынша қорытындылар	225
ҚОРЫТЫНДЫ	227
ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	229
Қосымша А. Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің моделі	243
Қосымша В. факторлардың өзара әсер ету коэффициенттерін есептеу бағдарламасы	254

ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

- АӨБЖ - ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелері
АӨЖ - ақпараттық-өлшеу жүйелері
ЭМТ - электромагниттік түрлендіргіш
ЭМЖ - электромагниттік жүйе
ЭМФ - электромагниттік фазалық түрлендіргіш
ТТК - тұрақты толқын коэффициенті
ФЖС - фазалық-жиілік сипаттамасы
УЖЖ - ультра жоғары жиілікті
АИМ - амплитудалық-импульстік модуляция
АСТ - аналогты-сандық түрлендіргіш
АЖС - амплитудалық-жиілік сипаттамасы
БЛМ - Белла-Лападула моделі
ЖФТ - жылдам Фурье түрлендіруі
СБ - синхрондау блогы
ИГ - импульс генераторы
ДКТ - дизъюнктивті қалыпты форма
РТБ - ресурстарды тәртіптік бөлу
ДТ - дифференциалдық теңдеу
ӨА - өлшеу арнасы
АКЖ - ақпараттық-коммуникациялық жүйе
ТЖС - төмен жиілікті сигнал
АКК - анықтамалық кернеу көзі
ӨТ - өлшеу түрлендіргіші
ТЖС - тамаша жолақ сигналы
ӨЖ - өлшеу жүйесі
ТЖҚК - тікелей жадқа қол жеткізу контроллері
КЖ - компьютерлік жүйе
МҚЕ - метрологиялық қамтамасыз ету
МОЖӨТ - металл-оксид-жартылай өткізгіш өріс транзи-
сторы
МП - микропроцессор
МС - метрологиялық сипаттамалары
СР - санкцияланбаған рұқсат
АЖҚ - алынбаған жүйелік кателік
ЖСҚ - жедел сақтау құрылғысы
ТКБ - теріс кері байланыс
ОК - операциялық күшейткіш

БАТ - беттік акустикалық толқындар
ТСК - тұрақты сақтау құрылғысы
БӨТ - бастапқы өлшеу түрлендіргіші
ДК - дербес компьютер
КЖТ - кернеу-жиілік түрлендіргіші
БҚЕ - бағдарламалық қамтамасыз ету
ҚТҚ – қабылдау-тарату құрылғысы
БПТ - бет профилінің түрлендіргіші
ПАӨЖ - полиметриялық ақпараттық-өлшеу жүйесі
ЖМТ - жалпы мақсаттағы тіркелім
ДЖР - дәйекті жуықтау регистрі
КИЕ - кері импульс есептегіші
РСК - Рид-Сүлеймен коды
АТ - айырмашылық теңдеуі
ДЖ - диагностика жүйесі
СЖ - сәйкестендіру жүйесі
ӨТҚ - өлшеу техникасының құралдары
БЖ - бақылау жүйесі
ОКА - орташа квадраттық ауытқу
САТЖ - сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесі
ҮТЖ - үлгіні тану жүйесі
ДЖЖ - деректерді жинау жүйесі
ТСМ - туннельді сканерлеу микроскопы
БЖ - басқару жүйесі
ТТ - техникалық тапсырма
ТАӨЖ - телеметриялық ақпараттық-өлшеу жүйесі
КТ - кедергі термометрі
ІСҚ - іріктеу / сақтау құрылғысы
ФМС - фазалық модуляцияланған сигнал
ТӨС - төмен өту сүзгісі
САТ - сандық-аналогтық түрлендіргіш
ЖМС - жиілік модуляцияланған сигнал
ИЕМ - импульстің ені модуляциясы
ЭЕМ - электрондық есептеу машинасы
ЭЦҚ - электрондық цифрлық қолтаңба
CRC коды-кателерді анықтауға арналған циклдік код
USB-әмбебап сериялық автобус

КІРІСПЕ

Ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерін (АӨБЖ) дамыту датчиктерді кеңінен қолдануды қамтиды. Датчиктер кез-келген ақпараттық-өлшеу жүйесінің негізгі буыны болып табылады және оның метрологиялық сипаттамаларын айтарлықтай анықтайды. Әртүрлі параметрлердің көптеген сенсорларын қамтитын басқару және басқару жүйелерін жобалау кейбір қиындықтармен байланысты. Мұндай жүйелердің датчиктері әртүрлі жұмыс принциптеріне ие, көбінесе жеке қуат көздері мен ақпаратты өңдеу құрылғыларын қажет етеді. Кіріс өлшенетін параметрлердің әртүрлілігі бастапқы өлшеу ақпаратын жинау кезінде белгілі бір қажеттіліктерді қанағаттандыру үшін қолдануға болатын сенсорлардың типтік қатарларын құру міндетін қояды.

Ақпараттық-өлшеу жүйелерінің (АӨЖ) теориялық негіздері әртүрлі өлшеу есептерін шешу үшін жаратылыстану ғылымдарын, соның ішінде заманауи математика мен физиканы, техникалық ғылымдарды зерттеудің әдістері мен нәтижелерін пайдаланады.

Жүйелердің теориялық негіздерін шартты түрде екі бағытқа бөлуге болады:

- техникалық жүйе ретінде АӨЖ әзірлеу және құру негіздері;
- АӨЖ аппараттық-бағдарламалық құрал ретінде жұмыс істеу негіздері
- өлшем процестерін жүргізудің жалпылық ерекшеліктері мен ерекшеліктерін және ерекшеліктерін көрсететін өлшемдер.

Осы басылымда негізінен АӨЖ жұмыс істеуін зерттеудің екінші бағытының материалдары баяндалған.

Өлшеу процесі өлшеу құралдарын, өлшеу есептерін қоядағы зерттеушілердің интеллектуалды ресурсын, өлшеу әдісін негіздеуді, өлшеу экспериментін орындауды, өлшеу деректерін өңдеу үшін ақпараттық, алгоритмдік және бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуді, нәтиже алуды және өлшеу

кателігін анықтауды қолданатын теорияны, әдіснаманы және тәжірибені бірлесіп жүзеге асыру болып табылады.

Өлшеу процесінің классикалық операциялары өлшеу деректерін қорғау операцияларымен толықтырылады, осылайша өлшеу ақпаратының дұрыстығын қамтамасыз етудің заманауи тенденциялары көрсетіледі.

Өлшеу процесі екі шараны дәйекті қолданумен сипатталады: өлшенетін шаманың мәнімен эксперименттік салыстыру кезінде физикалық өлшем (бірлік немесе шкала), сондай-ақ өлшеу нәтижесін және оның сапасын (дәлдік сипаттамаларын) статистикалық бағалау үшін нормаланған ықтималдық өлшемі.

АӨЖ ғылыми-техникалық, ақпараттық, зияткерлік, өндірістік, экономикалық және басқа ресурстарды пайдаланудың өнімі болып табылады және интегралды түрде Метрологияның ғылыми қолданбалы мәселелерін шешуде ақпараттық-өлшеу техникасының даму деңгейі мен мүмкіндіктерін көрсетеді.

Қазіргі АӨЖ келесідей жүзеге асырылуы мүмкін:

- нақты аппараттық - бағдарламалық өлшеу құралдары;
- имитациялық өлшеу экспериментін жүргізу үшін есептеу техникасының құралдарын кеңінен пайдалана отырып, имитациялық, математикалық, физикалық сияқты әртүрлі түрлерді модельдеудің заманауи ақпараттық-өлшеу технологияларын пайдалана отырып виртуалды ИАЖ.

Виртуалды АӨЖ-нің нақты АӨЖ-мен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар, оларды жүзеге асыру аз уақытты, өндірістік және қаржылық шығындарды қажет етеді. Алайда, кейбір жағдайларда мұндай АӨЖ өлшеу объектісінің ақпараттық белгісіздігіне байланысты объективті сенімді нәтижелер алуды қамтамасыз ете алмайды, сондықтан нақты жүйелерді қолдана отырып, нақты өлшеу экспериментін жүргізу қажет.

Қоғамның ақпараттық даму кезеңіндегі заманауи жүйелердің елеулі мүмкіндіктері едәуір өсті, бұл оларды қолданудың пәндік салаларын кеңейтуге де, Метрологияның

белгілі және жаңа ғылыми-қолданбалы мәселелерін шешудің тиімділігін арттыру үшін пайдалануға да ықпал етеді.

АӨЖ-н одан әрі дамыту және оларды ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында, соның ішінде кванттық Метрология мен нанотехнологияда пайдалану негізінен сенсорлардың жаңа түрлерінің жұмыс істеуі мен олардың негізінде құрудың жаңа принциптерін әзірлеумен айқындалатын болады.

Әдетте, сенсорлық аппаратураны бақылау мен басқарудың ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерін, роботтандыру және автоматтандырылған басқару жүйелерін құру кезінде көптеген электромагниттік түрлендіргіштер (ЭМТ) қолданылады. Сонымен қатар, әрбір электромагниттік түрлендіргіштің өзіндік қуат көзі және қайталама түрлендіргіш аппаратурасы бар. Механикалық қозғалыстардың параметрлерін электрлік сигналдарға өлшеу түрлендіргіштерін жасау үшін әртүрлі физикалық құбылыстар қолданылады, олардың ішінде айнымалы электромагниттік өріс арқылы орамалардың өзара әсерін қолдану ең көп таралған болып саналады. Механикалық орын ауыстыру параметрлерін өлшейтін электромагниттік түрлендіргіштер орамалардың өзара механикалық орын ауыстыруы кезінде өзара электромагниттік байланыстың өзгеру әсерін пайдаланады.

Бұл жағдайда шығыс сигналының амплитудасы, оның жиілігі немесе шығыс кернеуінің фазасының өзгеруі Шығыс электр сигналының ақпараттық белгісі ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Бұл жұмыста авторлар Калманова Д.М. және Әбдірашев Ө.К. гетерогенді бөлінген магниттік құбырдың (шунттың) тікелей және кері қозғалысы кезінде шығыс кернеуін өзгерту қасиеті бар электромагниттік жүйенің (ЭМЖ) түбегейлі жаңа және түпнұсқа конструкциясын қолдана отырып, автоматтандырылған басқару кезінде роботтандыру жүйелеріндегі сенсорлық аппаратураны бақылау және басқару үшін ақпараттық-өлшеу және басқару жүйесі ұсынылған. ЭМЖ - айналмалы фазалары бар сызықтық қозғалыс сенсоры-электромагниттік фазалық түрлендіргіш (ЭМФ).

Осылайша, ЭМФ негізіндегі сызықтық қозғалыс датчиктерінің АӨБЖ жүйелі қателіктерін азайту өзекті міндет болып табылады.

Қазіргі заманғы ақпараттық-өлшеу жүйелерін құру мәселелеріне Е. А. Ломтев, Е. А. Мокров, А. И. Мартяшин, В. А. Грановский, Л. Ф. Куликовский, В. С. Мелентьев, В. М. Шляндин, Э. И. Цветков және т. б. еңбектері арналған. Қазіргі АӨЖ ұйымдастыру және оңтайландыру теориясына В. Ю. Артемьев, А. А. Романов, Е. А. Нестеров, С. А. Федотов, А. С. Селиванов, Г. Г. Ступак, В. А. Селин, В. М. Ватутин, В. Г. Алыбин, Н. В. Карутин және т. б. үлкен үлес қосты. Электромагниттік түрлендіргіштер негізінде АӨЖ синтезінің ең тиімді шешімдері "Өлшеу техникасы" ғылыми-өндірістік бірлестігінде (Королев к.), сондай-ақ "НИИФИ" АҚ Turck Industrial Automation, Balluff, MTS Sensors Temposonics (Germany) және т. б. ұсынылды. [1-11]

ЭМФ негізіндегі сызықтық орын ауыстыру датчиктері бар қолданыстағы ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерін талдау үшін А.А. Ахметжанов пен А. А. Батовриннің еңбектеріне негізделген орамалардың электромагниттік өзара әрекеттесу теориясы қолданылады. [12-14] Алайда, жалпыланған магнит ағынын ЭМФ теориясының негізгі орны ретінде пайдалану магниттік сымның көптеген құрылымдық параметрлерінің сенсордың қателігіне әсерін есепке алуға мүмкіндік бермейді.

Датчиктерді жобалаудың қолданылатын әдістері энергетикалық сипаттамаларға негізделген конструкция элементтерінің параметрлерін алуға бағытталғанын ескеріңіз. Көп факторлы эксперименттің жеткілікті толық теориясы көп факторлы сынақтарды жүргізу бойынша ұсыныстар жасауға мүмкіндік береді. Бұдан шығатыны, АӨБЖ механикалық шамалардың қателігіне құрылымдық әсер ететін факторлардың әсері толық зерттелмеген. Өлшеу жүйесінің берілген метрологиялық сипаттамаларын алу жағдайынан механикалық шамалардың өлшеу жүйелерін жобалау теориясы мүлдем жоқ.

Негізгі мақсат - динамикалық қозғалыстарға қатысты ақпараттық-өлшеу жүйесіне тән қателіктерді жүйелі түрде

азайту. Бұған электромагниттік түрлендіргіштермен байланысты метрологиялық сипаттамаларды жақсарту арқылы қол жеткізу керек. Бұл жетілдірудің негізгі бағыты электромагниттік фазалық түрлендіргіштерді, атап айтқанда біртекті емес бөлінген магниттік өткізгіштері бар түрлендіргіштерді пайдалану болып табылады. Осы түрлендіргіштердің метрологиялық сипаттамаларын жетілдіре отырып, мақсат динамикалық қозғалыстармен жұмыс істеу кезінде ақпараттық-өлшеу жүйесінің дәлдігі мен сенімділігін едәуір арттыру болып табылады.

Мақсатқа жету үшін авторлар келесі міндеттерді шешті:

1) ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің жүйелі қателіктерін зерделеу үшін гетерогенді бөлінген магнит өткізгіші бар ЭМФ конструкцияларына талдау жүргізді;

2) сызықтық орын ауыстыру датчиктері үшін гетерогенді үлестірілген магнит өткізгішпен ЭМФ өлшеудің жүйелі қателік көздеріне талдау жүргізді;

3) ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің жүйелік қателіктерін төмендету үшін ЭМФ-мен біртекті емес бөлінген магнит құбыры негізінде жүйені түрлендіру функциясын түзетті;

4) механикалық орын ауыстыруларды өлшеуді АӨБЖ жобалау үшін жүйелі қателерді бағалауға мүмкіндік беретін сызықтық орын ауыстыруларды өлшеу жүйесінің жұмыс істеуінің жақсартылған алгоритмін әзірледі;

5) сызықтық орын ауыстыру датчиктерінің сенімділігін арттыру үшін көпөлшемді ортогоналды кеңістіктің осьтері бойынша өлшеулердің абсолютті қателіктерін ескере отырып, өлшеулердің жүйелі қателігін Талдау әдістемесін жасады;

6) біркелкі бөлінбеген ЭМФ магнит өткізгіші бар орын ауыстыру датчигі негізінде динамикалық орын ауыстырулар жүйесінің ақпараттық-өлшеу және басқару құрылымдық схемасын әзірледі;

7) роботтандыру және автоматтандырылған басқару жүйелерінің датчиктік аппаратурасын құру процесіне әзірленген әдістеме мен ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерін енгізуге міндетті.

Пайдаланылған ЭМЖ-нің теориялық зерттеулері нақты бастапқы параметрлер жүйесін қолдану арқылы жасалады, бұл әзірленген сенсордың электрлік параметрлерін есептеу үшін жеткілікті дәл формулаларды алуға мүмкіндік берді.

Электромагниттік параметрлердің таралуына тән дискреттілікті ескере отырып, ақпараттық өлшеу және басқару жүйесіндегі датчиктердің электрлік параметрлерін зерттеу үшін қолданылатын негізгі модельдеу құрылымы аспаптық тәсіл ретінде қарастырылды. Бұл модельдеу моделі жүйенің қасиеттерін жоғары дәлдікпен мұқият зерттеудің сенімді құралы ретінде қызмет етеді. Осы модельдеу моделін қолдана отырып, әдетте бір факторлы тесттер деп аталатын нәрсені жүргізуге болады. Бұл сынақтар өз кезегінде әртүрлі құрылымдық параметрлердің ақпараттық-өлшеу жүйелері мен басқару жүйелеріне тән қателіктерге әсер ету дәрежесін мұқият анықтауды жеңілдетеді.

Фазалық сенсорлары бар ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің қателіктерін талдау және АӨБЖ элементтерінің параметрлеріне қойылатын талаптарды анықтау үшін көп факторлы эксперимент теориясында кеңінен қолданылатын көпмүшелік түріндегі қателіктің дәстүрлі моделін қолдануға болады. Сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесін модельдеу үшін авторлар MathCAD және MatLAB компьютерлік орталары қолданды.

Жаңа конструкциядағы фазалық айналмалы және гетерогенді таратылған магнит өткізгіші бар ЭМТ негізіндегі динамикалық орын ауыстыруларды АӨБЖ енгізу арқылы алынған теориялық және практикалық нәтижелер электромагниттік түрлендіргіштердің метрологиялық сипаттамаларын 5% - ға дейін жақсартуға мүмкіндік береді. Сызықтық қозғалыстардың АӨБЖ жүйелік қателіктерін талдау әдістемесімен бірге роботтандырылған және автоматтандырылған жүйелердің сенімділігін 2 % арттыруға мүмкіндік береді. Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу құрылғысының жұмыс істеуінің жақсартылған алгоритмі көпөлшемді ортогоналды кеңістіктің осьтері бойынша өлшеулердің жүйелік қателіктерін 1,5 есе

дәл бағалауға мүмкіндік береді, ал өлшеу жүйесін түрлендірудің түзетілген функциясы АӨБЖ өлшеулерінің жүйелік қателіктерін 4% - ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

Калманова Д.М. өлшеу қателеріне талдау жүргізіп, механикалық қозғалыстарды өлшеудің автоматтандырылған басқару жүйесін жобалау үшін жүйелік қателерді әдістемелік талдау және бағалау әзірленді [135]. Әбдірашев Ө. К. сызықты қозғалысты өлшеу жүйелерінің функционалдығын жақсарту үшін алгоритмдер мен блок-схемалар әзірледі [45-49]. Сондай-ақ авторлар роботтандырылған және автоматтандырылған басқару жүйелері үшін сенсорлық жабдықты құру процесінде әзірленген әдістеме [50-53] мен ақпараттық, өлшеу және басқару жүйелерін бірлесіп енгізді [84, 135].

Монография кіріспеден, бес тараудан, тарау қорытындыларынан, қорытындыдан, әдебиеттер тізімінен және екі қосымшадан тұрады.

1-тарауда электромагниттік өлшеу түрлендіргіштерінің көмегімен механикалық шамаларды өлшеудің қолданыстағы әдістеріне талдау жүргізілді, механикалық шамаларды өлшеу жүйелерінің дамуының негізгі бағыттары көрсетілген, шағын механикалық орын ауыстырулардың ең қарапайым электромагниттік түрлендіргіші, классикалық электромагниттік фазалық ығыстырғыш және оның жұмыс істеу принципі, сондай-ақ сызықты қозғалысты өлшеу жүйесінің метрологиялық сипаттамаларын жақсарту құралы ретінде біркелкі емес магниттік ядросы бар электромагниттік фазалық ауыстырғыш қарастырылған.

2-тарауда синустың, косинустың және біркелкі орамалардың өзара индукциялық коэффициенттері анықталады. Болінген параметрлері бар біркелкі емес магниттік тізбек негізінде сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің алгоритмін құрудың математикалық негізі де әзірленді. Электромагниттік түрлендіргіші бар сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің электрлік күйін талдау

компьютерлік модельді пайдалана отырып, сонымен қатар орама токтарын есептеу нәтижелерін талдау жүргізілді [50].

3 тарауда сызықты қозғалыстың ақпараттық жүйелерінің имитациялық моделі және оның құрылымдық диаграммасы талданады. Сондай-ақ геометриялық өлшемдер мен физикалық параметрлердің блоктары, АӨЖ жұмысын имитациялау блогы, шығыс сигнал параметрлерінің блогы, АӨЖ қателігін анықтау блогы қарастырылады. Алынған нәтижелерге талдау жасалып, модельдеу моделін қолдану бойынша ұсыныстар берілді.

4-тарауда сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесіндегі жүйелі қателердің негізгі себептері анықталып, сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің амплитудалық және фазалық қателіктерінің талдауы жүргізілді [84]. Осы зерттеулердің нәтижелері бойынша өлшеу жүйесінің абсолютті қателігіне тістердің дискретті санының әсерін талдау электромагниттік синус пен косинус орамаларының электрлік параметрлерін теңестірудің әсерін талдау жүргізілді. Өлшеу жүйесінің қатесі бойынша түрлендіргіш, АӨЖ қателігіне шунт ұзындығының әсерін талдау және генератор жиілігінің тұрақтылығының өлшеу жүйесінің қателігіне әсерін қарастырылды.

Соңында, 5-тарауда сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесі үшін бөлінген параметрлері бар біркелкі емес магниттік ядросы бар фазалық ауыстырғыштың магниттік жүйесі, сондай-ақ біркелкі емес магнитті электромагниттік түрлендіргіш негізіндегі сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің эквиваленттік тізбегі талданады. Берілген метрологиялық сипаттамалары бар сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесін жобалау мәселелері қарастырылады. Салмақтардың теңсіздігі шартынан бір факторлы тәуелділіктердің стандартты ауытқулары анықталды. Сызықтық қозғалыстардың ақпараттық-өлшеу жүйесінің жүйелі қателігін талдаудың мысалы келтірілген.

Қорытындыда зерттеудің негізгі нәтижелері келтірілген.

1 ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨЛШЕУ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІНІҢ КӨМЕГІМЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУДІҢ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

1.1. Механикалық шамалардың өлшеу жүйелерін дамытудың негізгі бағыттары

Өлшеу түрлендіргіші - өлшенетін шаманы басқа шамаға түрлендіруге қызмет ететін нормаланатын метрологиялық сипаттамалары бар техникалық құрал немесе өңдеуге, сақтауға, одан әрі түрлендіруге, индикациялауға және беруге ыңғайлы, бірақ оператор тікелей қабылдамайтын өлшеу сигналы. Өлшеу түрлендіргіші немесе қандай да бір өлшеу құралының құрамына кіреді (өлшеу қондырғысы, өлшеу жүйесі) немесе қандай да бір өлшеу құралымен бірге қолданылады.

Түрлендіру сипаты бойынша келесі түрлендіргіштер ажыратылады:

Аналогтық өлшеу түрлендіргіші - бір аналогтық шаманы (аналогтық өлшеу сигналы) басқа аналогтық шамаға (өлшеу сигналы) түрлендіретін өлшеу түрлендіргіші;

Аналогтық-сандық өлшеу түрлендіргіші - аналогтық өлшеу сигналын сандық кодқа түрлендіруге арналған өлшеу түрлендіргіші;

Сандық-аналогтық өлшеу түрлендіргіші - сандық кодты аналогтық шамаға түрлендіруге арналған өлшеу түрлендіргіші.

Өлшеу тізбегіндегі орны бойынша келесі түрлендіргіштер ажыратылады:

Бастапқы өлшеу түрлендіргіші - өлшенетін физикалық шама тікелей әсер ететін өлшеу түрлендіргіші. Бастапқы өлшеу түрлендіргіші өлшеу құралының өлшеу тізбегіндегі бірінші түрлендіргіш болып табылады;

Сенсор - конструктивті түрде окшауланған бастапқы өлшеу түрлендіргіші;

Детектор - иондаушы сәулеленуді өлшеу аймағындағы сенсор;

Аралық өлшеу түрлендіргіші - бастапқы түрлендіргіштен кейін өлшеу тізбегінде орын алатын өлшеу түрлендіргіші.

Тарату өлшеу түрлендіргіші - өлшеу ақпаратының сигналын қашықтықтан беруге арналған өлшеу түрлендіргіші;

Масштабты өлшеу түрлендіргіші - шаманың өлшемін немесе өлшеу сигналын белгілі бір рет өзгертуге арналған өлшеу түрлендіргіші.

Әрекет принципі бойынша түрлендіргіштер генератор және параметрлік болып бөлінеді.

Генераторлар - бұл кіріс шамасының әсерінен электр энергиясын өндіретін түрлендіргіштер (шығыс шамасымен - кернеу немесе ток). Генераторлық өлшеу түрлендіргіштері энергия көзі жоқ өлшеу тізбегіне қосылуы мүмкін. Генераторлық өлшеу түрлендіргіштерінің мысалдары термоэлектрлік және фотоэлектрлік өлшеу түрлендіргіштері болып табылады.

Параметрлік-бұл өлшенетін шаманың әсерінен шығыс шамасының мәнін әсер ету принципіне байланысты өзгертетін түрлендіргіштер (кедергінің, сыйымдылықтың өзгеруі түріндегі шығыс шамасымен және кіріс шамасының мәніне байланысты), оларға терморезистивті, сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштері жатады.

Түрлендіргіштің әрекеті негізделген физикалық заңдылыққа сәйкес барлық өлшеу түрлендіргіштерін келесі топтарға бөлуге болады [16-17]:

- резистивті;
- жылулық;
- электромагниттік;
- электростатикалық;
- электрохимиялық;
- пьезоэлектрлік;
- фотоэлектрлік;
- электрондық;
- кванттық.

Өлшеу түрлендіргіштерінің кейбір топтарын толығырақ қарастырайық.

Резистивті өлшеу түрлендіргіштері қазіргі уақытта ең көп таралған болып табылады. Әрекет принципі кіріс шамасы өзгерген кезде олардың электрлік кедергісін өзгертуге негізделген.



Сурет 1.1 Резистивті өлшеу түрлендіргішінің схемасы

Резистивті өлшеу түрлендіргішін құру кезінде олар R кедергісінің өзгеруін бір кіріс шамасының (екіден аз) әсерінен жүзеге асыруға тырысады.

Ол үшін паразиттік ретінде әрекет ететін қалған кіріс шамаларының әсері технологиялық, конструктивті немесе схемалық техникалық жолмен қажетті минимумға дейін азаяды. Бұл түрлендіргіштің қарапайым схемасы 1.1 -суретте көрсетілген.

Бұл түрлендіргіштің артықшылықтарына мыналар жатады: конструкцияның қарапайымдылығы, шағын өлшемдер мен масса, жоғары сезімталдық, кіріс сигналының төмен деңгейінде үлкен ажыратымдылық, жылжымалы ток байланыстарының болмауы, жоғары өнімділік, тиісті құрылымдық параметрлерді таңдау арқылы қажетті түрлендіру заңын алу мүмкіндігі, кіріс тізбегінің өлшеу тізбегіне әсер етпеуі.

Кемшіліктері: сигнал шығысының төмен деңгейі, қоршаған орта параметрлерінің өзгеруіндегі сипаттамалардың тұрақсыздығы, паразиттік, сыйымдылықтардың әсері, шығыс сигналының шығынын азайту үшін тізбек резонансқа реттеледі. Жүктеменің реактивтілігі мәні бойынша тең және сенсордың ішкі кедергісі белгісімен кері таңдалады.

Электромагниттік өлшеу түрлендіргіштері - мұндай түрлендіргіштер әртүрлі физикалық шамаларды өлшеуге

арналған түрлендіргіштердің үлкен тобын құрайды және әсер ету принципіне байланысты параметрлік және генераторлық болып табылады[22].

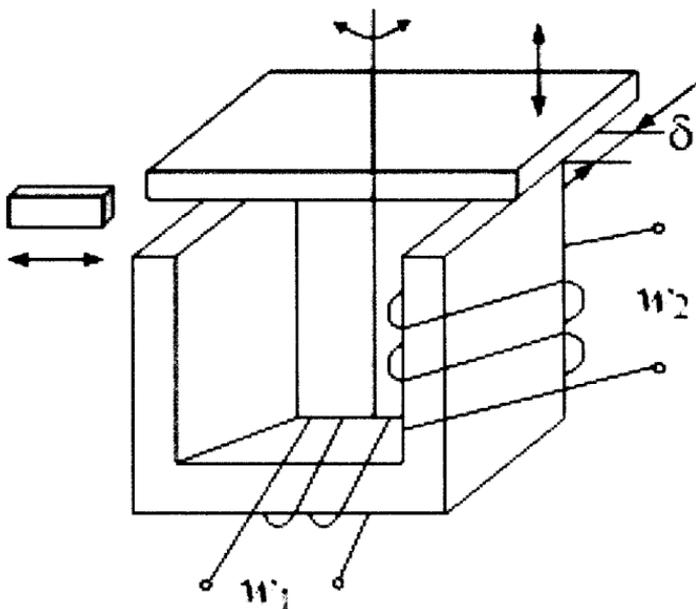
Параметрлік түрлендіргіштерге Шығыс механикалық әсер магниттік тізбектің параметрлерінің өзгеруіне - магниттік өткізгіштікке, RM магниттік кедергісіне, L орамасының индуктивтілігіне айналатын түрлендіргіштер жатады.

Генераторларға - шығыс сигналын алу үшін электромагниттік индукция Заңын қолданатын индукциялық типті түрлендіргіштер. Олар трансформаторлар мен электр машиналары негізінде жасалуы мүмкін. Соңғы топта генераторлар, сельсиндер, айналмалы трансформаторлар.

L және M мәндерін саңылауды азайту немесе ұлғайту, якорьдің орнын өзгерту, магнит ағынының S қимасын өзгерту, якорьді магнит тізбегінің қозғалмайтын бөлігіне қатысты бұру, ауа саңылауына ферромагниттік материал пластинасын енгізу, сәйкесінше σ және магниттік саңылау кедергісін азайту арқылы өзгертуге болады.

Табиғи кіріс шамасын индуктивтіліктің өзгеруіне ауыстыру түрінде түрлендіретін өлшеу түрлендіргіштері индуктивті деп аталады.

Өзара индуктивтіліктің өзгеруіне ауысатын түрлендіргіштер M , әдетте трансформаторлар деп аталады.



1.2 сурет - Магниттік кедергінің өзгеруіне негізделген өлшеу түрлендіргішінің схемасы

$$R_M = \frac{1}{\mu_0 S}; \quad (1.1)$$

$$R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 S} \quad (1.2)$$

Трансформаторлық түрлендіргіштерде М өзара индуктивтілігінің өзгеруін магниттік кедергі өзгерген кезде ғана емес, сонымен қатар орамалардың бірін магнит тізбегі бойымен немесе бойымен жылжытқанда да алуға болады.

Егер түрлендіргіштің жабық магниттік тізбегіне қысу, созу немесе бұрау күштері қолданылса, онда олардың

әсерінен 0 ядросының магниттік өткізгіштігі өзгереді, бұл ядроның магниттік кедергісінің өзгеруіне және сәйкесінше L немесе M өзгеруіне әкеледі.

$$R_M \approx \frac{1}{\mu_0 S} \quad (1.3)$$

Механикалық деформация әсерінен ферромагниттік ядроның магниттік өткізгіштігінің өзгеруіне байланысты магниттік кедергінің өзгеруіне негізделген түрлендіргіштер магниттік серпімді деп аталады. Олар күштерді, қысымдарды, моменттерді өлшеу үшін кеңінен қолданылады. Магниттік кедергінің өзгеруіне негізделген өлшеу түрлендіргішінің сұлбасы 1.2-суретте көрсетілген.

Егер орамасы арқылы тұрақты ток өтетін тұрақты магниттің немесе электромагниттің саңылауында ораманы жылжытсаңыз, онда электромагниттік индукция заңына сәйкес орамада ЭҚК пайда болады

Магнит ағынының өзгеру жылдамдығы ауа саңылауындағы орамның қозғалу жылдамдығымен анықтала-тындықтан, түрлендіргіш сызықтық немесе бұрыштық қозғалыстардың жылдамдығы түрінде табиғи кіріс мәніне, ал индуктивті ЭҚК түрінде шығыс мәніне ие. Мұндай түрлендіргіштер индукциялық деп аталады [27].

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер - мұндай датчиктердің жұмыс принципі тікелей және кері пьезоэлектрлік әсерді қолдануға негізделген.

Тікелей әсер кейбір материалдардың механикалық жүктемені қолдану кезінде бетінде электр зарядтарын түзу қабілетін білдіреді.

Кері әсер - механикалық кернеудің немесе геометриялық өлшемдердің өзгеруінде ол электр өрісінің әсерінен материал түзеді.

Пьезоэлектрлік материалдар ретінде табиғи материал - кварц, турмалин, сондай-ақ барий титаниті, қорғасын титаниті және қорғасын цирконаты негізіндегі жасанды поляризацияланған керамика қолданылады.

Сандық түрде пьезоэффект пайда болатын Q заряды мен Қолданылатын F күші арасындағы байланысты орнататын Kd пьезомодулымен бағаланады, оны формула арқылы көрсетуге болады:

Өлшеу түрлендіргішінің тағы бір түрін қарастырыңыз жылу түрлендіргіштері.

Олардың жұмыс принципі жылу процестерін (жылыту, салқындату, жылу алмасу) қолдануға негізделген және мұндай датчиктердің кіріс мәні температура болып табылады.

Алайда, олар тек температураны ғана емес, сонымен қатар жылу ағыны, газ ағынының жылдамдығы, ылғалдылық, сұйықтық деңгейі сияқты шамаларды түрлендіргіш ретінде қолданылады.

Жылу түрлендіргіштерін құру кезінде термо-ЭҚК пайда болуы, заттың кедергісінің температураға тәуелділігі сияқты құбылыстар жиі қолданылады.

Термопара - бұл екі түрлі өткізгіштерден немесе жартылай өткізгіштерден тұратын және бақыланатын температураны ЭҚК-ге айналдыратын сезімтал элемент.

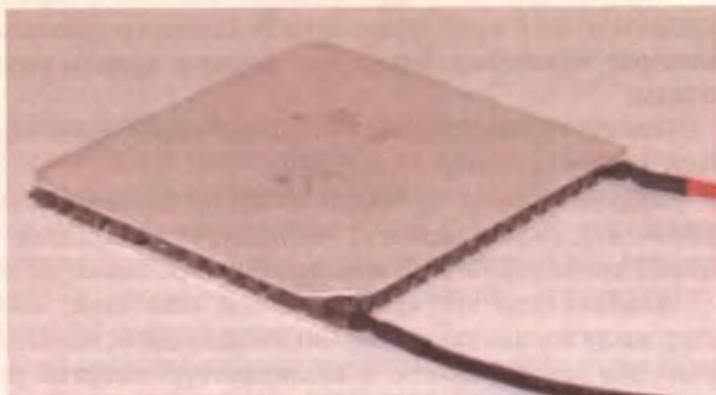
Термоэлектрлік түрлендіргіштің жұмыс принципі екі гетерогенді өткізгіштер тізбегінде пайда болатын термоэлектрлік қозғаушы күштің қолданылуына негізделген, олардың қосылу орны (спайлар) әртүрлі температураға дейін қызады. Термоэлектрлік түрлендіргіштің жалпы көрінісі 1.3-суретте көрсетілген.

Тізбектегі термо-ЭҚК белгісі мен мәні материалдың түріне және дәнекерлеу орындарындағы температура айырмашылығына байланысты.

Термо-ЭҚК дәнекерлері арасындағы температураның шамалы айырмашылығы кезінде температура айырмашылығына пропорционалды деп санауға болады:

Термопара көмегімен температураны анықтауға болады.

Термопараларға арналған материалдар ретінде әртүрлі кымбат металдар (платина, алтын, иридий, родий және олардың қорытпалары), сондай-ақ негізгі металдар (болат, никель, хром, нихром қорытпалары) қолданылады.



Сурет 1.3 Термоэлектрлік түрлендіргіштің жалпы көрінісі

Кремний мен селен термопаралары (жартылай өткізгіштер) салыстырмалы түрде сирек қолданылады, олардың механикалық беріктігі төмен, ішкі кедергісі жоғары, бірақ олар металдармен салыстырғанда үлкен термо-ЭҚК қамтамасыз етеді.

Термо-ЭҚК тек гетерогенді материалдардың дәнекеруінде пайда болады. Әр түрлі материалдарды салыстыру кезінде платинаның термо-ЭҚК негізгі ретінде қабылданады, оған қатысты басқа материалдардың термо-ЭҚК анықталады.

Шығыс ЭҚК арттыру үшін термобатареяны құрайтын термопаралардың дәйекті қосылуы қолданылады.

Термопаралардың артықшылығы - температураның үлкен диапазонында өлшеу мүмкіндігі; құрылғының қарапайымдылығы; сенімділік.

Кемшіліктері - төмен сезімталдық, үлкен инерция, бос дәнекерлеудің тұрақты температурасын сақтау қажеттілігі.

Терморезисторлық түрлендіргіштер температура өзгерген кезде электр кедергісін өзгерту үшін өткізгіштің немесе жартылай өткізгіштің қасиеті негізінде жұмыс істейді.

Мұндай датчиктер үшін жоғары тұрақтылыққа, берілген температурада электр кедергісінің жоғары қайталануына, айтарлықтай кедергіге, қыздырудағы химиялық және физикалық қасиеттердің тұрақтылығына, зерттелетін органның әсеріне инерттілікке ие материалдар қолданылады.

Мұндай материалдарға ең алдымен платина, мыс, никель, вольфрам жатады. Ең көп таралған платина және мыс терморезисторлары.

Платина термисторлары 0-ден 6500 С-қа дейін қолданылады; 0-ден 2000 С-қа дейін. Олардың кемшілігі өнімділіктің тұрақтылығын жоғалтады және жоғары температурада материалдың сынғыштығы артады.

Мыс термисторлары 50-ден 1800 С-қа дейінгі температура диапазонында қолданылады, олар коррозияға төзімді, арзан.

Олардың кемшіліктері: қыздыру кезінде жоғары тотығу, нәтижесінде олар ылғалдылығы төмен ортада және агрессивті газдар болмаған кезде салыстырмалы түрде тар температура диапазонында қолданылады.

Жартылай өткізгіш терморезисторлары металдардан кішірек өлшемдері мен инерциялылығымен ерекшеленеді. Кемшілігі-қарсылықтың температураға сызықтық емес тәуелділігі.

Терморезисторлар әдетте температураны өлшеу үшін қолданылады. Бұл жағдайда олар арқылы өтетін жүктеме тогы аз болуы керек. Егер бұл ток үлкен болса, онда терморезистордың қоршаған ортаға қатысты қызып кетуі айтарлықтай болуы мүмкін. Қызып кетудің белгіленген мәні және сәйкесінше қарсылық терморезистор бетінің жылу беру шарттарымен анықталады.

Егер қыздырылған терморезистор айнымалы жылу-физикалық сипаттамалары бар ортаға орналастырылса, онда

бірқатар физикалық шамаларды өлшеуге болады: сұйықтық пен газдар ағынының жылдамдығы, газдардың тығыздығы.

Сым мыс терморезисторларының сезімталдығы тұрақты, ал платина сезімталдығы температураның өзгеруіне байланысты өзгереді. Бірдей R_0 мәндерінде мыс термисторларының сезімталдығы жоғары болады.

Платина және мыс сезімтал элементтері бар терморезисторлармен өлшенетін температура диапазоны - 200-ден + 1100 °C-қа дейін.

Жоғары температураны өлшеу кезінде жанаспайтын өлшеу құралдары - температураны жылу сәулеленуімен өлшейтін пирометрлер қолданылады. 20-дан 6000 °C дейінгі диапазондағы температураны өлшеуді қамтамасыз ететін пирометрлер жаппай шығарылады.

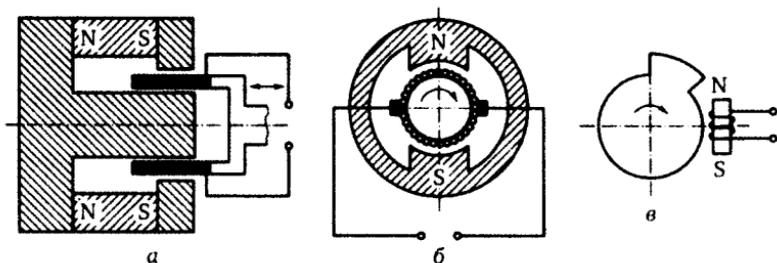
Температураны өлшеудің жанаспайтын әдісі абсолютті қара дененің сәулеленуінің температураға тәуелділігіне негізделген, яғни кез-келген толқын ұзындығының сәулеленуін толығымен сіңіре алатын дене.

Электромагниттік өлшеу түрлендіргіштері

Электромагниттік түрлендіргіштерде өлшенетін электрлік емес шама материалдардың магниттік қасиеттерін өзгерту арқылы пропорционалды электрлік шамаға айналады [54]. Электромагниттік түрлендіргіштердің ішінде индукциялық, индуктивті және магнитті-серпімді түрлендіргіштер кең таралған.

Индукциялық түрлендіргіштер. Индукциялық түрлендіргіштерде (сурет 1.4) зерттелетін объектінің сызықтық немесе бұрыштық жылдамдығы (айналу жиілігі) пропорционалды ЭҚК-ге айналады. Индукциялық түрлендіргіштердің жұмыс принципі электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Мұндай түрлендіргіштердегі кіріс мәні зерттелетін объектінің қозғалысының (айналуының) сызықтық немесе бұрыштық жылдамдығы болып табылады. Конструкциясы бойынша индукциялық түрлендіргіштер жылжымалы катушкамен және бекітілген магнитпен келеді (сурет 1.4, а, б) немесе қозғалмайтын катушкамен және қозғалмайтын тұрақты магнитпен (сурет 1.4, в) [20].

1.4-суретте көрсетілгендей, индукциялық түрлендіргіштер негізінен тахогенераторлар деп аталатын тұрақты немесе айнымалы ток электр машиналары болып табылады.



Сурет 1.4 Жылжымалы катушкамен және қозғалмайтын магнитпен (а, б) және қозғалмайтын катушкамен және магнитпен (в) электрлік емес шамалардың индукциялық түрлендіргіштерінің конструкциялары

Тұрақты ток тахогенераторының сипаттамасы оның $U_{\text{вых}}$ шығыс кернеуінің якорьдің айналу жылдамдығына тәуелділігін білдіреді (1.4):

$$U_{\text{вых}(\omega)} = k\omega, \quad (1.4)$$

мұндағы k - статикалық түрлендіру коэффициенті немесе тахогенератор тұрақтысы.

Бұл тәуелділік идеалды тұрақты ток тахогенераторына қатысты. Нақты түрлендіргіште шығыс кернеуінің мәніне машинаның негізгі магнит ағынын әлсірететін якорь реакциясы және щетка контактісінің өтпелі кедергісіндегі кернеудің төмендеуі әсер етеді. (1.5) Сондықтан тұрақты ток тахогенераторының нақты сипаттамасы сызықты емес:

$$U_{\text{вых}} = \frac{k\omega - U_{\text{щ}}}{1 + R_{\text{я}} / R_{\text{из}}}, \quad (1.5)$$

мұндағы $u_{\text{щ}}$ - щетка контактісінің өтпелі кедергісіндегі кернеудің төмендеуі, В; $R_{\text{я}}$ — якорь тізбегінің кедергісі, Ом; $R_{\text{из}}$ - тахогенератор қосылған өлшеу тізбегінің кедергісі, Ом.

Тұрақты ток тахогенераторларының көмегімен жылдамдықты түрлендіру қателіктері оның орамаларын қыздыру, шығыс кернеуінің асимметриясы және щеткамен байланыстың өтпелі кедергісінің тұрақсыздығы нәтижесінде пайда болады.

Тұрақты ток тахогенераторларының басты артықшылығы-жүктеме сипатының жылдамдықты түрлендіру сапасына әсер етпеуі. Сондықтан мұндай түрлендіргіштерде фазалық қателік болмайды. Алайда, тахогенераторда жылжымалы электр байланысының болуы (щетка-коллектор) және нәтижесінде шығыс кернеуінің төмен жиілікті пульсациялары, сондай-ақ конструкцияның күрделілігі оларды айнымалы ток тахогенераторларымен салыстырғанда қолдануды шектейді.

Айнымалы ток тахогенераторларының ішінде үш фазалы синхронды машиналар ең көп таралған. Мұндай түрлендіргіштер шығаратын ЭҚК жиілігі оның роторының айналу жиілігіне байланысты (1.6):

$$E = k\Phi \frac{pn}{60}, \quad (1.6)$$

мұндағы Φ - негізгі магнит ағыны, Вб; p - машина полюстерінің жұп саны; n - ротордың айналу жиілігі, с^{-1} .

Тахогенератордың параметрлері және көптеген жағдайларда өлшеу тізбегі жиілікке тәуелді болғандықтан, түрлендіргіштің сипаттамасы сызықты емес. Мұндай

түрлендіргіштерді түзеткішпен бірге қолдану ЭҚК-нің жоғары жиілігін алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мұндай түрлендіргіштер жылжымалы электр байланысына ие емес және жоғары сенімділікке ие. Бұл мүмкіндіктер бұрыштық жылдамдықтар мен үдеулерді үлкен диапазонға түрлендіру үшін айнымалы ток тахогенераторларын пайдалануға мүмкіндік береді.

Айналмалы объектілердің осьтік (сызықтық) қозғалыстарын түрлендіру үшін индукциялық түрлендіргіштер қолданылады.

Мұндай түрлендіргіштің шығысындағы сигнал оның жылжымалы катушкасының орналасуының өзгеру заңына сәйкес уақыт бойынша өзгереді. Сонымен, егер x өлшенетін шамасы $x = x_m \sin(\omega t)$ заңына сәйкес өзгерсе, онда түрлендіргіштің шығысындағы ЭҚК-нің лездік мәні (1.7).

$$e = \omega x_m B w l_{cp} \sin(\omega t), \quad (1.7)$$

Мұндағы x_m - өлшенетін орын ауыстыру амплитудасы, м; B - түрлендіргіш саңылауындағы индукция, Тл; w - түрлендіргіш катушкасының бұрылыстарының саны; l_{cp} - түрлендіргіш катушкасының орташа ұзындығы, м.

Индукциялық түрлендіргіштердің негізгі кемшілігі-олардың сипаттамаларының сызықты еместігі. Магниттік өткізгіштің геометриясын ұтымды таңдау және катушкаларды орналастыру минималды қателіктерге жетеді. Сонымен қатар, түрлендіргіштердің қателіктеріне уақыт пен температура бойынша магнит ағынының өзгеруі әсер етеді.

Өнеркәсіп шығаратын айнымалы ток тахогенераторларында 0,2...0,5%-ға дейінгі қателіктер бар.

Индуктивті түрлендіргіштер. Индуктивті түрлендіргіштердің жұмыс принципі магниттік тізбектің параметрлерін өзгерту арқылы кіріс шамасын индуктивтіліктің сәйкес өзгеруіне айналдыруға негізделген [67].

Индуктивті түрлендіргіштері бар өлшеу тізбектерінде қуат көзі болуы керек.

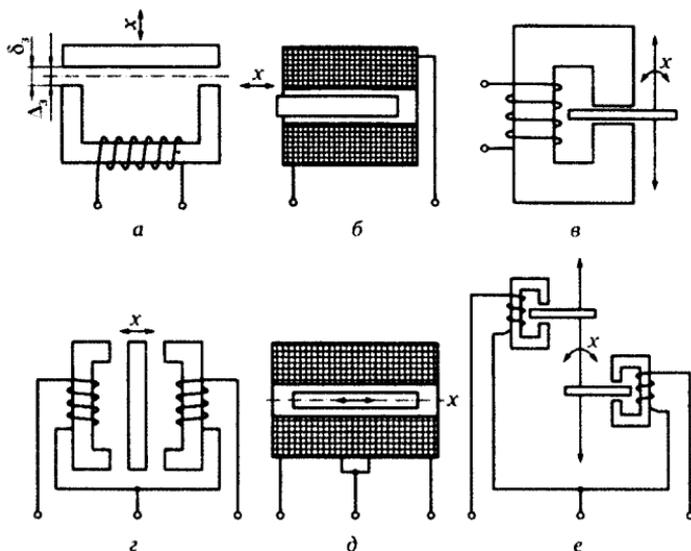
Ең көп таралған индуктивті түрлендіргіштердің конструкциялары 1.5-суретте көрсетілген. 1.5, *a*-суретте көрсетілген түрлендіргіште δ_3 шағын ауа саңылауы өлшенетін шаманың әсерінен магнит өткізгіштің бір бөлігінің қозғалуына байланысты өзгереді. Осы типтегі нақты түрлендіргіштерде жылжымалы бөліктің қозғалысы әдетте 10 мм-ден аспайды. болат өзегі бар катушка болып табылатын ашық магниттік өткізгіші бар түрлендіргіште (1.5, *b*-сурет), жұмыс қозғалысы 100 мм-ге жетуі мүмкін. 1.5-суретте көрсетілген түрлендіргіште *v*, индуктивтілік жылжымалы магниттік емес ядро өзгертетін ауа саңылауының магниттік кедергісіне байланысты. Ядро пішінін таңдау арқылы индуктивтіліктің ядроның қозғалысына кез-келген тәуелділігін алуға болады. Мұндай түрлендіргіштер 180°дейінгі бұрыштарды өлшеу үшін қолданылады.

Индуктивті түрлендіргіште өлшенетін x шамасына ұшыраған кезде болатын процестер: $x \rightarrow \delta_3 \rightarrow R_M \rightarrow \psi \rightarrow L \rightarrow Z$ байланысы түрінде ұсынылуы мүмкін

δ_3 түрлендіргіштің магниттік тізбегіндегі саңылаудың (немесе ядроның орналасуының) өзгеруі R_M магниттік кедергісіне әсер етеді (1.8), ол ауа саңылауының мәнін (магниттік өткізгіштің ұзындығына кіретін) және магниттік өткізгіштікті ρ тәуелділікпен байланыстырады.

$$R_M = \frac{l}{\mu_0 \mu S}, \quad (1.8)$$

мұндағы μ_0 — магниттік ауа өткізгіштігі; S — магниттік құбырдың көлденең қимасының ауданы.



Сурет 1.5 Электрлік емес шамалардың индуктивті түрлендіргіштерінің конструкциялары:

a - ауа саңылауы бар;

б - ашық магниттік сыммен;

в - жылжымалы магниттік ядросы бар;

г...е - ұқсас дифференциалды түрлендіргіштер.

Түрлендіргіштің индуктивтілігі (1.9) толық ағынның катушкадағы ток күшіне қатынасымен анықталады:

$$L = \frac{w\Phi}{I},$$

немесе

$$L = \frac{\mu S w^2}{l}$$

(1.9)

Мұндағы w - түрлендіргіш катушкасының бұрылыстарының саны.

Шексіз аз ауа саңылауындағы түрлендіргіштің толық кедергісі (1.10) формула бойынша анықталады:

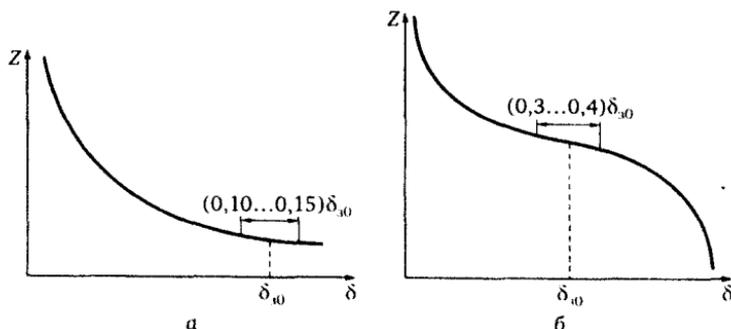
$$Z = R + j \frac{\omega w^2}{R_M} + jx_M, \quad (1.10)$$

Мұндағы R - катушкалар кедергісінің белсенді компоненті; x_M — магниттік кедергінің реактивті компоненті.

Түрлендіргіштің толық кедергісінің ауа саңылауына тәуелділігі 1.6, a -суретте көрсетілген. Бұл тәуелділіктің ерекшеліктерінің бірі - үлкен сызықтылық емес. Мұндай түрлендіргіштерді қолданған кезде дерлік сипаттаманың сызықтық бөлімі диапазонмен шектеледі

$$\delta_3 = (0,10 \dots 0,15) \delta_{30},$$

мұндағы δ_{30} - бастапқы алшақтықтың мәні.



Сурет 1.6 Индуктивті түрлендіргіштердің сипаттамалары:

a - индуктивті түрлендіргіштің толық кедергісінің ауа саңылауына тәуелділігі;

b - дифференциалды индуктивті түрлендіргіштің сипаттамасы

Түрлендіргіштің параметрлеріне сызықтық емес сипаттамалары мен температуралық әсерлері оның негізгі кемшіліктері болып табылады.

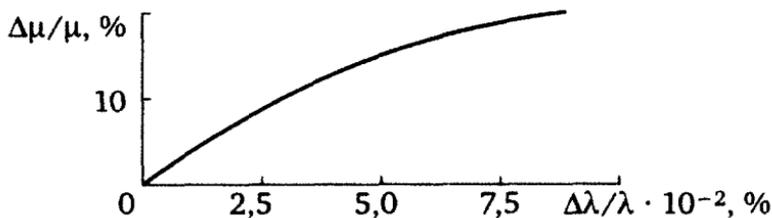
Конструкциялары 6.5, г...е - суретте көрсетілген түрлендіргіштер айтарлықтай жақсы қасиеттерге ие. Дифференциалды түрлендіргіштің сипаттамасы әдеттегі ауа саңылауының өзгеру диапазонына карағанда сызықты (1.6-сурет, б). Мұндай түрлендіргіштердегі саңылаудың жұмыс өзгеруі бастапқы мәннің 0,3...0,4-ке жетеді. Температураның өзгеруі олардың параметрлеріне аз әсер етеді.

Дифференциалды типтегі индуктивті түрлендіргіштер сызықтық және бұрыштық қозғалыстарды, сұйықтық денгейлерін және т. б. өлшеу үшін өндірісте кеңінен қолданылады.

Магнитті серпімді түрлендіргіштер. Магнитті серпімді түрлендіргіштерде магниттік тізбекке (магниттік өткізгішке) механикалық әсер ету өзіндік индуктивтіліктің өзгеруіне әкеледі. Магнитті серпімді түрлендіргіштердің әрекеті ферромагниттік материалдардың магниттік өткізгіштігінің өзгеру құбылысына негізделген р оларда механикалық кернеулер пайда болған кезде а. бұл жағдайда түрлендіргіште болатын процестерді келесі түрде ұсынуға болады:

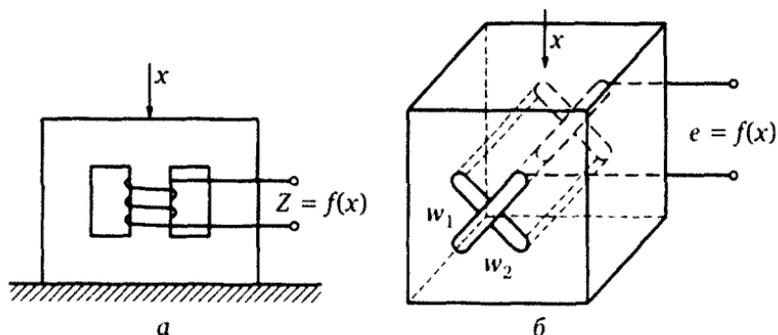
$$x \rightarrow \sigma \rightarrow \mu \rightarrow R_m \begin{matrix} \nearrow e \\ \searrow z \end{matrix}$$

Магнитті серпімді әсер құбылысы әртүрлі болуы мүмкін. Кейбір материалдарда бір бағыттағы механикалық кернеудің әсерінен магниттік өткізгіштік жоғарылауы мүмкін, ал кейбіреулерінде төмендеуі мүмкін. 1.7-суретте ферромагниттік материалдың магниттік өткізгіштігінің оның механикалық деформациясына тәуелділігі көрсетілген.



Сурет 1.7 Ферромагниттік материалдың магниттік өткізгіштігінің оның механикалық деформациясына тәуелділігі

Магнитті серпімді түрлендіргіштердің конструкциясы өте алуан түрлі. Оларды екі топқа бөлуге болады. Бір топ түрлендіргіштерді біріктіреді, онда материалдың магниттік өткізгіштігі бір бағытта өзгереді (1.8, а - сурет). Басқа топқа магниттік өткізгіштігінің өзара перпендикуляр өзгерісі бар түрлендіргіштер жатады (1.8, б - сурет).



Сурет 1.8 Магнитті серпімді түрлендіргіштердің түрлері:
а - магнит өткізгіштігінің бір бағытта өзгеруімен;
б - магнит өткізгіштігінің өзара перпендикуляр өзгеруімен

Схемасы 1.8, *а* суретте көрсетілген түрлендіргіштің магниттік сымы болатты жайма жиынтығы түрінде жасалған. Бұл өлшеу тізбегін айнұмалы токпен қуаттандыру кезінде магниттеу шығындарын азайту үшін қажет. Түрлендіргіштің

максималды сезімталдығына қол жеткізу үшін оның катушкасындағы магниттеу тогы ең үлкен болуы керек.

Екі катушканың өзара перпендикуляр орналасуы бар магнитті-серпінді түрлендіргіштерде (олар трансформатор деп аталады) катушканың магниттік ағыны (1.8-сурет б) өзгермейді. Сондықтан, w_1 катушкасының бұрылыстарына жабысып, магнит ағыны оларға ЭҚК әкелмейді. Түрлендіргішке механикалық әсер еткенде, катушканың магнит өрісі үлкен өткізгіштік бағытында деформацияланып, екінші w_2 катушкасының бұрылыстарымен байланысады. Екінші катушкада басқарылатын ЭҚК механикалық әсер ету күшіне пропорционалды және оның фазасы осы әсер ету бағытымен анықталады.

Магнитті-серпінді түрлендіргіштердегі қателіктердің себептері материалдың магниттік гистерезисі, тәуелділіктің сызықтық еместігі, магнитті-серпінді сезімталдықтың тұрақсыздығы (тозуына байланысты) және температураның әсері болып табылады. Аталған факторлардың жиынтық әсерінің нәтижесінде магнитті серпінді түрлендіргіштердің қателігі әдетте кем дегенде 2 % құрайды.

Магнитті серпінді түрлендіргіштер механикалық күштерді, қысымдарды, тербелістерді, моменттерді және т. б. өлшеу үшін құрылғыларда қолданылады.

Электромагниттік өлшеу түрлендіргіштері әртүрлі робототехникалық жүйелерде кеңінен қолданылады. Бұл автоматтандырылған басқару және басқару жүйелерінде кеңінен қолданылатын электромагниттік құрылғылар. Бұл құрылғыларды пайдалану тәжірибесі олардың сенімділігі мен қауіпсіздігін дәлелдеді. Өлшеу ең күрделі автоматты жүйелердің жұмысын қамтамасыз ететін шамалардың әртүрлілігін атап өткен жөн. Сызықтық және бұрыштық қозғалыстар, қозғалыс жылдамдығы және үдеу сияқты механикалық шамаларды өлшеу ерекше доменді алады. Дәл осы өлшеу саласында электромагниттік өлшеу түрлендіргіштері өздерінің маңыздылығын көрсетті. Электромагниттік датчиктер жоғары сенімділік пен конструкцияның қарапайымдылығымен жоғары өлшеу дәлдігін қамтамасыз етеді [75-80].

Дәл осы механикалық қозғалыс параметрлерін түрлендіргіштердің электрлік сигналдардың ақпараттық белгілеріне айналдыратын қасиеттері әрқашан робототехникалық кешендер мен жүйелерді жасаушыларды қызықтырды және тартады.

Механикалық шамалардың электромагниттік түрлендіргіштерін құру үшін әртүрлі электромагниттік жүйелер жасалды. М. Ф. Зариповтың [18, 19] зерттеулері белгілі, ол түрлендіргіштерді құру үшін таратылған параметрлері бар магниттік жүйелерді қолданды. Өлшеу электромагниттік түрлендіргіштерінің дамуына К.Л. Куликовский мен Л. Ф. Куликовский [23, 24] үлкен үлес қосты. Олардың электромагниттік түрлендіргіштері жылжымалы электромагниттік элементтері бар электромагниттік жүйеге негізделген. Косинустық және аралас конъюгациясы бар электромагниттік жүйелер Н. Е. Коноховтың [21, 22] зерттеулеріне негіз болды.

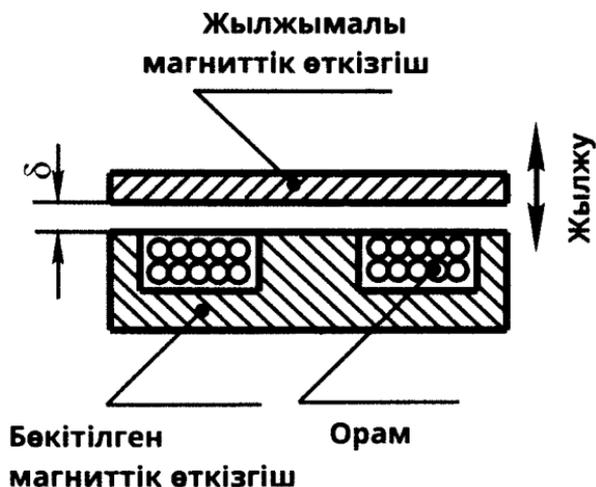
Бұрыштық қозғалыстардың өлшеуіш электромагниттік түрлендіргіштерін жасау үшін А. А. Ахметжанов [3] және А.А. Батоврин [4, 5] асинхронды қозғалтқыштардың электромагниттік жүйесін қолданды. Осы электромагниттік жүйенің негізінде фазалық ауыстырғыштар құрылды, олар өлшеу техникасының дамуының белгілі бір кезеңінде салыстырмалы түрде жоғары сенімділікке, жоғары ажыратымдылыққа және өлшеудің аз қателігіне ие болды. Алайда, мұндай конструкциядағы фазалық ауыстырғыштардың келесі кемшіліктері бар екенін атап өткен жөн. Бірінші кемшілік фазалық ауыстырғыштың жұмыс принципіне байланысты. Кіріс және шығыс орамаларының магниттік байланысының өзгеруі осы орамалардың кеңістіктегі өзара орналасуының өзгеруіне байланысты. Демек, орамалардың бір тобы фазалық ауыстырғыштың қозғалмалы бөлігінде орналасқан. Орамалардың осы тобының статормен электрлік байланысын қамтамасыз ету үшін икемді откізгіштер қолданылады. Бұл электромагниттік түрлендіргіштің сенімділігін төмендетеді. Екінші кемшілігі - мұндай электромагниттік жүйе әмбебап емес және оны қо-

сымша сызықтық-бұрыштық қозғалыс түрлендіргішінсіз сызықтық орын ауыстыру параметрлерін өлшеу үшін пайдалануға мүмкіндік бермейді.

1.2. Шағын механикалық қозғалыстардың қарапайым электромагниттік түрлендіргіші

Қарапайым электромагниттік түрлендіргіштердің конструкциясы сызықтық қозғалыстарды өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етпеді және ақпаратты өңдеудің келесі құрылғыларымен бірге мұндай жүйелерге қойылатын автоматтандырылған басқару және бақылау жүйелерін жобалаушылардың талаптарына сәйкес келмеді.

1.9 -суретте өлшеу катушкасының индуктивтілігінің өзгеруіне ең қарапайым параметрлік электромагниттік шағын қозғалыс түрлендіргішінің конструкциясы көрсетілген.



Сурет 1.9 - Қарапайым параметрлік электромагниттік түрлендіргіштің конструкциясы

Түрлендіргіш орамасы орнатылған Ш-тәрізді көлденең киманың бөкітілген магниттік өткізгішінен тұрады.

Позициясы бақылауға жататын Объект магниттік материалдан жасалған белгілі бір қалыңдықтағы дөңгелек пластина түрінде жылжымалы магнит өткізгішке қатты қосылған. Электротехника курсынан катушканың индуктивтілігі эквивалентті магнит өткізгіштің магниттік өткізгіштігіне және катушканың айналу санының квадратына пропорционалды екендігі белгілі:

$$L = Y_M W^2 \quad (1.11)$$

Егер магнит өрісінің ортаңғы сызығының ұзындығы $l_{\text{орт}}$ болса, ал ауа саңылауының ұзындығы δ болса, онда магнит өткізгіштің эквивалентті магниттік кедергісі (1.12) қосынды болып табылады:

$$R_M = \frac{l_{\text{орт}}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S_M} + \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot S_M} = \frac{1}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S_M} (l_{\text{орт}} + \mu \cdot 2 \cdot \delta) \quad (1.12)$$

мұндағы L – түрлендіргіш катушқасының индуктивтілігі;

Y_M – магниттік өткізгіштік;

W – катушка ормадарының саны;

μ_0 – вакуумның абсолютті магниттік өткізгіштігі;

μ – түрлендіргіштің магниттік өткізгіш материалының салыстырмалы магниттік өткізгіштігі;

S_M – магниттік құбырдың эквивалентті ауданы.

Қолданыстағы магниттік материалдардың салыстырмалы магниттік өткізгіштігі бірнеше мыңды құрайды, сондықтан магниттік кедергі ауа саңылауының δ ұзындығына пропорционалды деп болжауға болады:

$$R_M = \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot S_M}. \quad (1.13)$$

Магниттік өткізгіштік - магниттік кедергіге кері шама.

Егер катушканы қоректендіретін қуат көзінің жиілігі ω және оның кернеуі U болса, онда катушка тогы (1.14) теңдеумен анықталады:

$$I = \frac{U}{\omega \cdot L} = \frac{U \cdot 2 \cdot \delta}{\omega \cdot \mu_0 \cdot S_m}. \quad (1.14)$$

Осылайша, электромагниттік түрлендіргіштің тоғы ауа саңылауының ұзындығына пропорционалды. Айта кету керек, формула тек орам сымның кедергісін, магнит өткізгіштің жоғалуын ескермеген жағдайда және магнит өткізгіш материалының салыстырмалы магниттік өткізгіштігін шексіздікке тең деп санаған кезде ғана жарамды, бұл, әрине, шындыққа сәйкес келмейді. Мұндай электромагниттік түрлендіргіштері бар жүйелерді өлшеу қателігі өте жоғары.

1.3. Классикалық электромагниттік фазалық түрлендіргіш және оның жұмыс принципі

Жоғары дәлдіктегі өлшеу түрлендіргіштерінің ішінде ақпараттық электр машиналары ерекше орын алады. Құрылымдық жағынан олар электр машиналарының үлгісі бойынша жасалған. Егер электр машиналарының негізгі мақсаты электр энергиясын механикалық және керісінше түрлендіру болса, онда ақпараттық электр машиналарының түрлендіргіштеріне ротордың бұрыштық қозғалысы мен шығыс кернеуі немесе ток параметрлері арасындағы сәйкестікті қамтамасыз ету міндеті қойылады. Көп жағдайда шығыс сигналының ақпараттық белгісі ретінде шығыс кернеуінің бастапқы фазасы қолданылады. Сондықтан мұндай құрылғылар "фазалық ауыстырғыштар" деп аталды.

Фазалық түрлендіргіш - электромагниттік тербелістердің фазасын өзгертуге қызмет ететін автоматика, түрлендіру және өлшеу техникасының құрылғысы [25]. Фазалық ауыстырғыштың конструкциясы оның жиілік диапазонына, фазаның өзгеру шектеріне және оны орнату дәлдігіне байланысты. Төмен жиіліктерде және радиожілік

диапазонында (бірнеше *МГц*-ке дейін), әдетте, қарсылықтардан, индуктивтіліктерден және сыйымдылықтардан тұратын төрт терминалдар фазалық ауыстырғыш ретінде қолданылады. Ең қарапайым фазалық түрлендіргіш-резистор мен конденсатордан немесе резистордан және индуктордан тұратын *фазалық ығысу тізбегі*. Мұндай фазалық ауыстырғыштар әдетте 0-ден 90° - қа дейін тұрақты фазалық ығысуды жасау үшін қолданылады. 0-ден 180° - қа дейін реттелетін ығысуды қамтамасыз ететін 3 резистор мен 1 конденсатордың *көпір тізбегі* түрінде жасалған фазалық ауыстырғыштар анағұрлым жетілдірілген (шығыс шамасы аз өзгертін). Транзисторлық (түтік) көпір фазалық ауыстырғыштар да қолданылады, олардың құрамына бөлінген жүктемесі бар *фазалық түрлендіргіш* кіреді; мұндай фазалық ауыстырғыштар фазаның 180° ығысуын береді. Аталған фазалық ауыстырғыштар енгізетін фазалық ығысу жиілікке байланысты. Бұл кемшілік фазалық ауысым берілген мәннен ауытқыған кезде параметрлері автоматты түрде өзгертін фазалық ауыстырғыштарда жойылады, осылайша бұл ауытқу азаяды. Өнеркәсіптік жиіліктің айнымалы ток тізбектеріндегі фазаны реттеу үшін айналмалы трансформаторлар, сельсиндер, сондай-ақ тежегіш роторы бар үш фазалы асинхронды электр қозғалтқыштары қолданылады. Дециметрлік және қысқа толқындар диапазонында коаксиалды сызықтар мен толқын өткізгіштердің сегменттерінен жиналған фазалық ауыстырғыштар қолданылады. Электромеханикалық фазалық айналғыштарда фазаны орнату қателігі 0,5–1°, электронды фазаларда 0,05–0,1° құрайды.

Фазалық айналғыштар немесе дөңгелек түрлендіргіштер – бұл параметрді 180 немесе 360 градусқа ауыстыруға болатын арнайы электронды тізбектер. f тасымалдағышы бар тар жолақты сигнал үшін немесе тұрақты жиілік үшін ығысу шамасы оның кешігу уақытына пропорционалды, бұл осы параметрдің өзгеру фазасын басқаруға мүмкіндік береді [26].

Фазалық ауыстырғыштардың әртүрлі түрлері бірқатар белгілермен ерекшеленеді, олардың негізгілері:

- процесті басқару түрі;

- фазаның өзгеру сипаты;
- жолға қосу әдісі.

Бұл құрылғылардың неғұрлым толық жіктелуі күрделене түседі, өйткені өндірушілер әрқашан сипаттамаларында өз өнімдерінің барлық сипаттамаларын көрсете бермейді. Бірақ қол жетімді ақпаратты ескере отырып, олардың әртүрлілігі өте үлкен.

Басқару әдісіне сәйкес фазалық түрлендіргіштердің келесі негізгі түрлері ажыратылады:

- қолмен орнатумен;
- электромеханикалық фазалық айналғыштар;
- электрондық басқарумен.

Екінші санатқа феррит, ферроэлектрлік элементтер немесе миниатюралық электромеханикалық құрылғылар негізіндегі схемалар жатады. Соңғы класс - жоғары жылдамдықты диодтардан және қолайлы құрылымды транзисторлардан жиналған құрылғылар.

Өзінің мақсатына сәйкес фазалық ауыстырғыштардың келесі түрлері бөлінеді:

- параметрлерді реттеумен;
- өлшейтін (шағын габаритті);
- өтетін және шағылыстыратын.

Біріншісінде шығыс сигналының мәндерінің белгілі бір шкаласы бар және тек ерекше жағдайларда ғана конфигурацияланады. Олардың өлшеу аналогтары жұмыс жиілігінде 360 градусқа жететін кең фазалық реттеу жолағымен сипатталады. Өту және шағылыстыратын фазалық ауыстырғыштар олардың атында көрсетілген функцияны орындайды.

Электрондық трактке енгізу әдісіне сәйкес коаксиалды және толқынды су өнімдері ажыратылады, ал фазаның өзгеру сипаты бойынша олардың барлығы тегіс қайта құрылымдайтын және сатылы реттелетін құрылғыларға бөлінеді.

Фазалық айналу жүйелерінің негізгі параметрлері келесі көрсеткіштермен ұсынылған:

- кіріс және шығыс қуаты;
- құрылғыдағы пайдалы сигналдың жоғалуы.

Тұрақты толқынның пайда болу шарттарын көрсететін коэффициент (ТТК).

Кіріс қуатының шығысқа қатынасы (немесе керісінше – маңызды емес) тізбектегі қайтарылмайтын шығындардың мөлшерін көрсетеді. ТТК - тұрақты толқын өрісінің максималды кернеу амплитудасының оның ең төменгі мәніне қатынасы [30]. Фазалық тізбектің белгілі бір түрін таңдағанда, бұл көрсеткіш міндетті түрде ескеріледі.

Температураның жоғарылауымен және қоршаған ауа қысымының төмендеуімен рұқсат етілген қуат азаяды. Ашық ауада пайдаланылатын аппаратура үшін фазалық ығысу шамасы жиілік тербелістерінің барлық диапазонында рұқсат етілген шектен шықпауы тиіс.

Қайта реттелетін немесе ауыстырылатын фазалық ауыстырғыштарды пайдалану кезінде электромеханикалық құрылғылардың тозуға төзімділігі сияқты маңызды көрсеткішке ерекше назар аударылады. Әдетте, өнімді өндіруші компаниясымен құжаттамада оның ауысу саны немесе параметрлері көрсетіледі. Бұл ретте бұл көрсеткіштерді рұқсат етілген норма шегінде сақтау талабы міндетті түрде бар.

Кідіріс сызығына негізделген фазалық ауыстырғыштың тағы бір маңызды сипаттамасы-оның фазалық-жиілік сипаттамасының (ФЖС) тіктігі, ол $S_f = dj/df$ формуласымен өрнектеледі (екінші термин оның уақыт бойынша өзгеру жылдамдығын білдіреді). Әуе желісіндегі сигналдың кідірісін қолданатын құрылғылар үшін ФЖС тіктігі осы параметрдің өзгеру диапазонына пропорционалды. Өндіруші ұсынған техникалық құжаттамада оның пайызы / ГГц мөлшері болады.

Фазалық ауыстырғыштар қазіргі заманғы өлшеу және тарту УЖЖ жүйелерінің ажырамас бөлігі болып табылады. Әрбір нақты шешімнің мақсатына және өңделетін сигналдың жиілік диапазонына байланысты олардың параметрлері әр түрлі болуы мүмкін.

Фазалық ауыстырғыштарды белгілі бір типтегі кідіріс сызықтарында қолданған кезде келесі тармақтарды ескеру қажет:

Сигнал фазасының оның жиілігіне сызықтық тәуелділігіне байланысты оны монохроматикалық сигнал болған жағдайда ғана дәл орнатуға болады.

Жиілік диапазонының шеттеріне фазалық көрсеткіштерді орнату кезіндегі қате оның еніне пропорционалды.

Кідіріс сызығы бар коаксиалды құрылғыларда кең өткізу қабілеттілігі бар.

Мұндай құрылғылардың жоғарғы жиілік шегі жоғары гармониканың пайда болу әсерімен, сондай-ақ коннекторлардың конструкция ерекшеліктерімен шектеледі. Мұндай фазалық ауыстырғыштар орнатылған сызықтардың толқындық кедергісі көбінесе 50 Омға тең.

Шығыстағы «мінсіз» фазалық ауыстырғыш әрқашан техникалық сипаттамада қарастырылған нақты фазалық мәнді береді. Нақты, климаттық жағдайлардың тұрақсыздығына және конструкцияның кемшіліктеріне байланысты, аз таралумен фазалық параметрлерді қамтамасыз етеді. Бұл қатенің мәні оларға жүктелген функцияны орындай алатын сипатталған құрылғыларды көбейту мүмкіндігін анықтайды.

Таңдалған жиілік диапазоны үшін өндірушілер фазалық ауыстырғыштардың жеке сорттары мен модельдерін ұсынады. Ең арзан және қарапайым конструкция төмен жиілікті диапазонға арналған; жұмыс жиілігінің жоғарылауымен оларға қойылатын талаптар күшейтіледі, ал құны табиғи түрде артады.

Қолмен басқарылатын коаксиалды құрылғылар

Фазалық ауыстырғыштардың бұл түрі коаксиалды сызықтың ұзындығын қолмен өзгерту принципі бойынша жұмыс істейді. Олардың геометриялық өлшемдері электрлік көрсеткіштермен тікелей байланысты, бұл оларды қарапайым механикалық жолмен басқаруға мүмкіндік береді. Ауа коаксиалды фазалық айналу элементтері минималды шығындармен және бірлікке жақын ТТК мәнімен сипатталады.

Бұл құрылғылардың басқа түрлері бар (мысалы, телескопиялық және тромбондық типтегі конструкциялар). Алғашқы өнімдерде орталық өткізгіш пен сыртқы коаксиалды бөлік "телескоп" типті антенна бөлімдерінің принципі бойынша

өзара байланысты. Керісінше, тромбонды модификациялаудың негізі – жеке коннекторлардың бекітілген позициясы бар ілмек тәрізді ілмек. Фазалық ауыстырғыштардың бұл сорттарының ерекшелігі - фазалық ығысудың жиілікке сызқтық тәуелділігі, ол бүкіл диапазонда көрінеді.

Тар жиілік диапазонындағы фазаны реттеу үшін жүктеме ретінде реактивті элементтері бар квадратуралық көпір тізбектеріне негізделген рефлекторлық жүйелер қолайлы. Мұндай құрылғылар тар жолақты фазалық ауыстырғыштар санатына жатады және олардың жұмыс сапасын бағалау кезінде жиілік диапазоны негізгі гармоника үшін бірдей көрсеткіштің пайызымен өлшенеді.

Электрондық фазалық ауыстырғыштар «фаза» деп аталатын өңделген сигналдың уақыт параметрін түрлендіруге арналған. Бұған қажеттілік өлшеу тізбектерімен жұмыс істеу керек болған кезде немесе мысалы, радио таратқыш антеннаның бағыттылық диаграммасын орнатқан кезде пайда болады.

Электромагниттік фазалық ауыстырғыш - бұл статор мен ротордан тұратын электр машинасы, олар тістер мен орамалармен жабдықталған ферромагниттік материалдардан жасалған. Машинаның конструкциясы статор мен ротор орамаларының өзара орналасуын өзгертуді қамтамасыз ете отырып, ротордың айналу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Мақсатына байланысты ЭМФ энергетикалық және ақпараттық болып бөлінеді.

Ақпараттық ЭМФ - ЭМФ роторының айналу бұрышының шығыс кернеуінің фазасымен байланыстырады, ол ақпарат тасымалдаушысы болып табылады. Ақпараттық ЭМФ-ті контактілі және контактісіз, айналмалы және пульсациялық өрісі бар ЭМФ, бір фазалы, үш фазалы және екі фазалы ЭМФ деп бөлуге болады. Ақпараттық ЭМФ қолдану теориясы мен практикасын әзірлеуге Ахметжанов А. А. [6], Батоврин А. А. [7] және т. б. үлкен үлес қосты.

Ақпараттық ЭМФ-те энергетикалық ЭМФ-пен бірдей электромагниттік процестер жүреді. Алайда, ақпараттық ЭМФ жобалау және пайдалану кезінде олар ең алдымен

тиімділіктің максималды мәндерін емес, ең жақсы метрологиялық сипаттамаларды қамтамасыз етуге тырысады. Ақпараттық ЭМФ теориясы метрологиялық сипаттамаларды талдауға мүмкіндік бермейтін асинхронды қозғалтқыштар теориясына негізделген. А. А. Батоврин ұсынған ЭМФ қатесін талдау өте қиын және көптеген құрылымдық параметрлердің ЭМФ қатесіне әсерін ескермейді.

Индуктосин деп аталатын контактілі көп полюсті ЭМФ конструкциясы белгілі [5]. Басқа жүйелерден айырмашылығы, онда магниттік сымдар мен дәстүрлі сым орамалары жоқ. Индуктосинде оқшаулағыш материалдың екі дискісі бар, олар коаксиалды түрде кішкене саңылаумен орналастырылған. Индуктосиндегі статор мен ротор орамаларының өзара индуктивтілігінің синусоидалы өзгеруі ротор мен статор өткізгіштерінің сызықтық өлшемдері арасындағы қатынасты таңдау арқылы қамтамасыз етіледі. Магниттік өткізгіштің болмауына байланысты орамалардың электромагниттік байланысы өте әлсіз, нәтижесінде индуктосиннің шығыс кернеуі әдетте қоректену кернеуінен мың есе аз болады. Бұл индуктосиннің негізгі кемшілігі. Фазалық ауыстырғыштың бұл түрінің артықшылығы - полюс жұптарының көптігі және салыстырмалы түрде аз мөлшерде электр редукциясының жоғары беріліс қатынасы.

Жанаспайтын ЭМФ-тің қызықты конструктивті түрі-редуктосин[5]. Оның статоры мен роторында әдетте дәстүрлі ЭМФ-ге карағанда көбірек тістер мен ойықтар болады. Әдетте, статор мен ротордың тістері санының қатынасы $4/3$ немесе $4/5$. Статор ойықтарында үш орам бар, ротор орамасыз. Роторды бір тістің бөлінуіне бұру Шығыс кернеуінің фазасын 360° өзгертеді. Шығыс орамдарының электр қозғаушы күштерінің қисық пішіні негізінен статор мен ротордың тістерінің конфигурациясына, ауа саңылауының өлшемдеріне және қозғалмалы және қозғалмайтын бөліктердің тістерінің санына байланысты. Электромагниттік тұрғыдан редуктосин редукцияны қолданатын көп полюсті электромагниттік жүйе болып табылады. Редукция коэффициентінің жоғарылауына

ЭМС полюстерінің жұптарының санын көбейту арқылы қол жеткізіледі.

ЭМФ - тің басты артықшылығы - ЭМС-тің сыртқы әсер етуші факторларға төзімділігі кезінде жақсы ажыратымдылық. ЭМФ конструкциясы қарапайымдылықпен қатар алдыңғы электромагниттік жүйелермен салыстырғанда жоғары сенімділікке ие.

ЭМФ теориясы АӨЖ элементі ретінде қазіргі уақытта жеткілікті түрде дамымаған.

ЭМФ дамуының негізгі бағыты ЭМФ қолдану аймағын кеңейту жолдарын іздеу және полюстің бөлінуіндегі алшақтықтағы индукцияны жақсырақ бөлу арқылы қатені азайту болып табылады.

Тарихи тұрғыдан алғанда, датчиктерде қолданылатын алғашқы ЭМЖ-лардың бірі таратылған параметрлері бар ЭМЖ болды.

Бөлінген параметрлері бар жеке ЭМЖ конструкцияларының теориясы мен есебі бойынша материалды М.Ф.Зарипов жариялады [24].

Авторлар үлестірілген параметрлері бар ЭМЖ-ні ұзын магниттік сызық ретінде қарастырады және жылжымалы бөліктің болуына байланысты таралу коэффициенті мен сызықтың сипаттамалық кедергісі сәйкес келмейтін, үлестірілген сызықтық емес параметрлері бар гетерогенді сызықтар ретінде сипаттайды [66].

Теория электр және магнит өрістерінің өзара көрінуіне байланысты электр және магнит сызықтарының бөлінбейтіндігіне негізделген. Электр желісінің дәстүрлі анықтамасы токтың кеңістікте бөлінген магнит өрісі пайда болатын өткізгіштер арқылы өтуін қамтиды. Мұндай сызықтардың магниттеу күші өткізгіштердің тогына тең, ал кеңістіктегі магнит ағынының таралуы тек геометриялық сипаттамалармен ғана емес, сонымен қатар ортаның электрлік параметрлерімен де анықталады. Осылайша, таратылған параметрлері бар электр желісі таратылған параметрлері бар кәдімгі магниттік сызық болып табылады. Мұндай магниттік сызықтардың қазіргі уақытта қозғалыс датчиктерінде қолданылатын

сызықтардан айырмашылығы-таратылған параметрлері бар электр желісінде магниттік өріс сызықтары сызық осіне перпендикуляр жазықтықта жатыр.

Таратылған параметрлері бар дәстүрлі ЭМЖ-де шығыс сигналының деңгейі ақпарат тасымалдаушы болып табылады. Бұл қосымша қателік әкеледі, өйткені шығыс кернеуінің амплитудасы сенсордың қоздыру орамасының қуат кернеуіне байланысты. Сонымен қатар, шығыс кернеуінің деңгейіне сенсордың жұмыс саңылауындағы индукцияның таралуын анықтайтын ЭМЖ құрылымдық элементтерін жасау дәлдігі әсер етеді.

Барлық ЭМЖ конструкцияларында датчик орамдарының электрлік параметрлері қозғалатын ферромагниттік ядро координатының және магниттік өткізгіштің геометриялық өлшемдерінің күрделі функциялары болып табылады. Магниттік материалдың магниттелу қисығының сызықтықывайт-сыястiгi электромагниттік жүйенің параметрлеріне әсер етеді. Магниттік өткізгіш материалының сипаттамасының сенсордың қателігіне әсерін күшейтетін фактор магнит өрісінің күш сызықтарының үлкен эквивалентті ұзындығы болып табылады. Ауа саңылауы мен магнит өткізгіштің ұзындығының бұл қатынасында сызықтың магниттік кедергісінің әсері айтарлықтай болады.

Аталған факторлар датчиктердің қолданылу аясын шектейді, олардың құрылысының негізі таратылған параметрлері бар ЭМЖ болып табылады.

Көрсетілген авторлардың толық емес көлемде жылжымалы электромагниттік элементтері бар датчиктерді зерттеуін атап өту қажет. Сонымен қатар, таратылған параметрлері бар ЭМЖ-ні жалпылама зерттеу және экономикалық тиімділік, сенімділік және өлшеу дәлдігін арттыру критерийлерін ескере отырып, оларды есептеу әдістемесін әзірлеу қажеттілігі айтарлықтай өсті. М.Ф.Зарипов, Л.Ф.Куликовскиймен бірлесіп жазған, болаттың магниттік кедергісі мен шашырау ағындары ескерілетін таратылған параметрлері бар ЭМЖ есептеу тех-

нологиясын ұсынды. Олар сонымен қатар таратылған параметрлері бар ЭМЖ-нің әртүрлі сипаттамаларына талдау және зерттеу жүргізді [81].

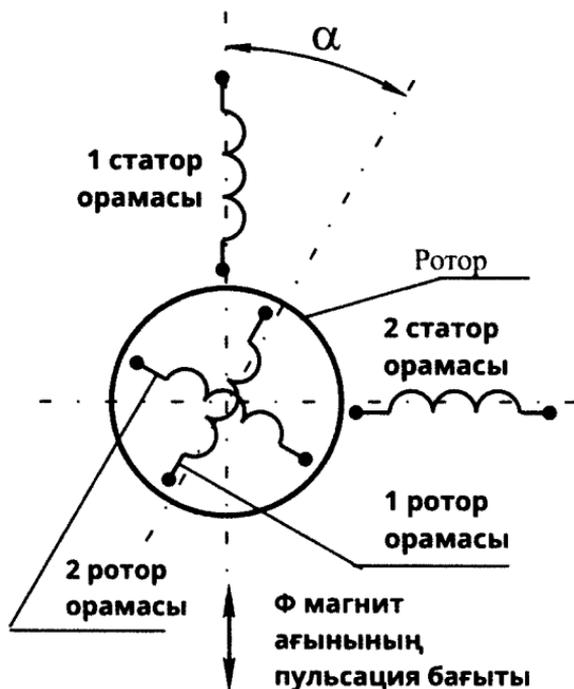
Таратылған электромагниттік параметрлері бар датчиктердің конструкциясының қарапайымдылығын атап өткен жөн. Алайда, шығыс кернеуінің амплитудасын ақпараттық белгі ретінде пайдалану жоғары ажыратымдылықтағы АӨЖ алуға мүмкіндік бермейді. Бөлінген параметрлері бар ЭМЖ теориясы өте терең зерттелген. Алайда метрологиялық сипаттамаларды талдауға жеткіліксіз көңіл бөлінеді.

Механикалық шамаларды өлшеу кезінде оңтайлы нәтижелерге электромеханикалық фазалық түрлендіргіштерді қолдану арқылы қол жеткізіледі. Механикалық шамаларды өлшеуге арналған сенсорларда ақпаратты жіберетін негізгі элемент шығыс кернеуінің фазасы болып табылады. Эмпирикалық дәлелдер мұндай сенсорларда фазаның шығыс кернеуіне байланысты ең тұрақты ақпараттық параметр ретінде ерекшеленетінін растайды. Бұл тану механикалық шамаларды өлшеуге арналған сенсорлар контекстіндегі фазаға негізделген ақпараттың сенімділігі мен дәйектілігін көрсетеді.

Бойлық магнит өрісі бар ЭМФ негізгі электромагниттік жүйесінің жұмыс принципі олардың өзара орналасуы өзгерген кезде орамалардың ағынының өзгеруіне негізделген. Бұл сенсордың айналмалы бөлігінде ораманың болуын болжайды. ЭМФ козғалмалы бөлігімен байланыс контактілі ЭМФ-дегі щеткалар арқылы немесе контактісіз ЭМФ-дегі сакина трансформаторларының көмегімен жүзеге асырылады. Мұның бәрі сенсорлардың сенімділігін төмендетеді.

ЭМФ әртүрлі салалардың ең кең қолданылуын тапты, өйткені олар жоғары ажыратымдылыққа, ең жақсы метрологиялық сипаттамаларға, жоғары сенімділікке және конструкцияның қарапайымдылығына ие. Алайда, ЭМФ тек бұрыштық козғалыс параметрлерін өлшеу үшін қолданылады.

1.10-суретте электромагниттік түрлендіргіштің конструкциясы схемалық түрде ұсынылған, оның көмегімен бұрыштық қозғалыс параметрлерінің өлшеу жүйесін жасауға болады.



Сурет 1.10 - Электромагниттік түрлендіргіштің конструкциясы

Фазалық айналмалы орамалар индуктивтіліктің шартты белгісімен шартты түрде ұсынылған. Статор магниттік құбырының ойықтарында екі орам (1 статор орамасы және 2 статор орамасы) орналастырылған, олардың симметрия осьтері кеңістікте 90 разрядка жылжытылған. Ротордың ойықтарында екі орам бар (1 ротор орамасы және 2 ротор орамасы). Ротордың бір орамасы басқа орамға қатысты да кеңістікте 90 есемещысқан. Бұл микромашинаның механикалық конструкциясы ротордың статорға қатысты 360° айналу мүмкіндігін

қамтамасыз етеді. Ротор орамаларына қосылу мүмкіндігін алу үшін роторы бар статор икемді сымдармен жалғанған.

Түрлендіргіштің ұсынылған жұмыс режимдерінің бірін қарастырайық. Бұл нақты режимде көзден айнымалы кернеу статорда орналасқан бірінші орамға жіберіледі. Осы ораманың бұрылыстары арқылы ток ағып жатқанда, катушкалар синусоидалы заңға сәйкес статордың ішкі беті бойымен таралады, осылайша машинаның магнит құбырының ішінде пульсирленген магнит өрісі пайда болады. Электр элементтері мен магниттік индукцияның бұл динамикалық өзара әрекеттесуі осы жұмыс режимінде түрлендіргіштің жұмыс істеуінің маңызды механизмі ретінде қызмет етеді. Магнит ағынының пульсациясының бағыты 1.2-суреттегі көрсеткімен көрсетілген. Егер статор мен ротордың бірінші орамасының осьтері сәйкес келсе, онда ротор орамасында электр қозғаушы күш пайда болады, оның амплитудасы Φ_m магнит ағынының амплитудасына пропорционал болады. ЭҚК жиілігі әрқашан қуат көзінің кернеу жиілігіне тең болады. Магнит ағыны уақыт бойынша синус заңына сәйкес өзгерсін:

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t) \quad (1.15)$$

Содан кейін ротордың бірінші орамасындағы ағынмен басқарылатын ЭҚК уақыт бойынша магнит ағынының туындысына пропорционалды болады:

$$e_1(t) = k \cdot \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (1.16)$$

Алайда, ротор статорға қатысты α бұрышына бұрылған кезде электр қозғаушы күштің амплитудасы өзгереді және (1.17) заңға сәйкес уақыт функциясында өзгереді:

$$e_1(t) = k \cdot \Phi_m \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) = -k \cdot \Phi_m \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\omega t) \quad (1.17)$$

Ротордың дәл осындай күйінде екінші орамада пайда болатын электр қозғаушы күш (1.18) заңға сәйкес уақыт бойынша өзгереді:

$$e_2(t) = k \cdot \Phi_m \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (1.18)$$

Егер көмекші құрылғылардың көмегімен екінші орамның ЭҚК-нің бастапқы фазасын 90° өзгертсек, онда біз (1.19) шешімге келеміз:

$$e'_2(t) = k \cdot \Phi_m \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\omega t) \quad (1.19)$$

$e_1(t)$ и $e'_2(t)$ ЭҚК қосындысы нәтижелік электр қозғаушы күш береді:

$$\begin{aligned} e(t) &= k \cdot \Phi_m \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\omega t) - k \cdot \Phi_m \cdot \cos(\alpha) \cdot \\ \cos(\omega t) &= k \cdot \Phi_m \cdot \cos(\omega t - \alpha) \end{aligned} \quad (1.20)$$

Осылайша, роторды белгілі бір бұрышқа бұрған кезде, өлшеу құрылғысының шығыс электр қозғаушы күшінің бастапқы фазасы осы бұрылыс бұрышына тең болады.

Бұрын фазалық ауыстырғыш қарастыруға тұрарлық белгілі бір кемшіліктермен сипатталды[94-95]:

- Жүйеде ықтимал осалдық пен тиімсіздік нүктелерін тудыратын ротор мен статор орамалары арасындағы электрлік контактілерді қосу.

- Сызықтық қозғалысты бұрыштық қозғалысқа айналдыру үшін қосымша механизмдерді қажет етпестен сызықтық қозғалысты өлшеу үшін оның қолданылуындағы шектеулер, бұл өлшеу процесіне күрделілік пен қосымша талаптар әкеледі.

1.4. Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесінің метрологиялық сипаттамаларын жақсарту құралы ретінде гетерогенді магнит өткізгіші бар электромагниттік фазалық түрлендіргіш

Электромагниттік өлшеу фазалық түрлендіргіштерінің теориясы өте терең зерттелген [1]. Нақты фазалық ауыстырғыштардың параметрлері мен сипаттамаларының теориялық ережелерге сәйкестігі теориялық есептеулер өлшеу фазалық ауыстырғыштарының дизайн ерекшеліктерін және олардың элементтерінің өндіріс сапасын қаншалықты дәл ескеретініне байланысты.

Бұрын фазалық ауыстырғыштардың қателігінің коректендіру ығысу жиілігіне, ақпараттық сызғыштағы магниттік шунттың орны өзгерген кезде фазалық ауыстырғыштардың электрлік параметрлерінің өзгеруіне, басқа параметрлерге тәуелділігі қарастырылған [2].

Өлшеу жүйелерін әзірлеушілер үшін бұрыштық қозғалыс датчиктерінің сезімталдығын ретке келтіруге мүмкіндік беретін электромагниттік редуциясы бар фазалық ауыстырғыштардың параметрлері ерекше қызығушылық тудырады [3].

Механикалық шамалардың ақпараттық-өлшеу жүйелерін әзірлеу бүгінгі күнге дейін өзектілігін жоғалтқан жоқ.

Бұрыштық және сызықтық қозғалыстардың параметрлерін өлшеу үшін түрлендіргіштер тобын құруға мүмкіндік беретін электромагниттік жүйені құру принципі жасалды. Электромагниттік жүйені құру принципі келесі физикалық құбылыстарға негізделген. Ұзындығы l біртекті таратылған магниттік өткізгішке үш орам салынсын, олардың ұзындық бірлігіне шаққандағы бұрылыстарының үлесі келесі заңдарға сәйкес анықталады.

Магнит өткізгіштің басынан x қашықтыққа дейінгі учаскедегі бірінші орамның бұрылыстарының үлес саны келесі теңдеумен (1.21) көрсетілген заң бойынша анықталады:

$$W_{c0} = W_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) \quad (1.21)$$

Сол учаскедегі екінші орамның нақты саны (1.22) формуламен анықталады:

$$W_{s0} = W_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) \quad (1.22)$$

Үшінші орамның бұрылыстарының нақты саны магнит өткізгіштің бүкіл ұзындығы бойынша өзгермейді, яғни қарастырылып отырған бөліктің координатына тәуелді емес:

$$W_r = W_0 \quad (1.23)$$

Барлық орамалар келесі шартты атауларға ие болды: «косинус», «синус» және «біркелкі».

Екі ораманың өзара индуктивтілігінің меншікті мәні магнит өткізгіштің басынан x қашықтыққа дейінгі берілген учаскедегі бұрылыстардың меншікті санының кобейтіндісіне пропорционалды.

Синус және косинус орамаларының өзара индуктивтілігінің меншікті мәні:

$$M_{sc0} = W_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) \cdot W_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) = W_m^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) \quad (1.24)$$

Магнит өткізгіштің бүкіл ұзындығын ескере отырып осы орамалардың алынған өзара индуктивтілігі бөлінген параметрлері бар біртекті магнит өткізгіштің бүкіл ұзындығы бойынша (1.25) алынған функцияның интегралымен анықталады:

$$M_{sc} = \int_0^l W_m^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) dx = 0 \quad (1.25)$$

Синус пен біркелкі орамалардың өзара индуктивтілігін (1.26) формула бойынша есептеуге болады:

$$M_{sr} = \int_0^l W_m \cdot W_0 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) dx = 0 \quad (1.26)$$

Сондықтан таратылған параметрлері бар біртекті магнит өткізгіште орналасқан үш ораманың өзара әсері нөлге тең.

Алайда, егер магнит өткізгіштің басынан x қашықтыққа созылған Δ ұзындықтағы магнит өткізгіштің сегментінде магниттік кедергіні азайту немесе арттыру, осылайша магнит өткізгіштің үлестірілген параметрлермен біртектілігін бұзса, орамалардың эквивалентті өзара индуктивтілігі нөлге тең болмайды. Мысалы, біркелкі ораманы айнымалы кернеу көзіне қосқан кезде, синус және косинус орамаларының шығысында кернеулер пайда болады, олардың тербеліс амплитудасы x мәнімен анықталады.

Косинус орамасының кернеуі уақыт функциясында келесі (1.27) формулаға сәйкес өзгереді:

$$u_c(t) = g \cdot U_m \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.27)$$

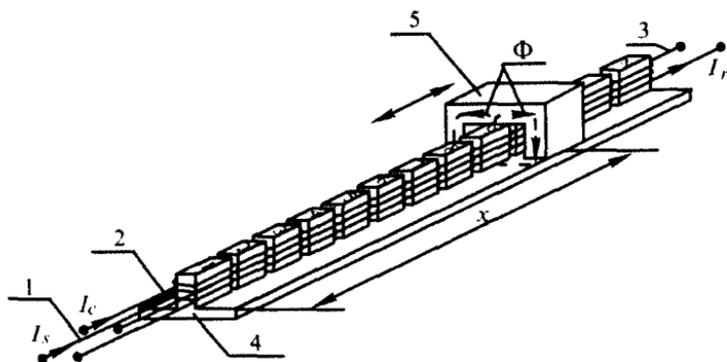
Синус орамасының кернеуі (1.28) формулаға сәйкес өзгереді:

$$u_s(t) = g \cdot U_m \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{l}\right) \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.28)$$

Синус кернеуінің бастапқы фазасын 90° градусқа өзгертіп, алынған кернеуді косинус орамасының кернеуімен

қорытындылай келе, бастапқы фазасы магнит өткізгіштің басынан бөлінген магнит өткізгіштің гетерогенділігі орналасқан жерге дейінгі қашықтыққа пропорционалды болатын кернеуді аламыз.

Бөлінген параметрлері бар гетерогенді магнит өткізгіші бар сызықтық фазалық ауыстырғышты құру принципін 1.11-суретте көрсетілген магниттік жүйенің көмегімен талдауға болады. Бұрылыстардың синустық таралуы 1, бұрылыстардың косинустық таралуы 2 және бұрылыстардың біркелкі таралуы 3 болатын орамалар магниттік сым түріндегі ақпараттық сызғыш бойымен 4 жылжымалы элементтің орналасуын анықтауды қамтамасыз ететін элементтер болып табылады 5. Ақпараттық сызғыш 4 - бұл әрқашан төртке еселенген шығыңқы магниттік сым.



Сурет 1.11 Гетерогенді магнит өткізгіші бар сызықтық фазалық ауыстырғыш

Бұл шығыңқыларда орамалар орналасқан, олардың бұрылыстарының саны бөлінген магнит құбыры бойындағы шығыңқы санымен анықталады:

– синус орамасының бұрылыстарының саны:

$$W_s = W_m \cdot \sin \left[\frac{2 \cdot \pi}{n} (k - 0,5) \right] \quad (1.29)$$

– косинус орамасының бұрылыстарының саны:

$$W_c = W_m \cdot \cos \left[\frac{2 \cdot \pi}{n} (k - 0,5) \right] \quad (1.30)$$

– біркелкі ораманың бұрылыстарының саны:

$$W_r = W \quad (1.31)$$

мұндағы W_m – синус және косинус орамаларының бұрылыстары санының максималды есептік мәні,

W – біркелкі ораманың бұрылыстарының саны,

n – ақпараттық желінің шығыңқы саны,

$k = 1 \dots n$ – ақпараттық желінің шығыңқы нөмірі.

Бөлінген магнит өткізгіштің белсенді бөлігінің ұзындығы сызғыштың n тістердің санына көбейтілген тістердің бөліну ұзындығына тең.

5 жылжымалы магниттік өткізгіш болмаған кезде барлық орамалардың өзара индуктивтілігі нөлге тең болады. Магниттік материалдан жасалған жылжымалы элементтің болуы бөлінген магниттік өткізгіштің біртектілігін бұзады. Жылжымалы магниттік өткізгіштің орналасу аймағында меншікті магниттік кедергі күрт төмендейді. Біркелкі ораманы айнымалы кернеу көзіне қосқанда, жылжымалы магнит құбырының орналасқан жеріндегі магнит ағыны күрт артады. Бұл синус және косинус орамаларының қысқыштарында кернеудің пайда болуына әкеледі. Бұл орамалардың кернеулерінің тербеліс амплитудасы үлестірілген магнит өткізгіштің басынан жылжымалы магнит өткізгіштің ортасына дейінгі қашықтықтың синусы мен косинусына пропорционалды болады. Осылайша, ұсынылған магниттік жүйе классикалық фазалық түрлендіргіш сияқты функцияларды орындайды. Сипатталған электромагниттік түрлендіргіш сызықтық қозғалыстардың өлшеу жүйесін жасауға мүмкіндік береді. Классикалық фазалық түрлендіргіштен айырмашылығы, ұсынылған

дизайнның барлық орамдары бекітілген магниттік өткізгіште орналасқан, бұл электромагниттік түрлендіргіш пен өлшеу жүйесінің сенімділігін едәуір арттырады.

Тегіс параллель гетерогенді магнит өрісі бар ЭМЖ қолдану ақпараттық сызғыштың жалпы өлшемдерін едәуір азайтуға және оны сызықтық қозғалыс датчиктерінде қолдану коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді.

Электромагниттік жүйені пайдалану қажет:

- сызықтық орын ауыстырулар АӨЖ үшін ЭМЖ талдаудың теориялық негіздерін әзірлеу;

- ақпараттық-өлшеу жүйесінің элементтерін үйлестіру мәселесін шешу;

- метрологиялық сипаттамаларды анықтау әдістері.

Алайда, өлшеу түрлендіргішінің сенімділігі электромагниттік жүйені құру идеясына ғана емес, сонымен қатар фазалық түрлендіргіштің нақты конструкциясына да байланысты. Сондықтан таратылған параметрлері бар гетерогенді магниттік құбырды пайдалану идеясын жүзеге асыратын өлшеу түрлендіргішінің конструкциясын жасау ең жауапты болып табылады. Бұл жұмыстың авторы қарастырылған электромагниттік жүйе негізінде электромагниттік өлшеу түрлендіргішінің конструкциясын ұсынады, бұл сенімділігі жоғары және өлшеу қателігі аз ақпараттық-өлшеу жүйесін жасауға мүмкіндік береді.

1-тарау бойынша қорытындылар

Магнит өрісі бар фазалық ауыстырғыштар негізінде механикалық шамалардың датчиктерін қолдану теориясы мен практикасын дамыту дәлдігі мен жылдамдығы жоғары ақпараттық-өлшеу жүйелерін жасауға мүмкіндік береді. Фазалық ауыстырғыштардың қолдану салалары магниттік өткізгіштердің қысқа тиімді ұзындығына байланысты шағын өлшемдерге байланысты кеңейеді. Орамалардың жергілікті өзара әрекеттесу принципін қолдану магнит өрістерін қолдану мүмкіндіктерін кеңейтеді.

1. Өлшеу түрлендіргіштерінің ішінде электромагниттік түрлендіргіштер сенімділігі бойынша ең жақсы өнімділікке ие.

2. Ең жақсы метрологиялық сипаттамаларда классикалық фазалық ауыстырғыштар негізінде жасалған өлшеу жүйелері бар.

3. Ең жақсы қасиеттер таратылған параметрлері бар біртекті емес магниттік өткізгішке негізделген электромагниттік жүйеге негізделген фазалық түрлендіргіштерге ие.

4. Таратылған параметрлері бар гетерогенді магниттік өткізгішке негізделген электромагниттік жүйенің теориясы толығымен дамыған, бірақ мұндай фазалық ауыстырғыштары бар өлшеу жүйелерінің қателіктерінің себептерін талдау жеткіліксіз дамыған.

5. Таратылған параметрлері бар гетерогенді магнит өткізгіші бар электромагниттік жүйеге негізделген фазалық ауыстырғыштары бар өлшеу жүйелерінің қателіктерін талдау тек имитациялық компьютерлік модельдің көмегімен мүмкін болады.

6. Берілген жүйелік қателіктері бар өлшеу жүйелерін жобалау үшін негізгі дизайн теориясы қажет.

2 СЫЗЫҚТЫҚ ОРЫН АУЫСТЫРУДЫ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ АЛГОРИТМІ ЖАҚСАРТЫЛҒАН ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ФАЗАЛЫҚ АУЫСТЫРҒЫШҚА НЕГІЗДЕЛГЕН ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІН ТҮРЛЕНДІРУ ФУНКЦИЯСЫ

2.1. Электр параметрлері және электромагниттік жүйенің электр және магниттік шамаларының таратылған параметрлері бар біртекті емес магнит өткізгішпен негізгі арақатынасы

Электромагниттік өлшеу түрлендіргішінің электрлік күйін талдау жүйе элементтері параметрлерінің белгілі мәндерінде мүмкін болады. Әдетте R'_s , R'_c және R'_r қуат көздерінің ішкі кедергісінің мәндері белгілі немесе эксперимент арқылы анықталады. R_s , R_c және R_r орамаларының сымдарының кедергісі өте қарапайым есептеледі, өйткені бұл кедергілер орамалардың сымдарының ұзындығына пропорционалды. Сымдардың ұзындығы таратылған параметрлері бар магниттік өткізгіш болып табылатын ақпараттық сызғыштың геометриялық өлшемдерімен анықталады.

$R_{нс}$, R_{nc} және R_{nr} орамаларының тізбектерінің жүктеме кедергісі өлшеу жүйесінің электрондық блоктарының жұмыс режимдеріне байланысты. Жоғарыда көрсетілгендей, электромагниттік түрлендіргіштің жұмысы Ақпарат желісіндегі жылжымалы магнит құбырының орнын өзгерту кезінде параметрлердің өзгеруіне және орамалардың өзара әрекеттесуіне негізделген. Осылайша, біз L_s , L_c және L_r орамаларының меншікті индуктивтіліктерін және M_{sc} , M_{cr} және M_{sr} өзара индуктивтілік коэффициенттерін жылжымалы x магниттік құбырының орнын өзгерту кезінде өзгерту туралы айтып отырмыз.

2.1.1. Біркелкі ораманың индуктивтілігі

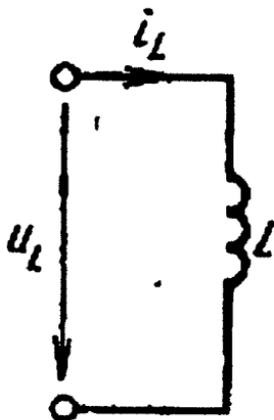
Индуктивтілік деп магнит өрісінің энергиясы сақталатын электр тізбегінің идеалдандырылған элементін атайды. Электр өрісінің энергиясын сақтау немесе электр энергиясын энергияның басқа түрлеріне айналдыру онда болмайды.

Идеалдандырылған элементке ең жақын - индуктивтілік - электр тізбегінің нақты элементі - индуктивті катушка.

Индуктивті катушкадағы индуктивтіліктен айырмашылығы, электр өрісінің энергиясын сақтау және электр энергиясын энергияның басқа түрлеріне, атап айтқанда жылу энергиясына айналдыру да орын алады [94].

Сандық тұрғыдан алғанда, электр тізбегінің нақты және идеалдандырылған элементтерінің магнит өрісінің энергиясын сақтау қабілеті индуктивтілік деп аталатын параметрмен сипатталады.

Осылайша, «индуктивтілік» термині электр тізбегінің идеалдандырылған элементінің атауы, сол элементтің қасиеттерін сандық сипаттайтын параметрдің атауы және индуктивті катушканың негізгі параметрінің атауы ретінде қолданылады.



Сурет 2.1 Индуктивтіліктің шартты графикалық белгісі

Бірлік жүйесінде индуктивтілік генриде (Гн) көрсетіледі.

Тізбектерді талдау кезінде, әдетте, катушкада көрсетілген ЭҚК мәні емес, оның қысқыштарындағы кернеу қарастырылады, оның оң бағыты токтың оң бағытымен сәйкес келеді:

$$u_L = -e = L \frac{di_L}{dt} . \quad (2.1)$$

Электр тізбегінің идеалдандырылған элементі-индуктивтілік, катушканың магнит өрісінің энергиясын сақтау қабілетін көрсететін индуктивті катушканың жеңілдетілген моделі ретінде қарастыруға болады.

Сызықтық индуктивтілік үшін оның қысқыштарындағы кернеу токтың өзгеру жылдамдығына пропорционалды [96]. Тұрақты токтың индуктивтілігі арқылы ағып жатқанда, оның қысқыштарындағы кернеу нөлге тең болады, сондықтан тұрақты токтың индуктивтілік кедергісі нөлге тең болады.

Магниттік тізбектер теориясы орамның индуктивтілігінің шамасын анықтайды, оның бұрылыстар саны $W(x)$ заңы бойынша магнит өткізгіштің басынан қашықтықтағы функцияларға бөлінеді, егер $\underline{Y}_{0m}(x)$ заңы бойынша бірдей қашықтықтағы функциядағы магниттік өткізгіштік өзгерсе:

$$\underline{L} = \int_0^l W(x)^2 \underline{Y}_{0m}(x) dx \quad (2.2)$$

мұндағы l - ақпарат сызғышының ұзындығы немесе таратылған параметрлері бар магнит өткізгіштің ұзындығы.

Жылжымалы магнит өткізгіштің орналасқан аймағындағы меншікті магниттік өткізгіштік екі компонент түрінде ұсынылады:

$$\underline{Y}_{0M2} = \underline{Y}_{0M1} + \underline{Y}_{0M\Gamma} \quad (2.3)$$

сондықтан таратылған магниттік өткізгіштің меншікті магниттік өткізгіштігін бүкіл l магниттік өткізгіштің ұзындығы шегінде \underline{Y}_{0M1} меншікті өткізгіштігінің қосындысы және $(x_{\text{пм}} - 0,5 \cdot l_{\text{пм}})$ және $(x_{\text{пм}} + 0,5 \cdot l_{\text{пм}})$ шекарасымен шектелген учаске шегінде таратылған магниттік өткізгіштің қасиетін көрсететін $\underline{Y}_{0M\Gamma}$ меншікті магниттік өткізгіштігінің қосындысы ретінде ұсынуға болады.

Біркелкі орамның индуктивтілігі екі компоненттің қосындысымен анықталады (2.4):

$$\begin{aligned} \underline{L}_r &= W_r^2 \cdot l \cdot \underline{Y}_{0M1} + W_r^2 \cdot l_{\text{пм}} \cdot \underline{Y}_{0M\Gamma} = \\ &= W_r^2 \cdot \underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h \left[\frac{l}{\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1)} + \frac{l_{\text{пм}} \cdot (l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} + 2 \cdot \delta)}{\frac{\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}}^2}{(\underline{\mu} - 1)} + \underline{\mu} \cdot 2 \cdot \delta \cdot (l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}}) - l_{\text{cp}} \cdot l_{\text{ct}}} \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

Алынған теңдеу біркелкі орамның индуктивтілігі жылжымалы магнит өткізгіштің орналасу орнына байланысты емес, яғни өзгермейтін шама деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

2.1.2. Синус орамасының индуктивтілігі

Синус орамасының бұрылыстары синус заңы бойынша магниттік құбыр бойымен таратылады (2.5):

$$W_s(x) = W_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \quad (2.5)$$

\underline{Y}_{0M1} және \underline{Y}_{0MP} екі құрамдас бөлігінің косындысы түріндегі меншікті өткізгіштіктің таралу заңын ескере отырып синус орамасының индуктивтілігі (2.6):

$$\begin{aligned}
 \underline{L}_s &= \int_0^l W_m^2 \cdot \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot dx + \int_{x_{PM}-l_{PM}/2}^{x_{PM}+l_{PM}/2} W_m^2 \cdot \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot dx = \\
 &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot \int_0^l \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \int_{x-l_{PM}/2}^{x+l_{PM}/2} \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx = \\
 &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot \left[\frac{1}{2} x - \frac{1}{4 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{l}} \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \right]_0^l + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{1}{2} x - \frac{1}{4 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{l}} \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \right]_{x-l_{PM}/2}^{x+l_{PM}/2} = \\
 &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot \left[\frac{1}{2} l - \frac{l}{8 \cdot \pi} \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot l\right) - 0 + \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \sin(0) \right] + \\
 &+ W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (x_{PM} + l_{PM}/2) - \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{PM} + l_{PM}/2)\right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2} \cdot (x_{PM} + l_{PM}/2) + \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{PM} + l_{PM}/2)\right) \right] = \\
 &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{1}{2} l + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{l_{PM}}{2} - \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{PM}\right) \right] = \\
 &= W_m^2 \cdot \left\{ \underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{1}{2} l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{l_{PM}}{2} - \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x_{PM}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{PM}\right) \right] \right\} \quad (2.7)
 \end{aligned}$$

Соңында осы шешеймге келеміз (2.8):

$$\underline{L}_s = W_m^2 \cdot \left\{ \underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{1}{2} l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{l_{PM}}{2} - \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x_{PM}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{PM}\right) \right] \right\} \quad (2.8)$$

Мұндағы

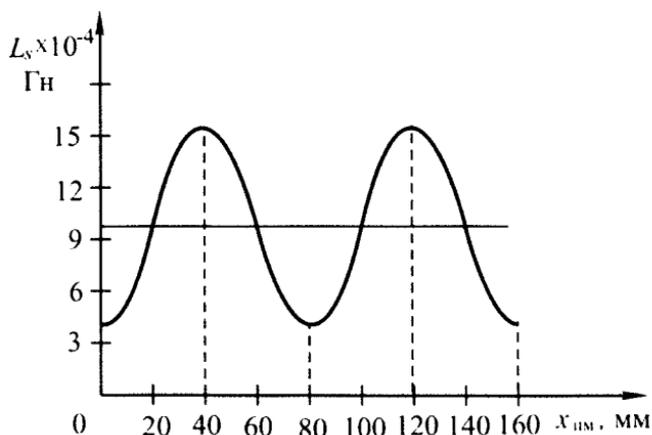
$$\underline{Y}_{0M1} = \frac{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h}{\underline{\mu} \cdot l_{cp} - l_{CT} \cdot (\underline{\mu} - 1)} \quad (2.9)$$

және

$$\underline{Y}_{0MP} = \underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h \cdot \left[\frac{l_{cp} - l_{CT} + 2 \cdot \delta}{\frac{\underline{\mu} \cdot l_{cp}^2}{(\underline{\mu} - 1)} + \underline{\mu} \cdot 2 \cdot \delta \cdot (l_{cp} - l_{CT}) - l_{cp} \cdot l_{CT}} \right] \quad (2.10)$$

Алынған формула $\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{PM}\right)$ тұрақты шамасында

$2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x_{PM}\right)$ кос бұрышының косинусымен анықталған индуктивтіліктің айнымалы компоненті синус орамасының индуктивтілік мәніне үлкен әсер ететіндігін көрсетеді.



Сурет 2.2 Синус орамасының индуктивтілігінің графигі

$\underline{L}_s(x_{\text{пм}})$ синус орамасының индуктивтілігінің өлшенетін $x_{\text{пм}}$ қозғалысына тәуелділік графигі 2.2-суретте көрсетілген.

2.1.3. Косинус орамасының индуктивтілігі

Косинус орамасының бұрылыстары косинус заңы бойынша магниттік құбыр бойымен таратылады:

$$W_c(x) = W_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \quad (2.11)$$

Косинус орамасының индуктивтілігі $\underline{Y}_{0\text{М1}}$ (2.9) және $\underline{Y}_{0\text{Мр}}$ (2.10) екі компоненттің қосындысы түріндегі меншікті өткізгіштіктің таралу заңын ескере отырып:

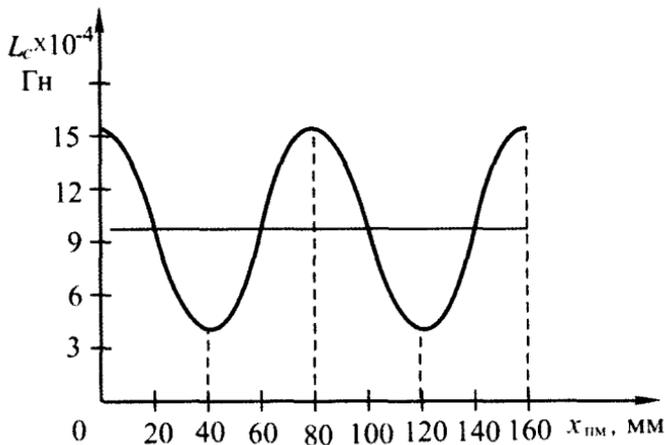
$$\begin{aligned} \underline{L}_c &= \int_0^l W_m^2 \cdot \cos^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0\text{М1}} \cdot dx + \int_{x_{\text{пм}} - l_{\text{пм}}/2}^{x_{\text{пм}} + l_{\text{пм}}/2} W_m^2 \cdot \cos^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0\text{Мр}} \cdot dx = \\ &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0\text{М1}} \cdot \int_0^l \cos^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0\text{Мр}} \cdot \int_{x - l_{\text{пм}}/2}^{x + l_{\text{пм}}/2} \cos^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx = \\ &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0\text{М1}} \cdot \left[\frac{1}{2}x + \frac{1}{4 \cdot 2 \cdot \pi} \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \right]_0^l + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0\text{Мр}} \cdot \left[\frac{1}{2}x + \frac{1}{4 \cdot 2 \cdot \pi} \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \right]_{x - l_{\text{пм}}/2}^{x + l_{\text{пм}}/2} = \\ &= W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0\text{М1}} \cdot \left[\frac{1}{2}l + \frac{l}{8 \cdot \pi} \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot l\right) - 0 - \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \sin(0) \right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \left| \frac{1}{2} \cdot (x_{\text{ПМ}} + l_{\text{ПМ}}/2) + \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{\text{ПМ}} + l_{\text{ПМ}}/2)\right) - \right. \\
& \left. - \frac{1}{2} \cdot (x_{\text{ПМ}} - l_{\text{ПМ}}/2) - \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{\text{ПМ}} - l_{\text{ПМ}}/2)\right) \right| = \\
& = W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{1}{2} l + W_m^2 \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{l_{\text{ПМ}}}{2} + \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x_{\text{ПМ}}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{\text{ПМ}}\right) \right] = \\
& = W_m^2 \cdot \left\{ \underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{1}{2} l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{l_{\text{ПМ}}}{2} + \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x_{\text{ПМ}}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{\text{ПМ}}\right) \right] \right\} \\
& \qquad \qquad \qquad (2.11)
\end{aligned}$$

Ақырында косинус орамасының индуктивтілігі жылжымалы магнит өткізгішті $x_{\text{ПМ}}$ функциясында келесі заңға сәйкес жылжитқанда өзгереді:

$$\underline{L}_c = W_m^2 \cdot \left\{ \underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{1}{2} l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \left[\frac{l_{\text{ПМ}}}{2} + \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x_{\text{ПМ}}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{\text{ПМ}}\right) \right] \right\} \quad (2.12)$$

$\underline{L}_c(x_{\text{ПМ}})$ синус орамасының индуктивтілігінің өлшенетін $x_{\text{ПМ}}$ козғалысына тәуелділік графигі 2.3-суретте көрсетілген. Алынған формула $\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{\text{ПМ}}\right)$ тұрақты шамасында $2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x_{\text{ПМ}}\right)$ кос бұрышының косинусымен анықталған индуктивтіліктің айнымалы компоненті косинус орамасының индуктивтілік мәніне үлкен әсер ететіндігін көрсетеді.



Сурет 2.3 Синус орамасының индуктивтілігінің тәуелділігі

Егер $\underline{L}_s(x_{\text{пм}})$ синус орамасының индуктивтілігі (2.8) мен $\underline{L}_c(x_{\text{пм}})$ косинус орамасының индуктивтілігінің (2.9), $x_{\text{пм}}$ жылжымалы магниттік өткізгіштің қозғалысына тәуелділігін білдіретін формулаларды салыстыратын болсақ, онда олар тек компоненттің алдындағы белгімен ерекшеленетінін анықтауға болады (2.10):

$$\frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x_{\text{пм}}\right) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} l_{\text{пм}}\right) \quad (2.10)$$

Графиктерді құру үшін ақпараттық сызғыштың диаметрі $l_{\text{ст}} = 10$ мм, ақпараттық сызғыштың ұзындығы $l = 160$ мм, жылжымалы магнит құбырының ұзындығы $l_{\text{пм}} = 20$ мм, жылжымалы магнит құбырының қалыңдығы $h = 2$ мм болатын электромагниттік өлшеу түрлендіргішінің зерттеу нәтижелері пайдаланылды. Ауа саңылауының ұзындығы $\delta = 0,1$ мм болды. біркелкі ораманың бұрылыстарының саны $W_r = 150$,

синус және косинус орамаларының бұрылыстарының максималды есептік саны $W_m = 100$. Ақпараттық сызғыштың тістерінің саны - 16. Қарастырылған үлгінің салыстырмалы қателігі 0,1 % құрады.

2.1.4. Синустық және біркелкі орамалардың өзара индукция коэффициентін анықтау

Екі тізбектің өзара индукция коэффициенті (M) басқа тізбектегі ток бірлікке тең болған кезде тізбектердің бірімен байланысқан магнит ағынына тең. Өзара индуктивтілік геометриялық пішінге, өлшемдерге, контурлардың өзара орналасуына және оларды қоршаған ортаның магниттік қасиеттеріне байланысты.

Екі ораманың өзара индукция коэффициенті, олардың бұрылыстар Саны бөлінген параметрлері бар магнит құбыры бойымен бөлінеді, $W_1(x)$ және $W_2(x)$ бұрылыстардың таралу заңдарына және $\underline{Y}_{0M}(x)$ магнит құбыры бойымен меншікті өткізгіштіктің таралу Заңына байланысты.

Біркелкі ораманың бұрылыстарының саны үнемі W_r .

Синус орамасының бұрылыстарының саны (2.11) формуласымен есептеуге болады:

$$W_s(x) = W_m \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \quad (2.11)$$

Электромагниттік түрлендіргіштің нақты өткізгіштігі екі компоненттен тұрады:

$$\underline{Y}_{0M}(x) = \underline{Y}_{0M1} + \underline{Y}_{0Mp} \quad (2.12)$$

Бұл жағдайда меншікті магниттік өткізгіштік \underline{Y}_{0M1} түрлендіргіштің магниттік өткізгішінің бүкіл ұзындығы бойынша 0-ден l -ге дейін бөлінеді. Меншікті магниттік өткізгіштіктің екінші компоненті \underline{Y}_{0MP} - $x = (x_{PM} - l_{PM}/2)$ ден $x = (x_{PM} + l_{PM}/2)$ - ге дейінгі жылжымалы магниттік өткізгіштің орналасу шекарасында орын алады.

Жалпы жағдайда формула негізгі формула ретінде қолданылады:

$$\underline{M} = \int_0^l W_1(x) W_2(x) \underline{y}_M(x) dx \quad (2.13)$$

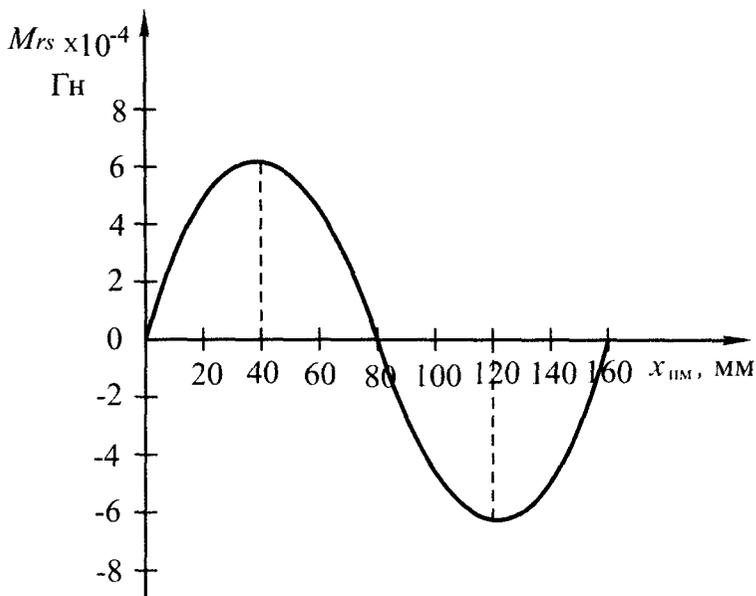
Біздің жағдайда

$$\begin{aligned} \underline{M}_{rs} &= \int_0^l W_r \cdot W_m \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot dx + \int_{x_{PM} - l_{PM}/2}^{x_{PM} + l_{PM}/2} W_r \cdot W_m \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot dx = \\ &= W_r \cdot W_m \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \int_0^l \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) dx + \underline{Y}_{0MP} \cdot \int_{x_{PM} - l_{PM}/2}^{x_{PM} + l_{PM}/2} \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) dx \right] = \\ &= W_r \cdot W_m \cdot \left[-\underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \Big|_0^l + \left[-\underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \Big|_{x_{PM} - l_{PM}/2}^{x_{PM} + l_{PM}/2} \right] \right] = \\ &= W_r \cdot W_m \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \left[-\frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \cos(2 \cdot \pi) + \frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \cos(0) \right] - \right. \\ &\quad \left. \left[-\underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{PM} + l_{PM}/2)\right) - \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{PM} - l_{PM}/2)\right) \right] \right] \right] = \\ &= W_r \cdot W_m \cdot \left\{ \underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \left[2 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{l} \cdot l_{PM}\right) \right] \right\} \quad (2.14) \end{aligned}$$

Соңында осы шешеімге келеміз:

$$\underline{M}_{rs} = W_r \cdot W_m \cdot \underline{Y}_{\text{оМР}} \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x_{\text{пМ}}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{l} \cdot l_{\text{пМ}}\right) \quad (2.15)$$

\underline{M}_{rs} біркелкі және синустық орамаларының өзара индуктивтілік коэффициентінің өлшенетін $x_{\text{пМ}}$ қозғалысына тәуелділік графигі 2.4-суретте көрсетілген. График синусоидалы тәуелділікті білдіреді. Өзара индуктивтілік коэффициенті жылжымалы магнит өткізгішті ақпараттық сызғыштың ұзындығының төрттен біріне жылжитқан кезде максималды мәнге ие болады [98].



Сурет 2.4 Біркелкі және синустық орамалардың өзара индуктивтілік коэффициентінің тәуелділігі

Келесі жағдай туралы еске салу керек

$$\underline{Y}_{0\text{MP}} = \underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h \cdot \left[\frac{l_{\text{CP}} - l_{\text{CT}} + 2 \cdot \delta}{\frac{\underline{\mu} \cdot l_{\text{CP}}^2}{(\underline{\mu} - 1)} + \underline{\mu} \cdot 2 \cdot \delta \cdot (l_{\text{CP}} - l_{\text{CT}}) - l_{\text{CP}} \cdot l_{\text{CT}}} \right] \quad (2.16)$$

Мұны нақтылау керек. Нақты жағдайда қозғалысты өлшеу шектері ақпараттық сызғыштың ұзындығынан аз болады. Бұл жылжымалы магниттік құбыр әрқашан ақпараттық сызғышта болуы керек екендігіне байланысты. Осылайша, электромагниттік түрлендіргіштің нақты өлшеу диапазоны сызғыштың магнит өткізгішінің ұзындығынан жылжымалы магнит өткізгіштің ұзындығына аз, яғни $l_u = l - l_{\text{PM}}$.

2.1.5 Косинус пен біркелкі орамалардың өзара индукция коэффициентін анықтау

Біркелкі ораманың бұрылыстарының саны W_r тұрақты.

Косинус орамасының бұрылыстарының саны (2.18) формуласымен табылады:

$$W_c(x) = W_m \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \quad (2.18)$$

Электромагниттік түрлендіргіштің нақты өткізгіштігі екі компоненттен тұрады:

$$\underline{Y}_{0\text{M}}(x) = \underline{Y}_{0\text{M}1} + \underline{Y}_{0\text{MP}} \quad (2.19)$$

Бұл жағдайда $\underline{Y}_{0\text{M}1}$ меншікті магниттік өткізгіштігі түрлендіргіштің магниттік өткізгішінің бүкіл ұзындығы

бойынша 0-ден l -ге дейін бөлінеді. \underline{Y}_{0MP} меншікті магниттік өткізгіштіктің екінші компоненті $x = (x_{PM} - l_{PM}/2)$ -ден $x = (x_{PM} + l_{PM}/2)$ -ге дейінгі жылжымалы магниттік өткізгіштің орналасу шекарасында болады.

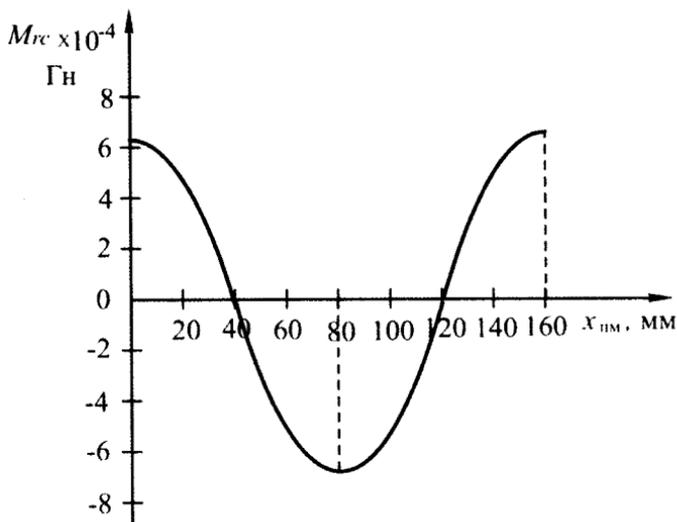
Біркелкі және косинустық орамалардың өзара индуктивтілік коэффициенті келесі қатынаспен анықталады:

$$\begin{aligned}
 \underline{M}_{rc} &= \int_0^l W_r \cdot W_m \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0M1} \cdot dx + \int_{x_{PM}-l_{PM}/2}^{x_{PM}+l_{PM}/2} W_r \cdot W_m \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot dx = \\
 &= W_r \cdot W_m \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \int_0^l \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) dx + \underline{Y}_{0MP} \cdot \int_{x_{PM}-l_{PM}/2}^{x_{PM}+l_{PM}/2} \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) dx \right] = \\
 &= W_r \cdot W_m \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \Big|_0^l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \Big|_{x_{PM}-l_{PM}/2}^{x_{PM}+l_{PM}/2} \right] = \\
 &= W_r \cdot W_m \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \left[\frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \sin(2 \cdot \pi) - \frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \sin(0) \right] + \right. \\
 &\quad \left. + \underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{PM} + l_{PM}/2)\right) - \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot (x_{PM} - l_{PM}/2)\right) \right] \right] = \\
 &= W_r \cdot W_m \cdot \left\{ \underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi} \cdot \left[2 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{l} \cdot l_{PM}\right) \right] \right\} \quad (2.20)
 \end{aligned}$$

Ақырында, біз \underline{M}_{rc} біркелкі және косинус орамаларының өзара индуктивтілік коэффициентінің ақпараттық сызғыштағы жылжымалы магнит өткізгіштің орналасуымен анықталатын x_{PM} өлшенетін қозғалысына келесі тәуелділігіміз бар

$$\underline{M}_{rc} = W_r \cdot W_m \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{l} \cdot l_{PM}\right) \quad (2.21)$$

\underline{M}_{rc} біркелкі және косинус орамаларының өзара индуктивтілік коэффициентінің өлшенетін $X_{ПМ}$ қозғалысына тәуелділік графигі 2.5-суретте көрсетілген.



Сурет 2.5 Біркелкі және косинустық орамалардың өзара индуктивтілік коэффициентінің графигі

График косинусоидалы тәуелділікті білдіреді. Өзара индуктивтілік коэффициенті \underline{M}_{rc} максималды мәнді ақпараттық сызғыштың ұзындығының ортасында және сызғыштың соңында жылжымалы магниттік өткізгіштің нөлдік қозғалысы кезінде алады.

2.1.6. Синус және косинус орамаларының өзара индукция коэффициентін анықтау

Синус және косинус орамаларының өзара индукция коэффициентін (2.22) формула бойынша анықтау керек:

$$\underline{M}_{sc} = W_s(x) \cdot W_c(x) \underline{Y}_{0M}(x) \quad (2.22)$$

(2.22) формулада синус орамасының бұрылыстарының саны

$$W_s(x) = W_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \quad (2.23)$$

Косинус орамасының бұрылыстарының саны

$$W_c(x) = W_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \quad (2.24)$$

$$\underline{Y}_{0M}(x) = \underline{Y}_{0M1} + \underline{Y}_{0Mp}$$

Бұл жағдайда \underline{Y}_{0M1} меншікті магниттік өткізгіштігі түрлендіргіштің магниттік өткізгішінің бүкіл ұзындығы бойынша 0-ден l -ге дейін бөлінеді. \underline{Y}_{0Mp} меншікті магниттік өткізгіштігінің екінші компоненті $x = (x_{пм} - l_{пм}/2)$ -ден $x = (x_{пм} + l_{пм}/2)$ -ге дейінгі жылжымалы магниттік өткізгіштің орналасу шекарасында болады:

$$\begin{aligned} M_{sc} &= W_m^2 \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \int_0^l \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) dx + \right. \\ &\quad \left. + \underline{Y}_{0Mp} \cdot \int_{x_{пм} - l_{пм}/2}^{x_{пм} + l_{пм}/2} \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) dx \right] = \\ &= W_m^2 \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \Big|_0^l + \underline{Y}_{0Mp} \cdot \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x\right) \Big|_{x_{пм} - l_{пм}/2}^{x_{пм} + l_{пм}/2} \right] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \\
&= W_m^2 \cdot \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \left| \sin^2 \left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x \right) \right|_0^l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \left| \sin^2 \left(\frac{2 \cdot \pi}{l} x \right) \right|_{x_{PM} - l_{PM} \cdot 2}^{x_{PM} + l_{PM} \cdot 2} \right] = \\
&= W_m^2 \cdot \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \left[\underline{Y}_{0M1} \cdot \left| 1 - \cos \left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x \right) \right|_0^l + \underline{Y}_{0MP} \cdot \left| 1 - \cos \left(\frac{4 \cdot \pi}{l} x \right) \right|_{x_{PM} - l_{PM} \cdot 2}^{x_{PM} + l_{PM} \cdot 2} \right] = \\
&= W_m^2 \cdot \frac{l}{8 \cdot \pi} \cdot \left[\begin{aligned} &\underline{Y}_{0M1} \cdot (1 - \cos(4 \cdot \pi)) - \underline{Y}_{0M1} \cdot (1 - \cos(0)) \\ &+ \underline{Y}_{0MP} \cdot (1 - \cos(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM} + \frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot l_{PM})) - \\ &- \underline{Y}_{0MP} \cdot (1 - \cos(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM} - \frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot l_{PM})) \end{aligned} \right] = \\
&= W_m^2 \cdot \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \sin \left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM} \right) \cdot \sin \left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot l_{PM} \right) \quad (2.25)
\end{aligned}$$

Осылайша, жылжымалы магнит өткізгішті жылжыту кезінде өзара индуктивтіліктің өзгеруі (2.26) формула арқылы көрсетіледі

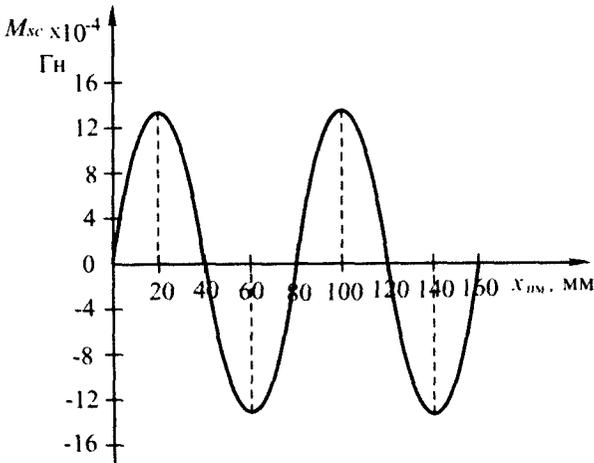
$$\underline{M}_{sc} = W_m^2 \cdot \frac{l}{4 \cdot \pi} \cdot \underline{Y}_{0MP} \cdot \sin \left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x_{PM} \right) \cdot \sin \left(\frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot l_{PM} \right) \quad (2.26)$$

Бұл функцияның графигі 2.6-суретте көрсетілген.

Синус пен косинус орамаларының өзара индуктивтілік коэффициентінің модулі бұрыш синусының заңына сәйкес өзгереді, оның мәні (2.27) тендеуден анықталады

$$\varphi = \frac{4 \cdot \pi}{l} \cdot x_{\text{пм}} \quad (2.27)$$

Сондықтан өзара индуктивтілік коэффициентінің өзгеру кезеңі қозғалыстың өзгеруі шегінде 2 есе сәйкес келеді.



Сурет 2.6 Синус пен косинус орамаларының өзара индуктивтілігінің графигі бұрыштың синус заңына сәйкес өзгереді

Индуктивтілік пен өзара индуктивтіліктің жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалысына тәуелділігін талдау келесілерді растауға мүмкіндік береді

- біркелкі ораманың индуктивтілігі жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалысына байланысты емес;
- синус және косинус орамаларының индуктивтілігі жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалу функциясында периодтық заңға сәйкес өзгереді;
- орамалардың өзара индуктивтілік коэффициенттері ақпараттық сызғыштың үлестірілген магниттік өткізгіштігінің меншікті магниттік өткізгіштігіне тәуелді емес;

– орамалардың өзара индуктивтілік коэффициенттері жылжымалы магнит өткізгішті ақпараттық сызғыштың бөлінген магнит өткізгіші бойымен жылжытқан кезде мерзімді заңға сәйкес өзгереді;

– синус және косинус орамаларының өзара индуктивтілік коэффициентінің өзгеру кезеңі орын ауыстырудың өзгеру шегінде 2 рет сәйкес келеді.

Есептелген тәуелділіктер біртекті емес магнит өткізгіші бар сызықтық қозғалыстың электромагниттік түрлендіргішінің берілу функциясын анықтау үшін қажет.

2.1.7. Өлшеуіш электромагниттік түрлендіргіштің электрлік күй тендеулерінің жалпыланған жүйесі элементтерінің параметрлері

Механикалық шамаларды өлшеу жүйесінің негізгі элементі біздің жағдайда электрмен жабдықтаудан, электромагниттік түрлендіргіштен тұратын электрлік бөлік болып табылады, оның дизайны жоғарыда қарастырылған және орамалардың жүктеме кедергісі [97].

Орамалардың токтарын есептеу үшін тендеулер жүйесі құрастырылған (2.28). Орамдық токтардың мәндері шығыс кернеулерін анықтауға мүмкіндік береді, олардың параметрлері өлшенетін кернеуге пропорционалды алынған кернеу фазасының өзгеруін анықтау үшін бастапқы деректер болып табылады:

$$\begin{cases} \underline{I}_r(R_r + R'_r + j\omega\underline{L}_r) + j\omega\underline{I}_s\underline{M}_{rs} + j\omega\underline{I}_c\underline{M}_{rc} = \underline{E}_r, \\ j\omega\underline{I}_r\underline{M}_{rs} + \underline{I}_s(R_s + R'_s + j\omega\underline{L}_s) + j\omega\underline{I}_c\underline{M}_{sc} = \underline{E}_s, \\ j\omega\underline{I}_r\underline{M}_{rc} + j\omega\underline{I}_s\underline{M}_{sc} + \underline{I}_c(R_c + R'_c + j\omega\underline{L}_c) = \underline{E}_c. \end{cases} \quad (2.28)$$

Келесідей белгілейік

$$\begin{aligned} \underline{Z}_r &= (R_r + R'_r + j\omega\underline{L}_r), \\ \underline{Z}_s &= (R_s + R'_s + j\omega\underline{L}_s), \\ \underline{Z}_c &= (R_c + R'_c + j\omega\underline{L}_c). \end{aligned} \quad (2.29)$$

сонда теңдеулер жүйесі келесі түрге келеді

$$\begin{cases} \underline{Z}_r \cdot \underline{I}_r + j\omega\underline{M}_{rs} \cdot \underline{I}_s + j\omega\underline{I}_c \underline{M}_{rc} \cdot \underline{I}_c = \underline{E}_r, \\ j\omega\underline{M}_{rs} \cdot \underline{I}_r + \underline{Z}_s \cdot \underline{I}_s + j\omega\underline{M}_{sc} \cdot \underline{I}_c = \underline{E}_s, \\ j\omega\underline{M}_{rc} \cdot \underline{I}_r + j\omega\underline{M}_{sc} \cdot \underline{I}_s + \underline{Z}_c \cdot \underline{I}_c = \underline{E}_c. \end{cases} \quad (2.30)$$

Орамалар токтарының мәндері қуат көздерінің ЭҚК шамаларына байланысты, алгебралық толықтырулардың мәндерімен және жүйенің негізгі детерминантымен анықталады. Теңдеулер жүйесінің коэффициенттер матрицасының симметриясы болғандықтан, (2.31) қатынастар айқын болады:

$$\Delta_{13} = \Delta_{31}, \quad \Delta_{12} = \Delta_{21}, \quad \Delta_{32} = \Delta_{23} \quad (2.31)$$

Алгебралық толықтауыш:

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} \underline{Z}_s & j\omega\underline{M}_{sc} \\ j\omega\underline{M}_{sc} & \underline{Z}_c \end{vmatrix} = \underline{Z}_s \underline{Z}_c - (j\omega)^2 \underline{M}_{sc}^2 \quad (2.32)$$

Өлшеу дәлдігін арттыру үшін түрлендіргіштің синус және косинус орамаларының параметрлері теңестіріледі. Теңдестірілген электромагниттік түрлендіргіш $\underline{Z}_s = \underline{Z}_c$.

Бұл жағдайда $\Delta_{11} = (\underline{Z}_s)^2 - (j\omega)^2 \underline{M}_{sc}^2$.

Алгебралық толықтауыш:

$$\Delta_{21} = \begin{vmatrix} j\omega \underline{M}_{rs} & j\omega \underline{M}_{rc} \\ j\omega \underline{M}_{sc} & \underline{Z}_c \end{vmatrix} = j\omega \underline{Z}_c \underline{M}_{rs} - (j\omega)^2 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{sc}.$$

$$\Delta_{31} = \begin{vmatrix} j\omega \underline{M}_{rs} & j\omega \underline{M}_{rc} \\ \underline{Z}_s & j\omega \underline{M}_{sc} \end{vmatrix} = (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}.$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} \underline{Z}_r & j\omega \underline{M}_{rc} \\ j\omega \underline{M}_{rc} & \underline{Z}_c \end{vmatrix} = \underline{Z}_r \underline{Z}_c - (j\omega)^2 \underline{M}_{rc}^2.$$

$$\Delta_{32} = \begin{vmatrix} \underline{Z}_r & j\omega \underline{M}_{rc} \\ j\omega \underline{M}_{rs} & j\omega \underline{M}_{sc} \end{vmatrix} = j\omega \underline{Z}_r \underline{M}_{sc} - (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{rc}.$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} \underline{Z}_r & j\omega \underline{M}_{rs} \\ j\omega \underline{M}_{rs} & \underline{Z}_s \end{vmatrix} = \underline{Z}_r \underline{Z}_s - (j\omega)^2 \underline{M}_{rs}^2 \quad (2.33)$$

Жүйенің негізгі детерминанты (2.34) формуламен анықталады:

$$\begin{aligned} \Delta &= \underline{Z}_r \Delta_{11} - j\omega \underline{M}_{rs} \Delta_{21} + j\omega \underline{M}_{rc} \Delta_{31} = \\ &= \underline{Z}_r (\underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{M}_{sc}^2) - j\omega \underline{M}_{rs} (j\omega \underline{Z}_c \underline{M}_{rs} - (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc}) + \\ &\quad + j\omega \underline{M}_{rc} ((j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}). \end{aligned} \quad (2.34)$$

Түрлендірулерден кейін біз келесі шешімді аламыз:

$$\begin{aligned} \Delta &= \underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_c \underline{M}_{rs}^2 + (j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc} + \\ &+ (j\omega)^3 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - (j\omega)^2 \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}^2 = \underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - \\ &- (j\omega)^2 \underline{Z}_c \underline{M}_{rs}^2 + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc} - (j\omega)^2 \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}^2. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Тендестірілген түрлендіргіште $\underline{Z}_s = \underline{Z}_c$, сондықтан

$$\Delta = Z_r Z_s^2 - (j\omega)^2 Z_r M_{sc}^2 - (j\omega)^2 Z_s (M_{rs}^2 - M_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 M_{rs} M_{sc} M_{rc} \quad (2.36)$$

Алынған формулаға орамалардың индуктивтілігінің мәндерін және өзара индуктивтілік коэффициенттерін ауыстыра отырып, біз өлшенетін $X_{\text{пм}}$ қозғалысын қамтымайтын теңдеуді аламыз, бұл синус пен косинус орамаларының теңдестірілген параметрлеріндегі негізгі детерминанттың мәні ақпараттық сызғыштағы жылжымалы магнит өткізгіштің орналасуына байланысты емес екенін көрсетеді.

2.2. Бір фазалы режимде жұмыс істейтін электромагниттік түрлендіргіш орамаларының токтарын есептеу

Жоғарыда электромагниттік фазалық ауыстырғыштардың екі жұмыс режимі болуы мүмкін екендігі айтылды.

1. Фазалық түрлендіргіш бір фазалы айнымалы кернеу көзінен біркелкі ораманың қуатын алған кезде жұмыс режимі. Бұл жұмыс режимінде электромагниттік түрлендіргіштің шығысында біз екі кернеуді аламыз. Кернеулердің біреуінің амплитудасы жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалу функциясында синус Заңына сәйкес өзгереді. Екінші кернеудің амплитудасы косинус Заңы бойынша таратылған магнит желісі түріндегі ақпараттық сызғышқа қатысты жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалу функциясында өзгереді. Шығыс кернеуінің фазасының өзгеруін қозғалысқа пропорционалды түрде алу үшін Шығыс кернеулерін өңдеу қажет.

2. Электромагниттік түрлендіргіштің жұмыс режимі, электромагниттік түрлендіргіш екі фазалы айнымалы кернеу көзінен қуат алған кезде, екі фазалы жұмыс режимі деп аталады. Көз шығуда бірдей амплитудадағы екі кернеуді қамтамасыз ететінін ұмытпаңыз, бірақ бұл кернеулердің фазалық ығысуы 90 есе. Бұл жұмыс режимінде электромагниттік түрлендіргіштің шығысындағы кернеу ақпараттық сызғышқа

қатысты жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалысына пропорционалды түрде өзгеретін бастапқы фазасы бар амплитудада тұрақты болады [100].

Сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің электрлік бөлігінің жұмысын талдау бір фазалы режимде тендеулер жүйесінің келесі түрін қолдану керек:

$$\begin{cases} \underline{I}_r (R_r + R'_r + j\omega L_r) + j\omega \underline{I}_s M_{rs} + j\omega \underline{I}_c M_{rc} = \underline{E}_r, \\ j\omega \underline{I}_r M_{rs} + \underline{I}_s (R_s + R'_s + j\omega L_s) + j\omega \underline{I}_c M_{sc} = 0, \\ j\omega \underline{I}_r M_{rc} + j\omega \underline{I}_s M_{sc} + \underline{I}_c (R_c + R'_c + j\omega L_c) = 0. \end{cases} \quad (2.37)$$

Бұрын алынған коэффициенттерді қолдана отырып (2.37), теңдестірілген электромагниттік түрлендіргіштің біркелкі орамасының тогын есептеу үшін (2.38) өрнек алуға болады:

$$\underline{I}_r = \frac{\underline{E}_r \Delta_{11}}{\Delta} = \underline{E}_r \frac{\underline{Z}_s \underline{Z}_c - (j\omega)^2 M_{sc}^2}{\underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r M_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_s (M_{rs}^2 - M_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 M_{rs} M_{sc} M_{rc}} \quad (2.38)$$

Түрлендірулерден кейін өлшенетін қозғалыс өзгерген кезде біркелкі орамның тогын өзгерту формуласын аламыз:

$$\underline{I}_r = \frac{\underline{E}_r}{\underline{Z}_r - \frac{(j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0mp} W_r W_m \sin \frac{\pi h}{l} \right)^2}{\underline{Z}_s + j\omega \frac{l}{4\pi} \underline{Y}_{0mp} W_m^2 \sin \frac{2\pi h}{l}}} \quad (2.39)$$

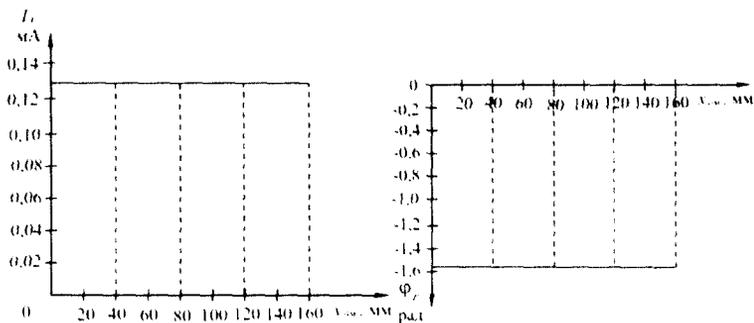
мұндағы өткізгіштік:

$$\underline{y}_m = \underline{y}_{m1} + \underline{y}_{m2} = \frac{1}{l_{cp} - \delta + \delta \underline{\mu}} + \frac{1}{l_{cp} - z - \delta + \underline{\mu}(\delta + z)} \quad (2.40)$$

Теңдестірілген сенсордың біркелкі орамасының тогы шунттың орналасуына байланысты емес екенін ескеріңіз [99].

Формулада өлшенетін қозғалысқа байланысты шамалар жоқ. Осылайша, идеалдандырылған электромагниттік түрлендіргіштің біркелкі орамасының ток модулі және оның бастапқы фазасы өлшенетін қозғалысқа тәуелді емес. Алынған формулалар бойынша біркелкі орамның тогын есептеу келесі нәтижелерді берді.

Егер біркелкі ораманың ЭҚК-нің бастапқы фазасы нөлге тең болса, онда бұл орамның тогы ЭҚК-ден 1,57 радианға артта қалады. Біркелкі ораманың тогы мен оның бастапқы фазасының өзгеру графиктері 2.7-суретте көрсетілген. Өлшенетін қозғалыс өзгерген кезде біркелкі орам тогының өзгермейтіндігі біркелкі ораманың кіріс кедергісі тұрақты екенін көрсетеді. Бұл электромагниттік фазалық ауыстырғыштың қуат көзінің жұмысын едәуір жеңілдетеді.



Сурет 2.7 Біркелкі ораманың тогы мен оның бастапқы фазасының өзгеру графигі

Электромагниттік өлшеу түрлендіргіші бір фазалы режимде жұмыс істеген кезде біркелкі ораманың жүктеме кедергісі болмайды, яғни нөлге тең. Синус және косинус орамаларының жүктеме кедергісі ондаған комаға жететін электронды ақпаратты өңдеу блоктарының кіріс кедергісімен

анықталады. Түрлендіргіш орамдары іс жүзінде бос режимде жұмыс істейді [101-105].

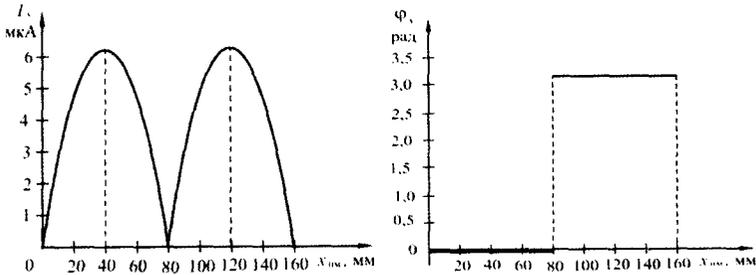
Алдыңғы қатынастардан (2.37-2.40) біз синус орамасының тогының формуласын аламыз (2.41):

$$\underline{I}_s = \underline{E}_r \frac{-\underline{\Delta}_{12}}{\underline{\Delta}} = \underline{E}_r \frac{-j\omega Z_c \underline{M}_{rn} + (j\omega)^2 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{sc}}{\underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_s (\underline{M}_{rn}^2 - \underline{M}_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rn} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc}} \quad (2.41)$$

Бөлшектің бөлгіші өлшенетін $X_{МП}$ козғалысына тәуелді емес екенін ескере отырып, (2.41) формуланы оған индуктивтілік мәндері мен өзара индуктивтілік коэффициенттерін келесі түрде ауыстырғаннан кейін жазуға болады:

$$\begin{aligned} \underline{I}_s &= \underline{E}_r \frac{-\underline{\Delta}_{12}}{\underline{\Delta}} = \underline{E}_r \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0Мh} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{МП}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{МП}\right)}{\underline{\Delta}} = \\ &= \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0Мp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{МП}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{МП}\right) \end{aligned} \quad (2.42)$$

Компьютерлік модельді колдана отырып, сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесін зерттеу синус орамасының ток модулі өлшенетін орын ауыстыру функциясында синус заңына сәйкес өзгереді деп айтуға негіз береді. Біркелкі орам тогының және оның бастапқы фазасының өзгеру графиктері 2.8-суретте көрсетілген. Бұл токтың бастапқы фазасы ток амплитудасы нөлдік мәнге ауысқан кезде π радианына ауысады.



Сурет 2.8 Біркелкі орам тогының және оның бастапқы фазасының өзгеру графиктері

Косинус орамасының тогының гетерогенді бөлінген магниттік өткізгіші бар электромагниттік түрлендіргіштің көмегімен өлшенетін қозғалысқа тәуелділігін тендеу арқылы көрсету болады:

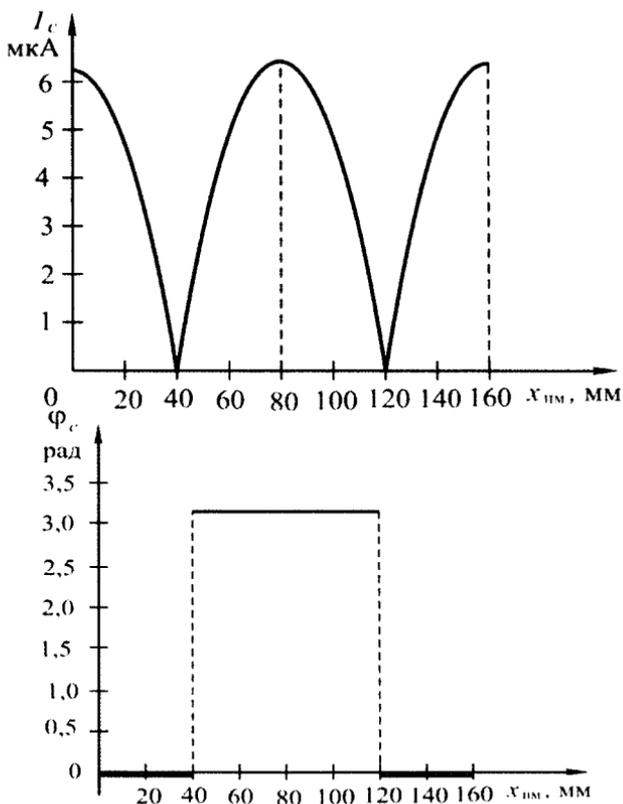
$$\underline{I}_c = \underline{E}_r \frac{\Delta_{13}}{\Delta} = \underline{E}_r \frac{(j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega Z_s \underline{M}_{rc}}{Z_r Z_s^2 - (j\omega)^2 Z_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 Z_s (\underline{M}_{rs}^2 - \underline{M}_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc}} \quad (2.43)$$

Алынған формуланы косинус орамасының тогы үшін синус орамасының ток формуласын түрлендіруге ұқсас етіп түрлендіргеннен кейін біз келесі формуланы аламыз:

$$\begin{aligned} \underline{I}_c &= \underline{E}_r \frac{j\omega \frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)}{\Delta} = \\ &= \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \end{aligned} \quad (2.44)$$

2.9-суретте косинус орамасының тогы мен оның фазасының өлшенетін орын ауыстыруы өзгерген кездегі өзгеру графиктері көрсетілген. Косинус орамасының токтың

бастапқы фазасы 40 және 120 мм шекарадан өлшенген орын ауыстыруды өту кезінде π радианына ауысады.



Сурет 2.9 Өлшенетін қозғалыс өзгерген кезде косинус орамасының тогы мен оның фазасының өзгеру графиктері

Токтардың және олардың бастапқы фазаларының өзгеруінің теңдеулері мен графиктері теңдестірілген электромагниттік түрлендіргіш жүйесіне қатысты. Жалпы жағдайда орамалардың ток теңдеулері күрделі теңдеулермен өрнектеледі, оларды \underline{Z}_S және \underline{Z}_C орамаларының кедергісі теңсіздігінің жағдайынан алуға болады.

Біркелкі орау тогы (2.45) формуламен табуға болады:

Алынған ток өрнектері (2.45, 2.46, 2.47) сенсордың ЭМЖ параметрлерінің АӨЖ қателігіне әсерін талдау үшін қажет.

2.3. Бір фазалы жұмыс режимінде сызықтық қозғалыстардың өлшеу жүйесін түрлендіру функциясы

Өлшеу жүйесінің түрлендіру функциясы шығыс шамасы мен шығыс айнымалысы арасындағы байланысты білдіретін қатынасты қамтиды.

Біздің жағдайда біз шығыс кернеуінің бастапқы фазасының өлшенетін $\varphi(x_{\text{ПМ}})$ қозғалысына тәуелділігі туралы айтып отырмыз.

Өлшеу жүйесінің құрылымдық схемасына сәйкес синус орамасының шығыс кернеуі бастапқы кернеу фазасын $\frac{\pi}{2}$ бұрышына өзгертетін ФВ1 фазалық ауыстырғышына беріледі. $u'_s(t)$ кернеуі косинус орамасының шығыс кернеуімен бірге қосқыштың кірісіне беріледі.

Синус орамасының шығыс кернеуі (2.48) формуламен анықтаймыз:

$$\underline{U}_s = R_{ns} \cdot \underline{I}_s = R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0\text{MP}} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{\text{МП}}\right)}{\Delta} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{МП}}\right) \quad (2.48)$$

ФВ1 фазалық ауыстырғыш шығысындағы кернеу:

$$\begin{aligned} \underline{U}'_s &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0\text{MP}} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{\text{МП}}\right)}{\Delta} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{МП}}\right) \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}} = \\ &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0\text{MP}} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{\text{МП}}\right)}{\Delta} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{МП}}\right) \cdot (-j) \quad (2.49) \end{aligned}$$

Косинус орамасының шығыс кернеуі:

$$\underline{U}_c = R_{nc} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \quad (2.50)$$

R_{ns} және R_{nc} тең болған кезде қосқыштың шығыс кернеуі:

$$\begin{aligned} \underline{U}_\Sigma &= \underline{U}_c + \underline{U}'_s = \\ &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot \left(\cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) + j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)\right) = \\ &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot e^{j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)} = \\ &= \underline{K} \cdot e^{j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)} = K \cdot e^{j\alpha} \cdot e^{j \cdot \varphi} \quad (2.51) \end{aligned}$$

Мұндағы

$\underline{K} = K \cdot e^{j\alpha} = R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta}$ – өлшеу жүйесінің элементтеріне тәуелді коэффициент,

$-\alpha$ – ФВ2 фазалық айналу бұрышы - тірек кернеуін қалыптастырушы. Бұл "нөлді" орнату бұрышы.

$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)}\right) = \left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)$ – қозғалысқа пропорционалды бұрыш.

2.4. Электромагниттік түрлендіргішті екі фазалы кернеу көзінен қуаттандыру кезінде сызықтық орын ауыстыруды өлшеу жүйесін түрлендіру функциясы

Электромагниттік түрлендіргіштің екі фазалы жұмыс режимі біркелкі орамның шығыс кернеуінің бастапқы фазасының өлшенетін қозғалысқа пропорционалды өзгеруін қамтамасыз етеді. Бірақ бұл режимді жүзеге асыру үшін жоғары техникалық сипаттамалары бар дыбыстық жиіліктің екі фазалы кернеу көзі болуы керек. Айнымалы кернеудің екі фа-

залы көздеріне амплитудасы тең және фазалық ығысуы $\left(\frac{\pi}{2}\right)$

радиан бұрышына тең тұрақты жиіліктің екі айнымалы кернеу көздерінің жүйесі жатады. Бүкіл жүйенің өлшеу дәлдігі амплитудалардың теңдігіне және электр қозғаушы күштердің фазалық ығысуының дәлдігіне байланысты.

Екі фазалы жұмыс режимі жағдайында $\underline{E}_r = 0$,
 $\underline{E}_s = E e^{-j90^\circ}$ және $\underline{E}_c = E$.

Екі фазалы жұмыс режимі үшін жалпыланған теңдеулер жүйесін қолдана отырып, біркелкі орам тогының теңдеуін жазуға болады:

$$\underline{I}_r = -\frac{\underline{\Delta}_{21}}{\underline{\Delta}} \cdot \underline{E}_s + \frac{\underline{\Delta}_{31}}{\underline{\Delta}} \cdot \underline{E}_c \quad (2.52)$$

мұндағы $\underline{\Delta}_{21} = j\omega \underline{Z}_c \underline{M}_{rs} - (j\omega)^2 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{sc}$,

$$\underline{\Delta}_{31} = (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}$$

и $\underline{\Delta} = \underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_s (\underline{M}_{rs}^2 - \underline{M}_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc}$

$\underline{E}_s = E e^{-j90^\circ} = -j \cdot E$ и $\underline{E}_c = E$ болғандықтан:

$$\underline{I}_r = E \cdot \frac{j \cdot ((j\omega)^2 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_c \underline{M}_{rs}) + (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}}{\underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_s (\underline{M}_{rs}^2 - \underline{M}_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc}} \quad (2.53)$$

Біркелкі ораманың шығыс кернеуі осы ораманың ток пен R_{rn} жүктеме кедергісінің көбейтіндісіне тең. Дәл осы кернеу шығыс кернеуі мен тірек кернеуінің фазалық ығысуын өлшейтін фазомерге беріледі. Жүйенің негізгі детерминанты жылжымалы магнит өткізгіштің қозғалысына тәуелді емес екендігі бұрын дәлелденген. Сондықтан

$$\begin{aligned} \underline{U}_r &= R_{rn} \cdot E \cdot \frac{j \cdot ((j\omega)^2 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_c \underline{M}_{rs}) + (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}}{\underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_s (\underline{M}_{rs}^2 - \underline{M}_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc}} = \\ &= R_{rn} \cdot E \cdot \frac{j \cdot ((j\omega)^2 \underline{M}_{rc} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_c \underline{M}_{rs}) + (j\omega)^2 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} - j\omega \underline{Z}_s \underline{M}_{rc}}{\Delta} \quad (2.54) \end{aligned}$$

Тендестірілген электромагниттік түрлендіргіш үшін синус пен косинус орамаларының $\underline{Z}_s = \underline{Z}_c$ кедергісінің теңдігі орын алады. (2.54) теңдеуге өзара индукция коэффициенттерінің мәндерін және орамалардың кедергісін алмастыра отырып, біз біркелкі орамның шығыс кернеуінің теңдеуін аламыз:

$$\begin{aligned} \underline{U}_r &= R_{rn} \cdot E \cdot \frac{l_{мп}}{\Delta}, \\ \underline{U}_r &= R_{ns} \cdot E \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0мп} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot e^{j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)} = \end{aligned}$$

$$= \underline{K} \cdot e^{j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right)} = K \cdot e^{j\alpha} \cdot e^{j \cdot \varphi} \quad (2.55)$$

мұндағы $\underline{K} = K \cdot e^{j\alpha} = R_{\text{нс}} \cdot E \cdot \frac{j\omega \cdot \frac{l}{\pi} Y_{\text{опр}} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{\text{мп}}\right)}{\Delta}$ – өлшеу

жүйесінің элементтеріне тәуелді коэффициент;

– α – ФВ2 фазалық айналу бұрышы - тірек кернеуін қалыптастырушы. Бұл «нөлді» орнату бұрышы;

$$\varphi = \arctg \left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right)} \right) = \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) - \text{қозғалысқа пропорци-}$$

оналды бұрыш.

Екі фазалы режимде жұмыс істейтін таратылған параметрлері бар гетерогенді магниттік өткізгіш негізінде фазалық түрлендіргіші бар өлшеу жүйесін түрлендіру функциясының жалпы түрі бір фазалы режимде жұмыс істейтін фазалық түрлендіргіші бар өлшеу жүйесінің түрлендіру функциясынан еш айырмашылығы жоқ.

Өлшеу жүйесіне кіретін кез – келген элементтің негізгі параметрі – шығыс шамасының-кіріс шамасы-орын ауыстыруымен кернеудің фазалық ығысуының тәуелділігін анықтайтын түрлендіру функциясы. Шығыс кернеулері синус және косинус орамаларының жүктеме кедергісі тең болған кезде токтарға пропорционалды екенін ескере отырып, шығыс тогы:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{вых}} &= I_k - jI_c = E_p \frac{j\omega \frac{l}{\pi} y_m W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \left(\cos \frac{2\pi x_{ш}}{l} - j \sin \frac{2\pi x_{ш}}{l} \right)}{(j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_m W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 - Z_{p \text{ общ}} \left(Z_{c \text{ общ}} + j\omega \frac{l}{4\pi} y_m W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)} = \\
 &= E_p \frac{j\omega \frac{l}{\pi} y_m W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l}}{(j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_m W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 - Z_{p \text{ общ}} \left(Z_{c \text{ общ}} + j\omega \frac{l}{4\pi} y_m W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)} e^{-j\varphi},
 \end{aligned} \tag{2.56}$$

$$\text{мұндағы } \varphi = \arctg \left(-\frac{\sin \left(\frac{2\pi x_{ш}}{l} \right)}{\cos \left(\frac{2\pi x_{ш}}{l} \right)} \right) = -\frac{2\pi x_{ш}}{l}.$$

Бөлшек түріндегі мультипликатор \underline{K} коэффициенті арқылы белгіленеді, содан кейін шығыс тоғы:

$$\underline{I}_{\text{вых}} = \underline{K} e^{-j \left(\frac{2\pi x_{ш}}{l} \right)} \tag{2.57}$$

мұндағы

$$\underline{K} = E_p \frac{j\omega \frac{l}{\pi} y_m W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l}}{(j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_m W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 - Z_{p \text{ общ}} \left(Z_{c \text{ общ}} + j\omega \frac{l}{4\pi} y_m W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)}.$$

Анықтамалық кернеуге қатысты шығыс кернеуінің фазалық ығысуы өлшенетін $x_{ш}$ козғалысына тура пропорционал.

Теңгерімсіз ЭМЖ элементтерінің қысқаштарындағы токтар мен кернеулерді есептеу үшін теңдеулерді қарастырыңыз, мұнда шығыс тоғы тең:

$$\begin{aligned}
I_{\text{вых}} = & \frac{-E_p \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \left(Z_{\text{с общ}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right) \cos \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l}}{\left(j\omega \left(Z_{\text{с общ}} - Z_{\text{к общ}} \right) \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \cos \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} - j\omega \left(\frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)^2 \right)^2 -} \\
& Z_{\text{р общ}} - (j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_{\text{м}} W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 \left(Z_{\text{к общ}} \sin^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} + Z_{\text{с общ}} \cos^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} \right) + \\
& + Z_{\text{с общ}} Z_{\text{к общ}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \\
& + \frac{E_p \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} j \left(Z_{\text{с общ}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right) \sin \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l}}{\left(j\omega \left(Z_{\text{с общ}} - Z_{\text{к общ}} \right) \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \cos \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} - j\omega \left(\frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)^2 \right)^2 -} \\
& Z_{\text{р общ}} - (j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_{\text{м}} W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 \left(Z_{\text{к общ}} \sin^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} + Z_{\text{с общ}} \cos^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} \right) + \\
& + Z_{\text{с общ}} Z_{\text{к общ}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l}
\end{aligned} \tag{2.58}$$

Екі фазалы қуат кезінде сенсордың шығыс тоғы біркелкі орау тоғы болып табылады. Датчик орамдарының тепе теңдігі кезінде шығыс тоғы:

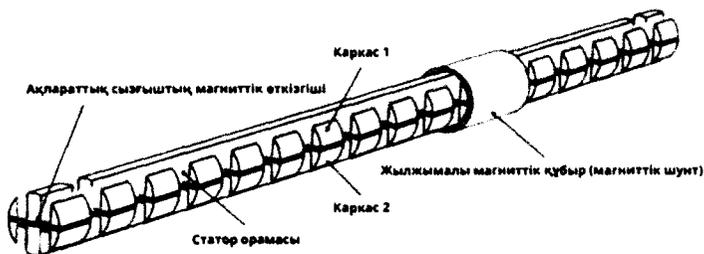
$$I_{\text{Вых}} = \frac{E}{(j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_{\text{м}} W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 - Z_{\text{р общ}} \left(Z_{\text{с общ}} + j\omega \frac{l}{4\pi} y_{\text{м}} W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)} e^{-j\varphi} \tag{2.59}$$

$$\text{мұндағы } \varphi = \text{arctg} \left(-\frac{\sin \left(\frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} \right)}{\cos \left(\frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} \right)} \right) = -\frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l}.$$

Екі фазалы қуаттағы және бір фазалы қуаттағы шығыс ток теңдеулері сәйкес келеді, бұл жұмыс істеу тұрғысынан сенсордың жұмыс режимінде айырмашылықтың жоқтығын көрсетеді. Өлшеу жүйесінің қуат схемасын таңдау сенсордың нақты жұмыс жағдайына және басқа құрылғылардың болуына байланысты. Егер екі фазалы, үш фазалы немесе жалпы жағдайда n фазалы кернеудің көзі болса, сенсорды екі фазалы немесе көп фазалы қуат схемасына сәйкес қосу керек.

Синусоидалы кернеудің бір фазалы көзі болған кезде бір фазалы жұмыс режимін пайдалану керек.

2.10-суретте динамикалық қозғалыстардың ЭМФ АӨБЖ үшін фазалық сызықтық қозғалыс сенсорының негізгі дызайны көрсетілген. ЭМФ жұмысы бөлінген магниттік өткізгіштің гетерогенділігінің орнын өзгерту кезінде орамалардың электромагниттік өзара әрекеттесуінің өзгеруіне негізделген. Гетерогенділікті енгізетін элемент ретінде магниттік шунт қолданылады.



Сурет 2.10 ЭМФ бар сызықтық қозғалыстардың фазалық сенсоры

Ақпараттық сызғыштың толық ұзындығы тістердің санына көбейтілген тістердің бөліну ұзындығына тең. Төменгі және жоғарғы бөліктердің тесіктерінде оралған материал бар, W_p орам саны барлық бөлімдерде бір өлшемді. Статор саңылауларында "синус" және "косинус" орамалары оралған.

"Синус" және "косинус" орамаларының бұрылыстарының саны статор толқынына байланысты және формула бойынша

$$W_{ck} = W_m \sin\left(\frac{2\pi}{n}(k - 0,5)\right), W_{\kappa k} = W_m \sin\left(\frac{2\pi}{n}(k - 0,5)\right) \quad (2.60)$$

мұндағы W_{ck} – k учаскесіндегі синус орамасының бұрылыстарының саны;

W_{kk} – k учаскесіндегі косинус орамасының бұрылыстарының саны;

n – ақпараттық желінің белсенді учаскелерінің саны;

W_m – орам бұрылыстарының максималды саны, бұл ойықтың өлшемдеріне және сымның диаметріне байланысты;

k – белсенді учаскенің нөмірі.

Датчиктің оңтайлы жұмыс режимі бір фазалы режимді қолданған кезде қамтамасыз етіледі, өйткені тек осы жұмыс режимінде ЭМФ кіріс кедергісі тұрақты және ақпараттық сызғышқа қатысты магниттік шунттың жағдайына тәуелді емес, бұдан шығатын токтың ақпараттық сызғышқа қатысты шунттың жағдайына тәуелділігін анықтайтын функция, егер орамалардың тепе-теңдік шарты орындалмаса, (2.61) теңдеу арқылы көрсетіледі

$$L_{\text{вых}} = \frac{E_p \left(Z_{c \text{ обш}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \cos \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} \right) \left(Z_{k \text{ обш}} + j\omega \frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \cos \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} \right)}{\left(j\omega \left(\left(Z_{c \text{ обш}} - Z_{k \text{ обш}} \right) \frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \cos \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} - j\omega \left(\frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)^2 \right) - \right. \\ \left. Z_{p \text{ обш}} \left(- (j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_n W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 \left(Z_{k \text{ обш}} \sin^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} + Z_{c \text{ обш}} \cos^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + Z_{c \text{ обш}} Z_{k \text{ обш}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right. \right. \\ \left. \left. - E_p (j\omega)^2 \left(\frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \sin \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} \right)^2 \right) \right. \\ \left. Z_{p \text{ обш}} \left(j\omega \left(\left(Z_{c \text{ обш}} - Z_{k \text{ обш}} \right) \frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \cos \frac{4\pi x_{\text{ш}}}{l} - j\omega \left(\frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right)^2 \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - (j\omega)^2 \left(\frac{l}{\pi} y_n W_p W_m \sin \frac{\pi g}{l} \right)^2 \left(Z_{k \text{ обш}} \sin^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} + Z_{c \text{ обш}} \cos^2 \frac{2\pi x_{\text{ш}}}{l} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + Z_{c \text{ обш}} Z_{k \text{ обш}} - j\omega \frac{l}{4\pi} y_n W_m^2 \sin \frac{2\pi g}{l} \right) \right) \quad (2.61)$$

Осылайша, жоғарыда келтірілген аналитикалық өрнектерге сүйене отырып, өлшеу жүйесінің түрлендіру функциясы түзетіліп, АӨБЖ өлшемдерінің жүйелік қателіктерін 4% - ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді.

Әрі қарай, екінші тарауда таратылған параметрлері бар біртекті емес магниттік өткізгіш негізінде электромагниттік

түрлендіргіші бар өлшеу жүйесінің жұмысына талдау жасалды. Бір фазалы және екі фазалы режимде жұмыс істейтін электромагниттік түрлендіргіші бар өлшеу жүйесін түрлендіру функциясы алынды. Өлшеу жүйесінің жұмысын сипаттайтын теңдеулер орамалардың параметрлерін және өлшеу сызғышының ұзындығы бойынша нақты магниттік өткізгіштіктерді біркелкі бөлу шарттарынан алынған. Мұндай зерттеулердің нәтижелері бақылау және басқару құрылғыларын жобалаудың жалпы мәселелерінде қолданылады. Алайда, өлшеу жүйелерін жобалау кезінде негізгі проблема-берілген жүйелік қателігі бар жүйенің бірінші сатысында алу мәселесі.

Түрлендіру функциясы көптеген факторлардың қателігіне әсерін ескеруге мүмкіндік бермейді. Бұл негізінен параметрлерді бөлудің дискреттілігін ескеру туралы. Шындығында, бір тісті бөлу шегіндегі бұрылыстар саны тұрақты шама болып табылады. Магнит өткізгіштің меншікті магниттік өткізгіштігі өлшеу сызғышының белгілі бір сегментінде өзгермейді. Бұл сегменттің ұзындығы бір тісті бөлудің ұзындығына тең.

Егер біз түрлендіргіштің электромагниттік жүйесін теңдеулермен сипаттайтын болсақ, онда біз жеке теңдеулерді аламыз, олардың құрамдас бөліктері бір учаскеде өзгеріссіз қалады. Параметрлерді бөлудің дискреттілігін ескере отырып, есептеу көлемі үлкен болады. Құрылған позициядан шығудың жалғыз мүмкіндігі-компьютерлік технологияларды қолдану, яғни таратылған параметрлері бар гетерогенді магниттік құбыр негізінде сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің компьютерлік моделін жасау және пайдалану.

2.5. Таратылған параметрлері бар біртекті емес магниттік өткізгіш негізінде сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің алгоритмін әзірлеудің математикалық негізі

Өлшеу жүйесінің имитациялық компьютерлік моделін әртүрлі бағдарламалау орталарында жүзеге асыруға болады.

Электромагниттік және электронды құрылғылардың модельдерін әзірлеу және талдау үшін қуатты графикалық және жан-жақты бейнелеу құралдары бар MatLab бағдарламалау ортасы жақсы. MatLab-бұл компьютерлік математиканың жақсы тексерілген және сенімді мамандандырылған жүйесі. Бұл орта әмбебап матрицалық формада мәліметтерді ұсына отырып, математикалық есептердің кең ауқымын шешуге арналған.

MatLab бағдарламалау ортасы зерттеудің негізгі мақсатын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Зерттеу электромагниттік сызықтық қозғалыс түрлендіргішінің құрылымдық параметрлерінің шығыс кернеуінің фазасының өзгеруіне әсерін талдауға бағытталған. Біз өлшеу түрлендіргіші туралы айтып отырмыз, оның негізгі сипаттамасы қозғалысты бейнелеу дәлдігі болып табылады, өлшеу қателігінің әртүрлі факторлардың әсеріне тәуелділігі ерекше қызығушылық тудырады.

Өлшеу жүйесінің ерекшелігі - өлшеу дәлдігіне әсер ететін факторлар математикалық модель арқылы әсерін жоққа шығаруға болатын факторларға және өлшеу жүйесін математикалық модельдеу кезінде де әсерін жоққа шығаруға болмайтын факторларға бөлінеді. Құрылған позициядан шығу үшін келесі құрылымы бар математикалық модель жасалды. Әзірленген модельдеу моделі келесі жағдайларда өлшеу жүйесіндегі физикалық процестерді модельдейтін екі блоктан тұрады.

Математикалық тұрғыдан алғанда, бұл блоктар құрылымы бойынша мүлдем бірдей. Бірақ бірінші блокты есептеудің нәтижесі Өлшеудің абсолютті қателігінің жойылмайтын әсер етуші факторларды ескере отырып, орын ауыстыруға тәуелділігі болып табылады. Екінші блоктың көмегімен біз қосымша әсер етуші фактордың әсерін қоса отырып, абсолютті қателіктің өлшенетін қозғалысқа тәуелділігін аламыз. Өлшеу жүйесінің абсолютті қателігінің қосымша әсер етуші факторға тәуелділігі бірінші және екінші блоктың абсолютті қателіктерінің айырмашылығымен анықталады.

Бөлінген параметрлері бар электромагниттік түрлендіргіш негізінде құрастырылған өлшеу жүйесінің қателігін талдау үшін авторлар бағдарлама жасады. Бұл

бағдарлама MatLab бағдарламалау ортасының көмегімен m-файл ретінде інішмделген өлшеу жүйесінің математикалық моделі болып табылады. Бағдарламалар тізімі А қосымшасында, ал қысқартылған бағдарлама алгоритмі 2.11 және 2.12-суреттерде көрсетілген.

Алгоритм келесі блоктардан тұрады:

3. Басталуы.
4. Қуат көзінің параметрлерін және Құрылымдық материалдардың қасиеттерін енгізу.
5. Электромагниттік түрлендіргіштің геометриялық өлшемдерін енгізу.
6. (16) Өлшеу түрлендіргіші орамаларының бұрылыстарының санын есептеу.
7. (17) Электромагниттік түрлендіргіштің тістері мен ойықтарының шекараларын есептеу.
8. (18) Өлшенетін қозғалыс өзгерген кезде Шығыс кернеулерінің бастапқы фазаларын есептеу циклінің басталуы.
9. (19) Өлшенетін қозғалысқа тәуелсіз электромагниттік түрлендіргіштің электрлік параметрлерін есептеу.
10. (20) Өлшенетін орын ауыстырудың әртүрлі мәндерінде электромагниттік түрлендіргіштің электрлік параметрлерін есептеу циклінің басталуы.
11. (21) Өлшенетін қозғалыстың әртүрлі мәндері үшін электромагниттік түрлендіргіштің электрлік параметрлерін есептеу.
12. (22) Шығыс кернеуінің бастапқы фазасының өлшенетін қозғалысқа тәуелділігін есептеу.
13. (23) Өлшенетін орын ауыстырудың әртүрлі мәндеріндегі электромагниттік түрлендіргіштің электрлік параметрлерін есептеу циклінің соңы.
14. (24) Есептеу нәтижелерін өңдеу және шығыс кернеуінің фазасының өлшенетін қозғалысқа тәуелділігін анықтау.
15. (25) Өлшенетін қозғалыс өзгерген кезде Шығыс кернеулерінің бастапқы фазаларын есептеу циклінің соңы.

16. (26) Нақты электромагниттік түрлендіргіші бар жүйенің абсолютті өлшеу қателігін есептеу.

17. Сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесіне әсер етуші фактордың параметрлерін енгізу.

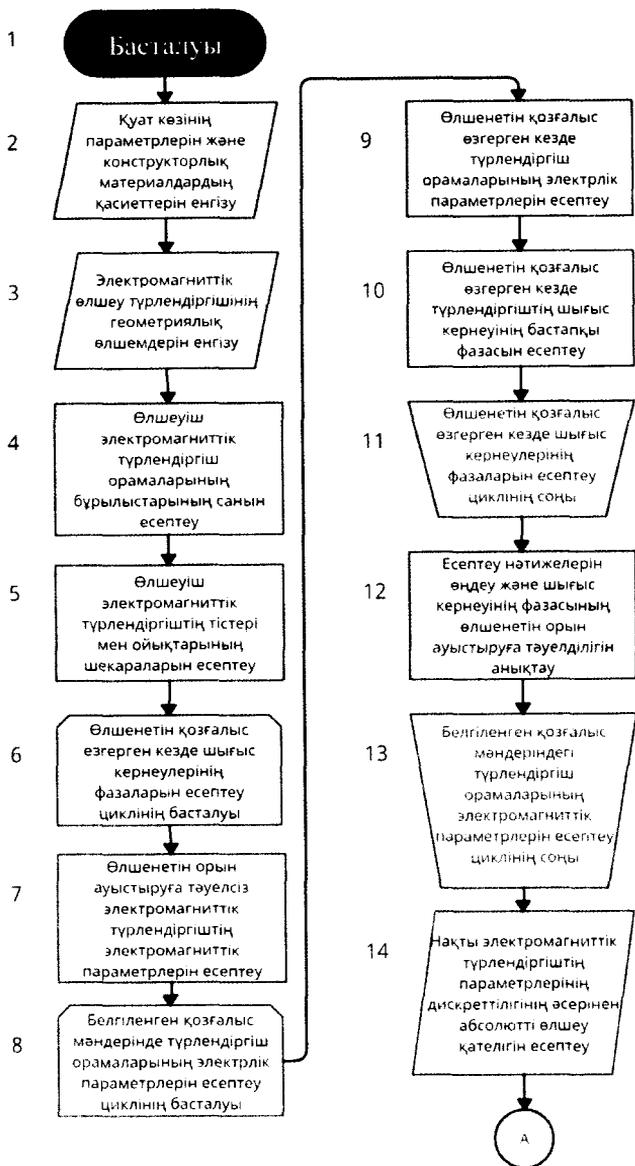
18. Жүйеге әсер ететін бір фактор әсер еткенде абсолютті қатені есептеу.

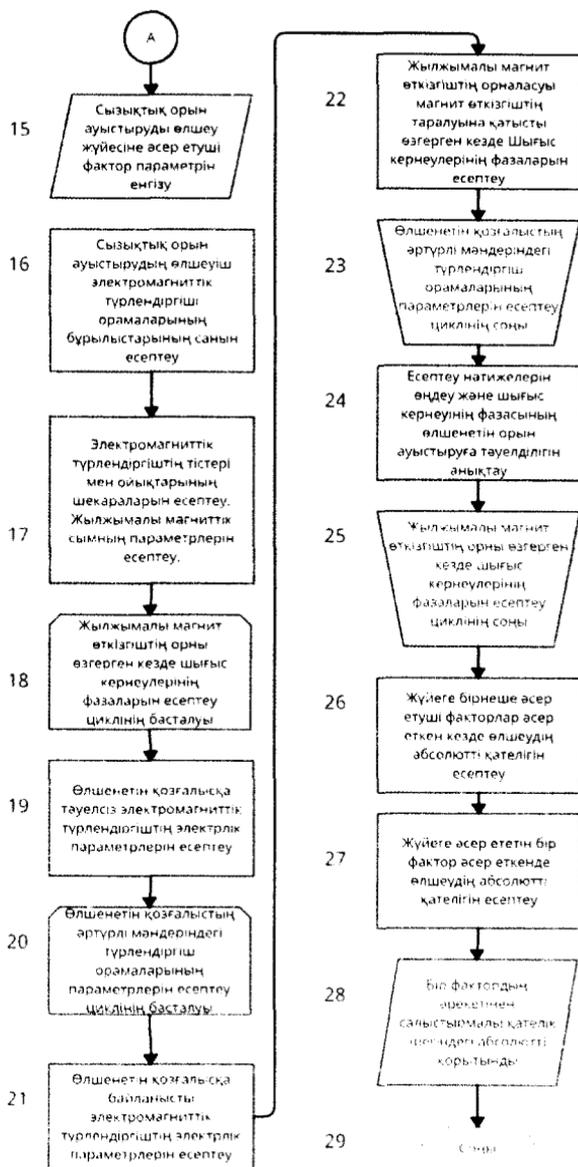
19. Бір әсер етуші фактордың әсерінен абсолютті және салыстырмалы қателік туралы қорытынды.

20. Соңы.

Жоғарыда математикалық модель іс жүзінде бірдей есептеулерді жүзеге асыратын екі бөліктен тұратындығы көрсетілген. Бірінші бөлімнің міндеті – «идеалдандырылған» жүйенің параметрлерін есептеу. Екінші бөлімнің міндеті-әсер етуші фактордың әсерін ескере отырып, абсолютті қатені есептеу. Сондықтан бірінші блок нөмірлерінің жанында математикалық модельдің екінші бөлігінің блок нөмірлері орналасқан.

Бұл алгоритм есептеу нәтижелерін өңдеу блоктарында түзетілген түрлендіру функциясын қолдану және АӨЖ көрсеткіштерінің өлшенетін орын ауыстыруға тәуелділігі анықтау арқылы жақсартылды. Алгоритм 2.10-суретте көрсетілген, оны әзірлеу үшін қуатты графикалық және кешенді визуализация құралдары бар MatLab бағдарламалық ортасы пайдаланылды. Жұмыс істеу алгоритмін жақсарту сонымен қатар ақпараттық сызғыштың тістерінің дискреттілігінің әсерінен абсолютті қатені есептеу блогын енгізуден тұрады (2.11-сурет).





Сурет 2.11 Сызықтық орын ауыстырулар АӨЖ жұмыс істеуінің стандартты алгоритмі

Алгоритмді жақсарту келесідей. Алгоритмге ақпараттық сызғыштың дискреттілігінің әсерінен абсолютті қатені есептеу және шунттың қозғалысынан АӨБЖ өлшеу блоктары енгізілген. Шығыс тогының фазасының шунттың қозғалысына тәуелділігімен ұсынылған шығыс сигналын өңдеу "нөлді" орнатуды ескере отырып жүргізіледі. Сызықтық тәуелділік идеалды сипаттама ретінде қабылданады.

Түрлендіру функциясының тендеуіне сәйкес АӨБЖ шығыс тогының фазасы шунттың қозғалу мәніне пропорционал. x шунтының қозғалысының дискретті өзгеруі бірқатар φ мәндерді береді. Абсолютті қатені есептегеннен кейін ииус абсолютті қателігінің шунттың қозғалысына тәуелділігі құрылады, дисперсия, орташа квадраттық ауытқу және келтірілген негізгі қателік анықталады. Берілген АӨБЖ қателігі өлшеу диапазонына жатқызылған орташа квадраттық ауытқумен анықталады (бұл жағдайда бұл ақпараттық сызғыштың ұзындығына тең шунттың бір толық қозғалысы). Осылайша, сызықтық қозғалыстардың ииус жұмыс істеуінің жақсартылған алгоритмі өңдеу блоктарының алгоритміне қосымша енгізу және өлшеу сызғышының дискреттілігінің әсерінен абсолютті қатені есептеу арқылы көп өлшемді ортогональды кеңістіктің осьтері бойынша өлшеулердің жүйелік қателіктерін 1,5 есе дәл бағалауға мүмкіндік береді.

түріндегі өлшеу жүйесінің математикалық моделі болып табылатын бағдарлама жасады. Ал 2.11 және 2.12 суреттерде бағдарламаның қысқартылған алгоритмі ұсынылған.

2.6. Электромагниттік түрлендіргіштің геометриялық өлшемдерін, материал параметрлерін және алдын ала есептеулерді енгізу

Сызықтық қозғалыс түрлендіргішінің электромагниттік күйін есептеу үшін оның геометриялық сипаттамаларын білу қажет. Оларға мыналар жатады:

- магниттік сым түріндегі ақпараттық сызғыштың тістерінің саны

- бөлінген параметрлермен;

- ақпараттық сызғыштың биіктігі;

- магниттік шунттың биіктігі;

- ауа саңылауының ұзындығы;

- көлденең қимадағы магнит өткізгіштің ортаңғы сызығының ұзындығы;

- тістің ені;

- шекті өлшенетін орын ауыстыру;

- жылжымалы магниттік өткізгіштің геометриялық өлшемдері;

- көлденең қимадағы магнит өткізгіштің ортаңғы сызығының ұзындығы [106].

Түрлендіргіштің электрлік параметрлерін есептеу үшін мынаны енгізу керек:

- синус және косинус орамаларының максималды саны;

- біркелкі бөлінген ораманың бұрылыстарының саны;

- вакуумның және магниттік материалдың магниттік өткізгіштігі,

- сымның диаметрі және сым материалының меншікті электр өткізгіштігі.

Бағдарлама алгоритмінде біз бірінші-бесінші блоктар туралы айтып отырмыз.

Өлшеу жүйесін одан әрі талдау үшін осы кезеңде сызғыштың әр тісіндегі орамалардың бұрылыстарының саны есептеледі. Сонымен қатар, ақпараттық сызғыштың тістері мен ойықтарының шекаралары анықталады.

2.7 Компьютерлік модельді қолдана отырып, электромагниттік түрлендіргішпен сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің электрлік күйін талдау

Бүкіл өлшеу жүйесінің электрлік күйі электромагниттік түрлендіргіште болатын электромагниттік процестермен анықталады. Түрлендіргіш орамдарының токтары өлшеу жүйесінің қуат көзінің сипаттамаларына және электромагниттік түрлендіргіштің электрлік параметрлеріне байланысты. Орамалардың резистивті кедергісі, жүктеме кедергісі өлшенетін қозғалысқа тәуелді емес. Индуктивті кедергілер мен орамалардың өзара индуктивтілігінің кедергісі толығымен ақпараттық сызғыштағы жылжымалы магнит өткізгіштің орналасуына байланысты. Осыдан жылжымалы магнит өткізгіштің әр позициясы үшін осы параметрлерді есептеу қажеттілігі туындайды. Бұл орамалар мен орамалардың токтарының параметрлерін есептеу циклін ұйымдастыру қажеттілігіне әкелді. Бұл цикл бағдарлама алгоритмінде 6-11 блоктармен ұсынылған [107].

Бөлінген параметрлері бар магниттік тізбектерді талдау теориясында орамалардың меншікті және өзара индуктивтілігі меншікті индуктивтілік пен өзара индуктивтілік тендеулерін біріктіру арқылы есептеледі. Меншікті индуктивтілік тендеулері-бұрылыстар санының қарастырылып отырған нүктенің ординатасына тәуелділігінің квадратына меншікті магниттік өткізгіштіктердің көбейтіндісі. Меншікті өзара индуктивтілік тендеулері орамалардың бұрылыстары санының қарастырылып отырған нүктенің ординатасына тәуелділігінің көбейтіндісіне меншікті магниттік өткізгіштіктің көбейтіндісі болып табылады. Бұрын айтылғандай, электромагниттік түрлендіргіштің нақты дизайнында оның параметрлері дискретті

түрде бөлінеді. Бұл жағдайда интеграция операциясы жиынтықпен ауыстырылады. Сондықтан жылжымалы магниттік өткізгіштің әр позициясы үшін орамалардың индуктивті сипаттамаларын есептеу белгілі бір өткізгіштіктердің көбейтіндісін тиісті бұрылыстар санының квадратына немесе олардың көбейтіндісіне дәйекті түрде қосу арқылы жүзеге асырылады. Сондықтан индуктивтілікті есептеудің бұл операциясы алгоритмде 8-11 блоктардан тұратын кіріктірілген циклмен ұсынылған.

Сыртқы циклдің соңғы кезеңінде электромагниттік түрлендіргіштің есептелген параметрлерін қолдана отырып, теңдеу матрицаларының элементтері есептеледі және өлшенген қозғалыстың әр шамасы үшін орамалардың токтары есептеледі. Бұл жұмыста бір фазалы режимде жұмыс істейтін электромагниттік түрлендіргіші бар сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесін зерттеу нәтижелері келтірілген.

2.8. Орамалардың токтарын есептеу нәтижелерін талдау. Электромагниттік түрлендіргіштің электрлік күйі

Тендеулер жүйесінің шешімі

$$\begin{cases} \underline{I}_r(R_r + R'_r + j\omega\underline{L}_r) + j\omega\underline{I}_s\underline{M}_{rs} + j\omega\underline{I}_c\underline{M}_{rc} = \underline{E}_r, \\ j\omega\underline{I}_r\underline{M}_{rs} + \underline{I}_s(R_s + R'_s + j\omega\underline{L}_s) + j\omega\underline{I}_c\underline{M}_{sc} = 0 \\ j\omega\underline{I}_r\underline{M}_{rc} + j\omega\underline{I}_s\underline{M}_{sc} + \underline{I}_c(R_c + R'_c + j\omega\underline{L}_c) = 0. \end{cases} \quad (2.62)$$

электромагниттік фазалық айналмалы орамалардың ток мәндері болып табылады.

Сызықтық орын ауыстыруды өлшеу түрлендіргішінің қателіктерін талдау бағдарламасы MatLab бағдарламалау ортасында құрастырылған. Бұл матрицалық бағдарламалау ортасы. Өлшеу жүйесінің электрлік күйін сипаттайтын тендеулер жүйесін матрицалық түрде ұсынуға болады

$$|\underline{Z}| \cdot |\underline{I}| = |\underline{E}| \quad (2.63)$$

(2.63) теңдеу орамалардың ток мәндерін алуға мүмкіндік береді:

$$|\underline{I}| = \frac{|\underline{E}|}{|\underline{Z}|} \quad (2.64)$$

мұндағы $|\underline{I}| = \begin{vmatrix} I_r \\ I_s \\ I_c \end{vmatrix}$, $|\underline{E}| = \begin{vmatrix} E_r \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$ және $|\underline{Z}| = \begin{vmatrix} \underline{Z}_r & \underline{Z}_{rs} & \underline{Z}_{rc} \\ \underline{Z}_{rs} & \underline{Z}_s & \underline{Z}_{sc} \\ \underline{Z}_{rc} & \underline{Z}_{sc} & \underline{Z}_c \end{vmatrix}$,

$$\underline{Z}_r = (R_r + R'_r + j\omega L_r), \quad \underline{Z}_s = (R_s + R'_s + j\omega L_s) \\ \text{және } \underline{Z}_c = (R_c + R'_c + j\omega L_c)$$

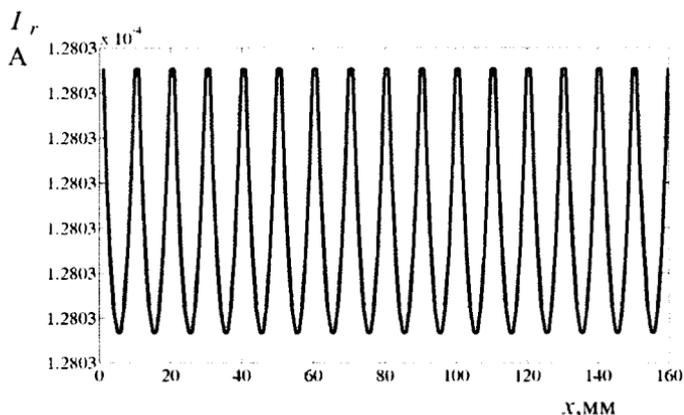
$$\underline{Z}_{rs} = j\omega \underline{M}_{rs}, \quad \underline{Z}_{rc} = j\omega \underline{M}_{rc}, \quad \underline{Z}_{sc} = j\omega \underline{M}_{sc} \quad (2.65)$$

Электромагниттік түрлендіргіш бір фазалы режимде жұмыс істеген жағдайда теңдестірілген идеалдандырылған электромагниттік түрлендіргіштің біркелкі орамасының тогы (2.66) формула бойынша есептеледі:

$$I_r = E_r \frac{\underline{Z}_s \underline{Z}_c - (j\omega)^2 \underline{M}_{sc}^2}{\underline{Z}_r \underline{Z}_s^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_r \underline{M}_{sc}^2 - (j\omega)^2 \underline{Z}_s (\underline{M}_{rs}^2 - \underline{M}_{rc}^2) + 2(j\omega)^3 \underline{M}_{rs} \underline{M}_{sc} \underline{M}_{rc}}, \\ I_r = E_r \frac{1}{\underline{Z}_r - \frac{p^2 \underline{M}_{rs}^2}{\underline{Z}_s + p \underline{L}_{sm}}} \quad (2.66)$$

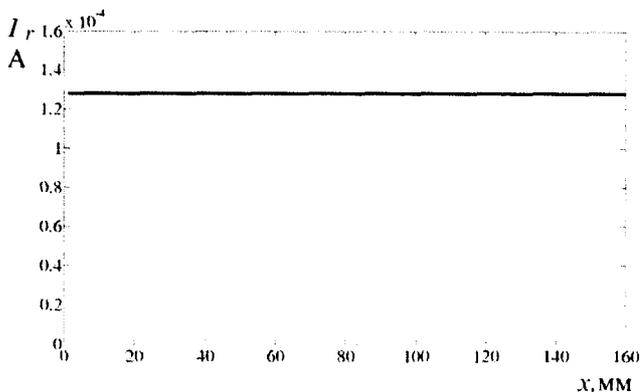
Ток модулінің және оның аргументінің графиктері келесі тарауда келтірілген.

Компьютерлік модельдің көмегімен электромагниттік түрлендіргіштің нақты дизайнының біркелкі орамасының ток тәуелділіктері алынады. 2.12-суретте бағдарлама автоматты түрде тігінен масштабтауды таңдаған біркелкі ораманың ток Модулінің графигі көрсетілген. Графикте электромагниттік түрлендіргіш дизайнының дискреттілігінің әсері байқалады. Айта кету керек, орташа мәннен ауытқулар орташа токтың он мыңнан бір бөлігін құрайды. Біркелкі орам тогының қозғалысқа бірдей тәуелділігінің графигі басқа масштабта ол 2.13-суретте көрсетілген.



Сурет 2.13 Біркелкі орам тогының қозғалысқа тәуелділігі

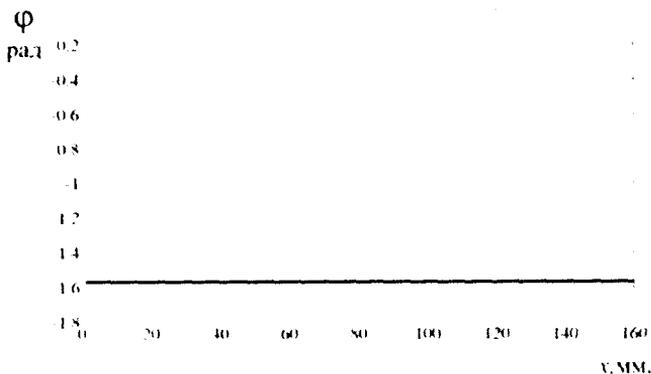
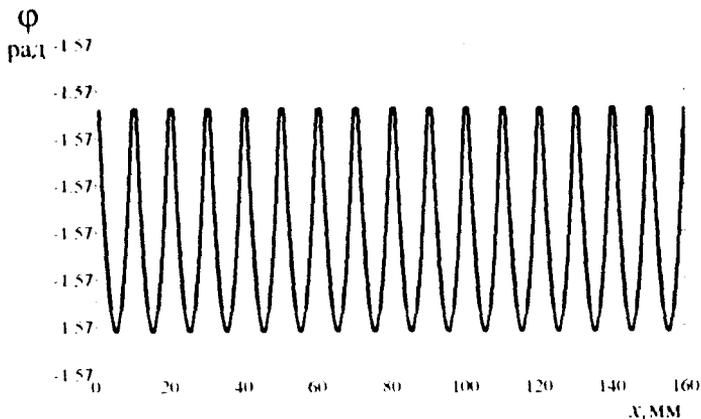
Егер 2.13-суретте электромагниттік түрлендіргіш параметрлерінің дискреттілігінің әсері айқын болса, онда 2.14-графикте бұл әсер айқын емес. Бұл біркелкі орам тогының абсолютті мәніне әсер етпейтіндігімен түсіндіріледі, бірақ төменде көрсетілгендей, бұл қозғалысты өлшеу жүйесінің кателігіне әсер етеді.



Сурет 2.14 Электромагниттік түрлендіргіш параметрлерінің дискреттілігінің әсері

Бұрын алынған формулалар бойынша ток күшін есептеу нәтижелерін модельдеу арқылы алынған ток мәндерінің нәтижелерімен салыстыру осы мәндердің айырмашылығы шамалы деп айтуға негіз береді.

2.15-суретте біркелкі ораманың бастапқы фазасының компьютерлік модель арқылы алынған өлшенетін қозғалысқа тәуелділігі көрсетілген. Алдыңғы жағдайдағыдай, график электромагниттік түрлендіргіш дизайнының дискреттілігінің біркелкі ораманың бастапқы ток фазасының мәніне әсерін көрсетеді; 1,57 радиан периодтың төрттен біріне сәйкес келеді. Бұл біркелкі ораманың тогы осы ораманың ЭҚК-нен тоқсан кезеңге артта қалғанын көрсетеді. Осылайша, біркелкі ораманың кіріс кедергісі іс жүзінде индуктивті болып табылады. Мұндай қорытынды қуат генераторының сипаттамаларына қойылатын талаптарды қалыптастыруға мүмкіндік береді. Модельдеу арқылы және бұрын алынған формулалар бойынша есептеу арқылы алынған біркелкі ораманың бастапқы фазалық ток мәндері іс жүзінде сәйкес келеді.



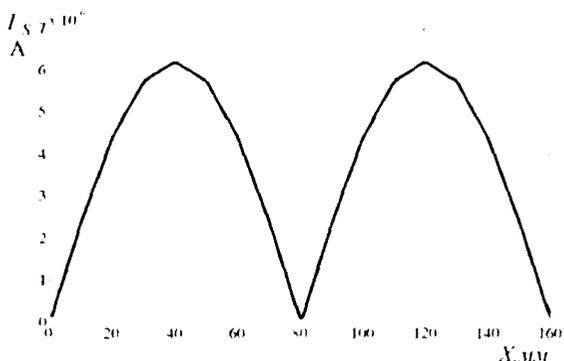
Сурет 2.15 Біркелкі орам тогының бастапқы фазасының өлшенетін қозғалысқа тәуелділігі

Бұрын бір фазалы режимде жұмыс істейтін идеалдандырылған теңдестірілген түрлендіргіштің синус орамасының тогын есептеу формуласы алынған:

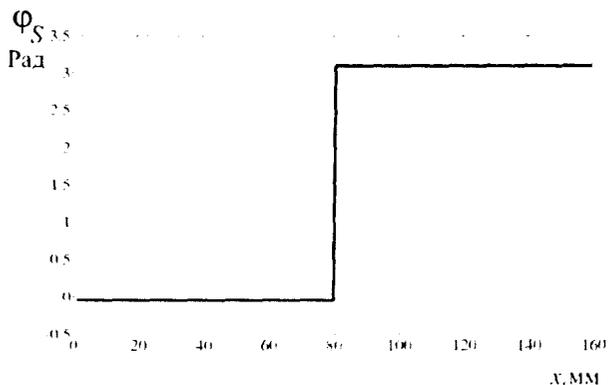
$$\underline{I}_s = \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} \underline{Y}_{0\text{MP}} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{\text{МП}}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{МП}}\right) \quad (2.67)$$

2.16-суретте компьютерлік модель арқылы алынған электромагниттік түрлендіргіштің синус орамасының тогына ұқсас тәуелділік көрсетілген. График-сынған сызық. Себебі электромагниттік жүйенің нақты моделі идеалды электромагниттік түрлендіргіштен ерекшеленеді.

2.17-суретте синус орамасының бастапқы фазасының қозғалысқа тәуелділігі көрсетілген. Графиктің спазмодикалық формасы 80 мм мәні арқылы өлшенетін орын ауыстыру кезінде ток фазасының π радианына өзгеруін көрсетеді.



Сурет 2.16 Электромагниттік түрлендіргіштің синус орамасының токқа тәуелділігі



Сурет 2.17 Синус орамасының тогының бастапқы фазасының қозғалысқа тәуелділігі

Физикалық тұрғыдан алғанда, бұл токтың амплитудалық мәні нөлден өтетіндігімен түсіндіріледі. Ауысу сәтіндегі жылжымалы магнит құбырының ортасы ақпараттық сызғыштың басынан 80 мм қашықтықта орналасқан.

Электромагниттік өлшеу жүйесінің теориясына сәйкес электромагниттік түрлендіргіштің косинус орамасының тогы келесі формула бойынша өлшенетін орын ауыстыру функциясында өзгереді:

$$I_c = E_r \cdot \frac{j\omega - Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \quad (2.68)$$

Нақты электромагниттік фазалық түрлендіргіштің косинус орамасының ток модулі косинуска жақын заң бойынша өлшенетін қозғалыс функциясында өзгереді. Синус орамасының тогының қозғалысқа тәуелділігі графигіндегі сияқты, нақты электромагниттік түрлендіргіштің параметрлерінің дискреттілігінің әсерін түсіруге болады.

Компьютерлік модельдің мақсаты-өлшеу жүйесінің электрлік күйін талдау мүмкіндігі ғана емес, сонымен қатар осы жүйенің өлшеу қателігін талдау мүмкіндігі. Өлшеу жүйесінің компьютерлік моделін пайдалану абсолютті өлшеу қателіктерінің негізгі көздері мен себептерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл метрологиялық қасиеттері бар өлшеу жүйесін үлкен материалдық шығындарсыз жобалауға мүмкіндік беретін құрал.

2-тарау бойынша қорытындылар

1. Негізгі электромагниттік жүйенің орамаларының электрлік параметрлері магниттік желі бойымен нақты параметрлердің таралу Заңын біріктіру арқылы анықталады.

2. Орамалардың электрлік параметрлері жылжымалы магниттік құбыр түрінде гетерогенділіктің қозғалысы кезінде айтарлықтай өзгерістерге ұшырайды.

3. Өлшеу жүйесінің түрлендіру функциясы электромагниттік түрлендіргіштің жұмыс режиміне тәуелді емес.

4. Сызықтық қозғалыстардың фазаның өзгеруіне электромагниттік өлшеу түрлендіргіші бар өлшеу жүйесінің қателіктерін талдаудың дәстүрлі әдістерін қолдану қателіктің пайда болу себептерін және әр фактордың өлшеу қателігіне әсер ету дәрежесін анықтауға мүмкіндік бермейді.

5. Сызықтық қозғалыстарды өлшеу жүйесінің дұрыс дамыған компьютерлік моделі өлшеу жүйесінің жұмысына жалпы талдау жасап қана қоймай, сонымен қатар жүйенің жүйелік қателігіне әр құрылымдық элементтің қасиеттерінің әсер ету дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді.

6. Электромагниттік түрлендіргіш-фазалық түрлендіргіш негізінде өлшеу жүйесінің жұмыс істеу алгоритмі жобалау кезеңінде өлшеу жүйесінің метрологиялық сипаттамаларын алдын-ала бағалауға, жүйенің жүйелік қателігінің электромагниттік түрлендіргіштің әртүрлі құрылымдық параметрлеріне және жүйенің басқа элементтерінің параметрлеріне тәуелділігін талдауға мүмкіндік береді.

3 СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫҢ АӨЖ ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

2-тарауда сызықтық қозғалыс датчигінің бір фазалы жұмыс режимі кезінде АӨЖ әзірленген сызықтық қозғалыстардың құрылымдық схемасы келтірілген. Осы жұмыс режимінің негізінде сызықтық қозғалыстардың АӨЖ жұмысын модельдеу жүргізілді.

АӨЖ жұмысын модельдеу міндеті 2-тарауда анықталған сызықтық қозғалыстардың АӨЖ түрлендіру функциясы көптеген құрылымдық параметрлердің тәуелділігі болып табылады. Бірқатар жұмыстарда қарастырылған түрлендіру функциясын талдау әдісі [20, 24, 27, 40], АӨЖ қателігіне белгілі бір фактордың әсер ету дәрежесін анықтауда оң нәтиже береді. АӨЖ элементтерінің параметрлері айтарлықтай шектерде өзгеруі мүмкін болғандықтан, әсер етуші факторға байланысты нақты АӨЖ қателігінің аналитикалық көрінісін алу мүмкін емес.

Сондықтан, АӨЖ жұмысын талдау қазіргі заманғы ақпараттық технологиялар (IT) құралдарын қолдана отырып, физикалық модельдеуді бағдарламалық құралдардың көмегімен жүзеге асырылатын модельдеуге ауыстырады.

3.1 Сызықтық қозғалыстардың АӨЖ имитациялық моделі

Сызықтық қозғалыстардың имитациялық моделін жүзеге асыру үшін қуатты графикалық және кешенді визуализация құралдары бар MatLab бағдарламалық ортасы қолданылды. MatLab-бұл әмбебап матрицалық формада мәліметтерді ұсына отырып, математикалық есептердің кең ауқымын шешуге арналған компьютерлік математиканың жақсы тексерілген және сенімді мамандандырылған жүйесі.

АӨЖ-нің имитациялық моделін құрастыруының басты мақсаты – физикалық процесстерді анықтау, АӨЖ-ің шығыс деректерін алу, жүйенің конструктивті және басқа да параметрлерге тәуелдік қателіктерін анықтау болып табылады.

Автор R2007b нұсқасындағы MatLab ортасында программалық m-құжаты құрастырылған болатын (сурет 3.1). Құрылған имитациялық модель АӨЖ-нің электрлік және метрологиялық қасиеттерін талдауға мүмкіндік береді. Ол салыстырмалы қателікке әсер етуші датчик құрылымының ерекшеліктерін ескереді. Сызықты қозғалыстың АӨЖ имитациялық моделінің блок-схемасы 3.1 суретте бейнеленген.

Имитациялық модельдің әр блогының құрылымын тереңірек қарастырайық. Программалық m-құжаттың мәтіндік түсіндірулері 1 қосымшада келтірілген.

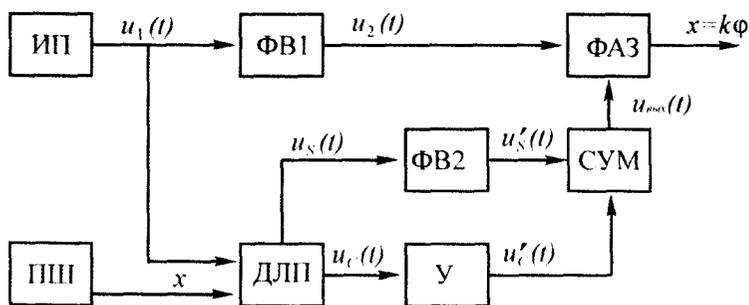
Имитациялық модель бір-біріне құрамы жағынан ұқсас екі (1 және 2) бөліктен тұрады. Бұл АӨЖ элементі болып табылатын сызықты қозғалыстың датчигі АӨЖ қателігін есептеу кезіндегі әсер етуші фактор ретінде алып тастауға болмайтынымен түсіндіріледі. Бұндай фактор ретінде ақпараттық сызықтың тістерінің санының дискреттілігі болып табылады.

Бұл мәселені шешуде келесі әдіс табылды. Имитациялық модельдің алғашқы кезеңінде ақпараттық сызық тістерінің шешуші санының әсер етуші АӨЖ-нің абсолютті қателігіне тәуелділігі есептеледі. Ал екінші кезеңінде алдымен жүйеге бір мезетте әсер ететін әр түрлі екі фактордың абсолютті қателік анықталады. АӨЖ абсолютті қателігінің екінші факторға тәуелділігі абсолютті қателіктердің айырмасы арқылы анықталады.

3.2 СЫЗЫҚТЫ ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ АӨЖ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СХЕМАСЫ

Сызықты қозғалыстың АӨЖ-де магнитті өріс датчигін құру үшін 2 түрлі қуат көзін орнату мүмкіндігі бар. Бір фазалы нұсқада бірфазалық қуат көзі қолданылады, соған орай датчиктің магнит көзі пульсацияланған болып келеді. Екі фазалық кезеңде қозғалатын магнит өрісін құру үшін екіфазалық немесе үшфазалық қуат көзі қолданылады. Бірфазалық генератормен жабдықталған біркелкі ормадан тұратын сызықты қозғалыстың ақпараттық-өлшемелі жүйесі ең ұтымды қасиеттерге ие болып табылады.

Сызықты қозғалыс датчигінің бірфазалық қуат жүйесінде жұмыс жасау кезіндегі сызықты қозғалыстың АӨЖ құрылымдық схемасы 3.2 суретте көрсетілген.



Сурет 3.2 АӨЖ құрылымдық схемасы

Бұл орайда АӨЖ мыналардан тұрады: бірфазалық қуат көзі ИП, ДЛП сызықты қозғалысының фазалық датчигі, ФВ1 анықтамалық кернеуінің фазауыстырғышы, ФВ2 синустық кернеуінің фазауыстырғышы, У күшейткіші, СУМ кернеу сумматоры, Ф фазометрі.

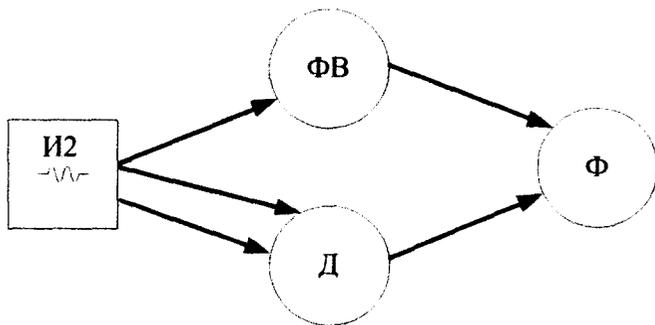
ДЛП датчигінің орамасына біркелкі кернеу беру үшін ИП қуат көзі қолданылады. Кіріс мәні ретінде датчиктің магнитті шунтімен тығыз байланысқан ПШ объектісінің өлшемі болып табылады. $u_c(t)$ косинустік ораманың кернеуі У

күшейткішінің кірісіне беріледі. Күшейткіштің шығысында $u_c(t)$ кернеуіне пропорционал $u'_c(t)$ кернеуін аламыз. $u_z(t)$ синустық ораманың кернеуі ФВ2 фаза ауыстырғышының кірісіне беріледі. Кейін фаза ауыстырғыш синустық ораманың фазалық кернеуін 90 градусқа өзгертеді. Нәтижесінде, шығыс мәндерде $u'_s(t)$ кернеуіне пропорционал және 90 градусқа өзгерген $u'_z(t)$ кернеу мәнін аламыз. Алынған $u'_c(t)$ және $u'_z(t)$ мәндері сумматордың кіріс мәніне беріледі, ал шығыс кернеу мәні идеалды тұрғыда тұрақты тербеліс амплитудасына ие болады. Сумматор шығыс кернеуінің бастапқы фазасы шунт қозғалысына пропорционал болып келеді. Φ фазометрі сумматор шығыс кернеуінің $u_z(t)$ тірек кернеуіне қатысты фазалық ауытқуды анықтайды және ол өлшенетін қозғалысқа пропорционал болады.

3.3 Сызықтық қозғалыстарды өлшеуге арналған ақпараттық-өлшеу жүйесі (АӨЖ)

Сипатталған АӨЖ магнит өрісін құру үшін екі нұсқада қуаттандыру іске асырылуы мүмкін. Бірфазалы нұсқада бірфазалы қуат көзі қолданылады, ал магнит өрісінің датчигі пульсирленетін болып табылады. Екіфазалы нұсқада жұмыс істейтін магнит өрісін құру үшін екіфазалы немесе үшфазалы қуат көзі қолданылады.

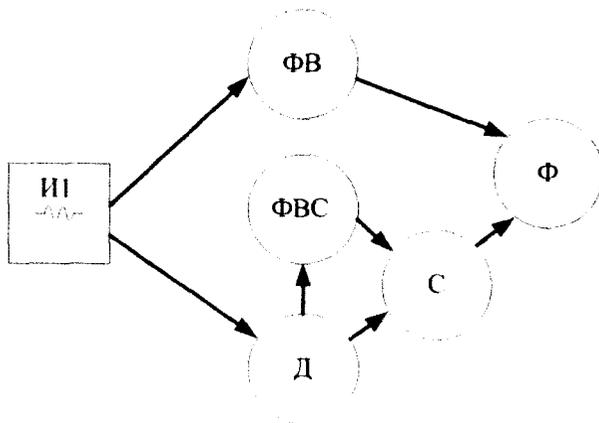
Екі фазалы қуат режимінде сызықтық қозғалыстарды өлшеуге арналған АӨЖ блок-схемасы 3.3-суретте көрсетілген.



Сурет 3.3 Екі фазалы қуат режимінде сызықтық қозғалыстарды өлшеуге арналған АӨЖ блок-схемасы

Бұл жағдайда АӨЖ екі фазалы қуат көзінен И2, Д фазалық сызықтық қозғалыс датчигінен, ФВ тірек кернеуінің фазалық түрлендіргішінен және F фазометрінен тұрады.

Бір фазалы қоректендіру көзімен сызықтық орын ауыстыруларды өлшеуге арналған АӨЖ Блок-схемасы 3.4-суретте көрсетілген.



Сурет 3.4 Бір фазалы қоректендіру көзімен сызықтық орын ауыстыруларды өлшеуге арналған АӨЖ Блок-схемасы

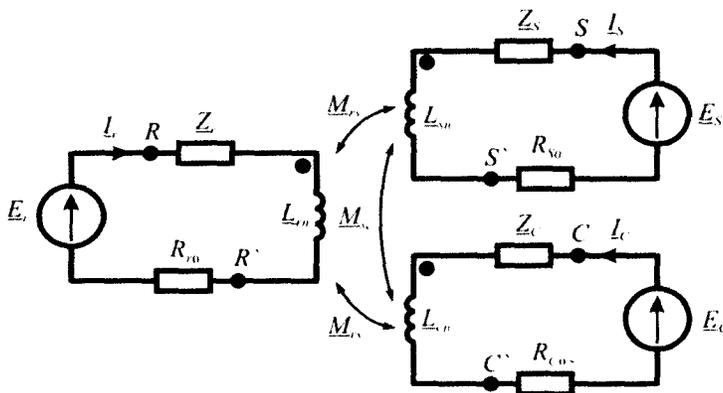
Блок-схемада бір фазалы қуат көзі И1, екі фазалық түрлендіргіштен (ФВ тірек кернеуі және ФВС синус кернеуі) және шығыс кернеуі Φ фазометріне берілетін С қосқышы бар.

Қуат режиміне карамастан, АӨЖ кіріс шамалары электр энергиясы көзінің қоректену кернеуі И1 немесе И2 және фазалық сенсордың сызықтық қозғалысы Д болып келеді . АӨЖ Шығыс шамасы анықтамалық кернеуге қатысты Шығыс кернеуінің фазалық ығысуы болып табылады.

Блок-схемалардағы қуат көзінің жүктемесі ретінде Д қозғалысының датчигі және ФВ тірек кернеуінің фазалық түрлендіргіші. Генератордың негізгі жүктемесі- қозғалыс датчигі , өйткені фазалық түрлендіргіш кіріс кедергісі өте үлкен.

Сызықтық орын ауыстыруды өлшеуге арналған АӨЖ ауыстыру схемасы.

Сызықтық қозғалыстарды өлшеу үшін АӨЖ ауыстыру схемасына талдау жасайық. Генераторды ішкі белсенді кедергісі бар ЭҚК көзі ретінде ұсынып, датчик орамаларының кедергісінің сыйымдылық компоненттерін елемей, біз 3.5-суретте көрсетілген сызықтық қозғалыстарды өлшеу үшін АӨЖ-ны ауыстырудың электрлік схемасын аламыз.



Сурет 3.5 АӨЖ-ны ауыстырудың электрлік схемасы

Ауыстыру схемасы келесі элементтерден тұрады:

- синус орамасының контурларын Электрмен жабдықтаудың көздері \underline{E}_C , косинус орамасы \underline{E}_K және біркелкі орамалары \underline{E}_p ;

- синус орамасының ЭЖК көздерінің ішкі кедергісі R'_C , косинус орамасы R'_K және біркелкі орамалар R'_p ;

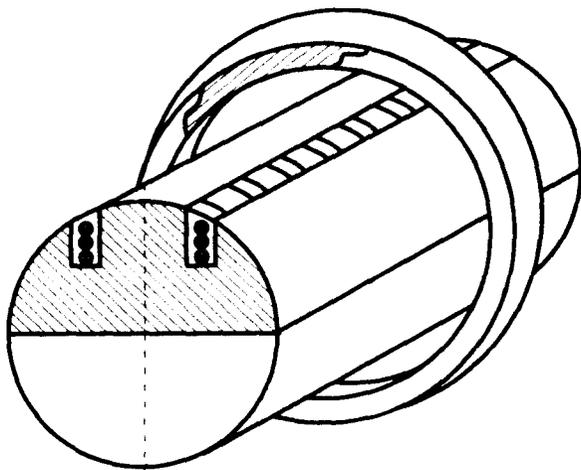
- синус орамасының толық кешенді кедергісі \underline{Z}_C , косинус орамасы \underline{Z}_K және біркелкі орамалар \underline{Z}_p .

Электр параметрлерін анықтау

Қарастырылып отырған АӨЖ -ның негізгі құрылымдық элементі сызықтық қозғалыстардың фазалық сенсоры болып табылады. Өз кезегінде оның сипаттамаларын магниттік жүйенің дизайны анықтайды, ол магниттік сымдар мен орамалармен ұсынылған.

Жалпы, барлық электромагниттік жүйелер кеңістікте таралады. Монографияға сәйкес, таратылған параметрлері бар электромагниттік жүйе деп электромагниттік сипаттамалары кеңістіктегі осы элементтердің параметрлерінің таралуына байланысты болатын магниттік өткізгіштер мен орамалардың жиынтығы түсініледі.

Сызықтық орын ауыстырудың фазалық датчигінде өлшенетін орын ауыстыру бағытында бөлінген дөңгелек кималы магниттік сым қолданылады. Магнит өткізгіштің өлшенетін орын ауыстыру бағытындағы бөлімі 3.6 - суретте көрсетілген.



Сурет 3.6 Магнит өткізгіштің өлшенетін орын ауыстыру бағытындағы бөлімі

3.6 суретте 1 және 2 сызықтар магниттік шунттың орнына сәйкес келетін жазықтықтарды белгілейді, онда магниттік шунттың қуысында магнит өткізгіштің тісі (1-жол) және ойық (2-жол) болады. Көрсетілген жазықтықтардағы ЭМӨ-нің магниттік кедергісі әртүрлі ауа кеңістігіне байланысты әр түрлі.

1 жазықтықтағы ауа аралығының шамасы магниттік шунт пен магниттік өткізгіш арасындағы алшақтық шамасымен анықталады және оған тең $l_{в1} = \delta$.

2 жазықтықтағы ауа аралығының шамасы магниттік шунт пен магнит өткізгіш арасындағы ауа саңылауының шамасының қосындысымен және ойықтың биіктігімен анықталады $l_{в2} = \delta + z$.

1 жазықтықтағы магнит өткізгіштің белсенді бөлігінің ұзындығы

$$l_{м1} = l_{ср} - \delta \quad (3.1)$$

2 жазықтықтағы магнит өткізгіштің белсенді бөлігінің ұзындығы

$$l_{m2} = l_{cp} - \delta - z \quad (3.2)$$

Меншікті магниттік өткізгіштік жалпы жағдайда (3.3) формула бойынша анықталады:

$$y_m = \frac{\mu_0 h}{l_m / \mu + l_b} \quad (3.3)$$

1 жазықтықтағы меншікті магниттік өткізгіштік:

$$y_{m1} = \frac{\mu_0 h}{1 / \mu (l_{cp} - \delta) + \delta} \quad (3.4)$$

2 жазықтықтағы меншікті магниттік өткізгіштік:

$$y_{m2} = \frac{\mu_0 h}{1 / \mu (l_{cp} - z - \delta) + \delta + z} \quad (3.5)$$

Арақатынас дұрыс болады $y_{m1} > y_{m2}$, себебі 1-жазықтыққа сәйкес келетін позициядағы тіс пен магниттік шунт арасындағы ауа саңылауының мөлшері 2-жазықтыққа сәйкес келетін позициядан аз болады.

Магниттік шунттың әсерінен бос ақпараттық сызғыштың учаскесіндегі ЭМС параметрлері басқаша болады. Магниттік

ойық аймағындағы және тіс аймағындағы ақпараттық сызғыштың кедергісі әртүрлі ауа кеңістігіне байланысты әртүрлі.

1 жазықтықтағы ауа аралығының шамасы магниттік шунт пен магниттік өткізгіш арасындағы алшақтықтың шамасымен және магниттік шунттың енімен анықталады және

$$l'_{\text{в1}} = \delta + h.$$

2 жазықтықтағы ауа аралығының шамасы магниттік шунт пен магниттік өткізгіш арасындағы ауа саңылауының шамасының қосындысымен, ойықтың биіктігі мен магниттік шунттың енімен анықталады

$$l'_{\text{в2}} = \delta + z + h \quad (3.6)$$

1 жазықтықтағы магнит өткізгіштің белсенді бөлігінің ұзындығы

$$l'_{\text{м1}} = l_{\text{ср}} - \delta - h \quad (3.7)$$

2 жазықтықтағы магнит өткізгіштің белсенді бөлігінің ұзындығы

$$l'_{\text{м2}} = l_{\text{ср}} - \delta - z - h \quad (3.8)$$

1 жазықтықтағы меншікті магниттік өткізгіштік

$$y'_{\text{м1}} = \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{\text{ср}} - \delta - h) + \delta + h} \quad (3.9)$$

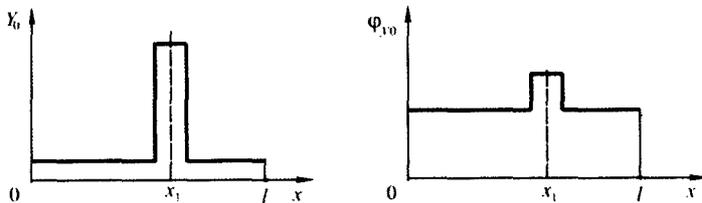
2 жазықтықтағы меншікті магниттік өткізгіштік

$$y'_{M2} = \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - z - \delta - h) + \delta + z + h} \quad (3.10)$$

Жалпы жағдайда меншікті магниттік өткізгіштік модульмен сипатталатын күрделі шама болып табылады Y_M және дәлел ψ_M .

Магнит өрісінің біртектілігінің бұзылуына негізделген жұмыс принципі бар магнит өрісі бар механикалық шамалардың фазалық датчиктерінің маңызды сипаттамасы магнит өткізгіштің осі бойымен меншікті магниттік өткізгіштіктің таралуы болып табылады $y_M = f(x)$. 1 жазықтыққа және меншікті магниттік өткізгіштікке сәйкес келетін магниттік шунт позицияларының саны Y_{M1} , магниттік тізбектің тістерінің санына тең. Бұл ретте жоғарыда қарастырылған ЭМС бар сызықтық орын ауыстыру датчиктерінде магниттік өткізгіштік мәні Y_{M1} магниттік өткізгіштің ұзындығы бойынша дискретті түрде бөлінеді және орамалардың бұрылыстарының тістерге дискретті таралуына сәйкес келеді. Бұл жағдайда ЭМС электрлік параметрлерін анықтау қиын және тапсырманы жеңілдету үшін өткізгіштіктің дискретті таралуын тісті бөлудің ұзындығы бойынша сызықтық үлестірумен ауыстыру жүзеге асырылады l тиісінше, магниттік желінің бүкіл ұзындығы бойынша (сурет 3.6).

3.7 - суретте кейбір позициялар X_1 өткізгіштіктің максималды мәніне сәйкес келеді. Ережеде X_1 шамасы магниттік шунт пен магниттік сым арасындағы ауа саңылауы минималды. Нақты өткізгіштік аргументі 3.7 суреттің графигінде көрсетілгендей айтарлықтай өзгермейді.



Сурет 3.7 Нақты өткізгіштік аргументі

Осы кезеңде сымдардың кедергісі мен шашырау индуктивтілігін елемей, меншікті магниттік өткізгіштіктің таралу Заңын біле отырып $\underline{y}_M = f(x)$, Меншікті индуктивтілік, меншікті өзара индуктивтілік, электромагниттік жүйенің орамаларының электрлік параметрлерін анықтауға болады. Орамалардың өткізгіштерінің саны біркелкі, сызықтық немесе синус Заңы бойынша қиманың орналасуына байланысты өзгереді. В общем случае согласно монографии собственная индуктивность катушки, өткізгіштердің саны ось бойынша бөлінген x заң бойынша $W_1(x)$, (3.11) формула бойынша есептеуге болады

$$\underline{L} = \int_0^l W_1(x)^2 \underline{y}_M(x) dx \quad (3.11)$$

l - ЭМС ұзындығы.

Орамның бұрылыстарының біркелкі бөлінген саны үшін меншікті индуктивтілік (3.12) формула бойынша есептеуге болады:

$$\underline{L}_p = W_p^2 \underline{y}_M l \quad (3.12)$$

Магниттік шунт болмаған кезде біркелкі ораманың индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.13)-ке тең болады:

$$\underline{L}'_{p1} = W_p^2 \underline{y}'_{m1} l = W_p^2 l \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - \delta - h) + \delta + h},$$

$$\underline{L}'_{p2} = W_p^2 \underline{y}'_{m2} l = W_p^2 l \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - \delta - h - z) + \delta + h + z}. \quad (3.13)$$

Магниттік шунт қолданылған жағдайда біркелкі ораманың индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.14)-ке тең болады:

$$\underline{L}_{p1} = W_p^2 \underline{y}_{m1} g = W_p^2 g \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - \delta) + \delta},$$

$$\underline{L}_{p2} = W_p^2 \underline{y}_{m2} g = W_p^2 g \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - \delta - z) + \delta + z} \quad (3.14)$$

Біркелкі ораманың толық индуктивтілігі жоғарыда келтірілген (3.13-3.14) компоненттердің қосындысынан тұрады:

$$\underline{L}_p = \underline{L}'_{p1} + \underline{L}'_{p2} + \underline{L}_{p1} + \underline{L}_{p2} \quad (3.15)$$

немесе басқа жазба түрінде

$$L_p = W_p^2 \mu_0 h \left(\frac{l}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - \delta - h) + \delta + h} + \frac{l}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - \delta - h - z) + \delta + h + z} + \frac{g}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - \delta) + \delta} + \frac{g}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - \delta - z) + \delta + z} \right) \quad (3.16)$$

Кейбір түрлендірулерден кейін біз аламыз:

$$L_p = W_p^2 \mu \mu_0 h \left(\frac{l}{l_{cp} - \delta - h + \mu(\delta + h)} + \frac{l}{l_{cp} - \delta - h - z + \mu(\delta + h + z)} + \frac{g}{l_{cp} + \delta(\mu - 1)} + \frac{g}{l_{cp} - \delta - z + \mu(\delta + z)} \right) \quad (3.17)$$

Ауа саңылауының ортаңғы сызығы бойымен ораманың бұрылыстарының синустық таралуы кезінде меншікті индуктивтілік (3.18) формуламен анықтауға болады:

$$L_c = y_{m1} W_m^2 \sin^2 \frac{2\pi}{l} x \quad (3.18)$$

Магниттік шунт болмаған кезде синус орамасының индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.19-3.20) формуласына тең болады

$$L'_{c1} = \int_0^l W_m^2 y'_{m1} \sin^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y'_{m1} \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{8\pi} \sin \frac{4\pi}{l} l \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h l}{1/\mu (l_{cp} - \delta - h) + \delta + h} \quad (3.19)$$

$$L'_{c2} = \int_0^l W_m^2 y'_{m2} \sin^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y'_{m2} \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{8\pi} \sin \frac{4\pi}{l} l \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h l}{1/\mu (l_{cp} - z - \delta - h) + \delta + z + h} \quad (3.20)$$

Магниттік шунт колданылған жағдайда синус орамасының индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.21-3.22) формуласына тең болады:

$$L_{c1} = \int_{-g/2}^{g/2} W_m^2 y_{m1} \sin^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y_{m1} \left(\frac{g}{2} - \frac{l}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - \delta) + \delta} \left(g - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \quad (3.21)$$

$$L_{c2} = \int_{-g/2}^{g/2} W_m^2 y_{m2} \sin^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y_{m2} \left(\frac{g}{2} - \frac{l}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{cp} - z - \delta) + \delta + z} \left(g - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \quad (3.22)$$

Синус орамасының толық индуктивтілігі жоғарыда келтірілген компоненттердің қосындысынан (3.19-3.22) тұрады:

$$\underline{L}_c = \underline{L}'_{c1} + \underline{L}'_{c2} + \underline{L}_{c1} + \underline{L}_{c2} \quad (3.23)$$

немесе басқа жазба түрінде:

$$L_c = \frac{1}{2} W_m^2 \mu_0 h \left(\frac{l}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - \delta - h) + \delta + h} + \frac{l}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - z - \delta - h) + \delta + z + h} + \frac{1}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - \delta) + \delta} \left(g - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) + \frac{1}{\frac{1}{\mu}(l_{cp} - z - \delta) + \delta + z} \left(g - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \right) \quad (3.24)$$

Кейбір түрлендірулерден кейін біз аламыз:

$$L_c = \frac{1}{2} W_m^2 \mu \mu_0 \left(\frac{l}{l_{cp} - \delta - h + \mu(\delta + h)} + \frac{l}{l_{cp} - z - \delta - h + \mu(\delta + z + h)} + \left(\frac{1}{l_{cp} - \delta + \mu\delta} + \frac{1}{l_{cp} - z - \delta + \mu(\delta + z)} \right) \left(g - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \right) \quad (3.25)$$

Алынған тәуелділіктен көрініп тұрғандай (3.25), синус орамасының индуктивтілігінің өлшеу сызғышына таралуы синусоидалық заңмен анықталады.

Ауа саңылауының ортанғы сызығы бойымен ораманың бұрылыстарының косинустық таралуы кезінде меншікті индуктивтілік (3.26) формуламен анықталады:

$$L_K = y_{m1} W_m^2 \cos^2 \frac{2\pi}{l} x \quad (3.26)$$

Магниттік шунт болмаған кезде косинус орамасының индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.27-3.28)-ге тең болады

$$L'_{к1} = \int_0^l W_m^2 y'_{м1} \cos^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y'_{м1} \left(\frac{l}{2} + \frac{l}{8\pi} \sin \frac{4\pi}{l} l \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h l}{1/\mu (l_{ср} - \delta - h) + \delta + h} \quad (3.27)$$

$$L'_{к2} = \int_0^{l-g} W_m^2 y'_{м2} \cos^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y'_{м2} \left(\frac{l}{2} + \frac{l}{8\pi} \sin \frac{4\pi}{l} l \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h l}{1/\mu (l_{ср} - z - \delta - h) + \delta + z + h} \quad (3.28)$$

Магниттік шунт қолданылған жағдайда косинус орамасының индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.29-3.30)-ға тең болады

$$L_{к1} = \int_{-g/2}^{g/2} W_m^2 y_{м1} \cos^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y_{м1} \left(\frac{g}{2} + \frac{l}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h}{1/\mu (l_{ср} - \delta) + \delta} \left(g + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \quad (3.29)$$

$$L_{K2} = \int_{-g/2}^{g/2} W_m^2 y_{M2} \cos^2 \frac{2\pi}{l} dx = W_m^2 y_{M2} \left(\frac{g}{2} + \frac{l}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) =$$

$$= \frac{1}{2} W_m^2 \frac{\mu_0 h}{\frac{1}{\mu} (l_{cp} - z - \delta) + \delta + z} \left(g + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \quad (3.30)$$

Синус орамасының толық индуктивтілігі жоғарыда келтірілген (3.27-3.30) компоненттердің қосындысынан тұрады:

$$\underline{L}_K = \underline{L}'_{K1} + \underline{L}'_{K2} + \underline{L}_{K1} + \underline{L}_{K2} \quad (3.31)$$

немесе басқа жазба түрінде:

$$L_K = \frac{1}{2} W_m^2 \mu_0 h \left(\frac{l}{\frac{1}{\mu} (l_{cp} - \delta - h) + \delta + h} + \frac{l}{\frac{1}{\mu} (l_{cp} - z - \delta - h) + \delta + z + h} + \frac{1}{\frac{1}{\mu} (l_{cp} - \delta) + \delta} \left(g + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) + \frac{1}{\frac{1}{\mu} (l_{cp} - z - \delta) + \delta + z} \left(g + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \right) \quad (3.32)$$

Кейбір түрлендірулерден кейін (3.33) формуласымен анықталады:

$$L_K = \frac{1}{2} W_m^2 \mu \mu_0 \left(\frac{l}{l_{cp} - \delta - h + \mu(\delta + h)} + \frac{l}{l_{cp} - z - \delta - h + \mu(\delta + z + h)} + \left(\frac{1}{l_{cp} - \delta + \mu\delta} + \frac{1}{l_{cp} - z - \delta + \mu(\delta + z)} \right) \left(g + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} g \right) \right) \quad (3.33)$$

Алынған тәуелділіктен (3.33) көрініп тұрғандай, косинус орамасының индуктивтілігінің өлшеу сызғышына таралуы синусоидалық заңмен анықталады.

Синус және косинус орамаларының индуктивтілігіне тәуелділікті талдай отырып, сәйкес аналитикалық өрнектер функцияның алдындағы белгімен ғана ерекшеленетінін атап өтуге болады $\sin \frac{2\pi}{l} g$.

Жалпы жағдайда, монографияға сәйкес өткізгіштердің саны заңдар бойынша ось бойынша бөлінген орамалардың өзара индуктивтілігі $W_1(x)$ және $W_2(x)$ тиісінше, (3.34) формула бойынша есептеуге болады

$$\underline{M} = \int_0^l W_1(x) W_2(x) \underline{y}_m(x) dx \quad (3.34)$$

Синус Заңы бойынша біркелкі бөлінген және үлестірілген орамның бұрылыстарының саны үшін меншікті өзара индуктивтілік

$$\underline{M}_{pc} = W_p W_c \underline{y}_m l \quad (3.35)$$

Магниттік шунт болмаған кезде біркелкі және синустық орамалардың өзара индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.36-3.38)-ге тең болады

$$\underline{M}'_{pc} = W_p W_c \underline{y}'_m l \quad (3.36)$$

$$\underline{M}'_{pc1} = \int_0^l W_p W_m \underline{y}'_{m1} \sin \frac{2\pi}{l} x dx = \frac{1}{2\pi} W_p W_m \underline{y}'_{m1} \left(-\cos \frac{2\pi}{l} l + \cos \frac{2\pi}{l} 0 \right) = 0. \quad (3.37)$$

Сол сияқты

$$\underline{M}'_{pc2} = \int_0^l W_p W_m \underline{y}'_{m2} \sin \frac{2\pi}{l} x dx = 0. \quad (3.38)$$

Магниттік шунт қолданылған жағдайда біркелкі және синустық орамалардың өзара индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.39-3.40) тең болады

$$\underline{M}_{pc1} = \int_{-\frac{g}{2}}^{\frac{g}{2}} W_p W_m \underline{y}_{m1} \sin \frac{2\pi}{l} x dx = \frac{1}{2\pi} W_p W_m \underline{y}_{m1} \left(-\cos \frac{\pi g}{l} + \cos \frac{\pi g}{l} \right) = 0. \quad (3.39)$$

$$\underline{M}_{pc2} = \int_{-\frac{g}{2}}^{\frac{g}{2}} W_p W_m \underline{y}_{m2} \sin \frac{2\pi}{l} x dx = 0. \quad (3.40)$$

Біркелкі және синустық орамалардың толық өзара индуктивтілігі жоғарыда келтірілген (3.37-3.40) компоненттердің қосындысынан тұрады:

$$\underline{M}_{pc} = \underline{M}'_{pc1} + \underline{M}'_{pc2} + \underline{M}_{pc1} + \underline{M}_{pc2} \quad (3.41)$$

Мәндерді алмастыра отырып, біркелкі және синустық орамалардың өзара индуктивтілігі нөлге тең болады:

$$\underline{M}_{pc} = 0 \quad (3.42)$$

Косинус заңы бойынша біркелкі бөлінген және үлестірілген орамның бұрылыстарының саны үшін меншікті өзара индуктивтіліктің формуласы (3.43)-ке тең болады:

$$\underline{M}_{pk} = W_p W_k \underline{y}_m l \quad (3.43)$$

Магниттік шунт болмаған кезде біркелкі және косинустық орамалардың өзара индуктивтілігінің компоненттері тең болады және (3.44) формуласымен анықталады:

$$\underline{M}'_{pk} = W_p W_k \underline{y}'_m l \quad (3.44)$$

$$\underline{M}'_{pk1} = \int_0^l W_p W_m \underline{y}'_{m1} \cos \frac{2\pi}{l} x dx = \frac{1}{2\pi} W_p W_m \underline{y}'_{m1} \left(\sin \frac{2\pi}{l} l \right) = 0. \quad (3.45)$$

Сол сияқты

$$\underline{M}'_{pk2} = \int_0^l W_p W_m \underline{y}'_{m2} \cos \frac{2\pi}{l} x dx = 0. \quad (3.46)$$

Магниттік шунт қолданылған жағдайда біркелкі және косинустық орамалардың өзара индуктивтілігінің құрамдас бөліктері тең болады

$$\underline{M}_{pk1} = \int_{-g/2}^{g/2} W_p W_m \underline{y}_{m1} \cos \frac{2\pi}{l} x dx = \frac{1}{2\pi} W_p W_m \underline{y}_{m1} \left(\sin \frac{\pi g}{l} - \sin \frac{\pi g}{l} \right) = 0. \quad (3.47)$$

$$\underline{M}_{pk2} = \int_{-g/2}^{g/2} W_p W_m \underline{y}_{m2} \cos \frac{2\pi}{l} x dx = 0. \quad (3.48)$$

Біркелкі және косинустық орамалардың толық өзара индуктивтілігі жоғарыда келтірілген (3.45-3.48) компоненттердің қосындысынан тұрады:

$$\underline{M}_{\text{рк}} = \underline{M}'_{\text{рк1}} + \underline{M}'_{\text{рк2}} + \underline{M}_{\text{рк1}} + \underline{M}_{\text{рк2}} \quad (3.49)$$

Мәндерді алмастыра отырып, біркелкі және косинустық орамалардың өзара индуктивтілігі нөлге тең болады:

$$\underline{M}_{\text{рк}} = 0 \quad (3.50)$$

Косинус және синус заңдары бойынша бөлінген орамалардың бұрылыстарының саны үшін меншікті өзара индуктивтілік:

$$\underline{M}_{\text{ск}} = W_c W_k \underline{y}_M l \quad (3.51)$$

Магниттік шунт болмаған кезде синус және косинус орамаларының өзара индуктивтілігінің құрамдас бөліктері тең болады

$$\underline{M}'_{\text{ск}} = W_c W_k \underline{y}'_M l \quad (3.52)$$

$$\underline{M}'_{\text{ск1}} = \int_0^l W_m^2 \underline{y}'_{\text{м1}} \cos \frac{2\pi}{l} x \sin \frac{2\pi}{l} x dx = \frac{1}{8\pi} W_m^2 \underline{y}'_{\text{м1}} \left(\cos \frac{4\pi}{l} l - \cos \frac{4\pi}{l} 0 \right) = 0. \quad (3.53)$$

Сол сияқты

$$\underline{M}'_{\text{ск2}} = \int_0^l W_m^2 \underline{y}'_{\text{м2}} \cos \frac{2\pi}{l} x \sin \frac{2\pi}{l} x dx = 0. \quad (3.54)$$

Магниттік шунт қолданылған жағдайда синус және косинус орамаларының өзара индуктивтілігінің құрамдас бөліктері (3.55-3.56) тең болады:

$$\underline{M}_{\text{CK1}} = \int_{-\frac{g}{2}}^{\frac{g}{2}} W_m^2 y_{\text{M1}} \cos \frac{2\pi}{l} x \sin \frac{2\pi}{l} x dx = \frac{1}{8\pi} W_m^2 y_{\text{M1}} \left(\cos \frac{2\pi g}{l} + \cos \frac{2\pi g}{l} \right) = 0. \quad (3.55)$$

$$\underline{M}_{\text{CK2}} = \int_{-\frac{g}{2}}^{\frac{g}{2}} W_m^2 y_{\text{M2}} \cos \frac{2\pi}{l} x \sin \frac{2\pi}{l} x dx = 0. \quad (3.56)$$

Синус және косинус орамаларының толық өзара индуктивтілігі жоғарыда келтірілген (3.53-3.56) компоненттердің қосындысынан тұрады:

$$\underline{M}_{\text{CK}} = \underline{M}'_{\text{CK1}} + \underline{M}'_{\text{CK2}} + \underline{M}_{\text{CK1}} + \underline{M}_{\text{CK2}} \quad (3.57)$$

Мәндерді алмастыра отырып, синус пен косинус орамаларының өзара индуктивтілігі нөлге тең болады:

$$\underline{M}_{\text{CK}} = 0 \quad (3.58)$$

Осылайша, алынған тәуелділіктерді талдай отырып, сызықтық қозғалыс сенсорының электрлік параметрлерінен оның сипаттамаларына тек орамалардың өзіндік индуктивтілігі әсер етеді деген қорытынды жасауға болады.

Алынған орнектерді сызықтық фазалық сенсордың берілу функциясын анықтау үшін пайдалануға болады барлық орамалардың токтары мен кернеулері арасындағы қозғалыстар мен қатынастар, бұл фазалық сенсор негізінде сызықтық қозғалыстардың АӨЖ жұмысын талдауға мүмкіндік береді.

3.4 Сызықты қозғалыстың фазалық датчигіне арналған кейбір қатынастар

Сызықты қозғалыс датчигінің екі фазалы жұмыс режимінде датчиктің синусты және косинусты орамалары қуат көзін екі фазалы айнымалы ток көзінен алады. Косинусты ораманың тоғы уақыт функциясында келесі заң бойынша өзгереді:

$$i_k = I_m \sin \omega t \quad (3.59)$$

мұндағы I_m - ток амплитудасы;

ω - кернеудің бұрыштық жылдамдығы

Синусты орама синусоидалы кернеуден қуат көзін алады, ол өз кезегінде косинусты ораманың кернеуіне қатысты фазаға ауытқыған болып табылады, сондықтан синусты ораманың тоғы ток фазасына қатысты $\pi/2$ бұрышына ауытқиды және уақыт функциясында (3.60) заң бойынша өзгереді:

$$i_c = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (3.60)$$

Екіфазалы режим кезінде ақпараттық сызықтың k -шы тісінің соңғы магнитті күші екі магниттелген орам күшінің қосындысына тең болады:

$$F_k = I_m \sin \omega t \cdot W_m \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{n} (k - 0.5) \right) - I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \cdot W_m \sin \left(\frac{2\pi}{n} (k - 0.5) \right). \quad (3.61)$$

k -шы тістің нәтижелі күшінің мәні тұрақты болады, ал бастапқы фаза (3.62) теңдеу арқылы анықталады:

$$\varphi_{Fk} = \frac{2\pi}{n}(k - 0.5) \quad (3.62)$$

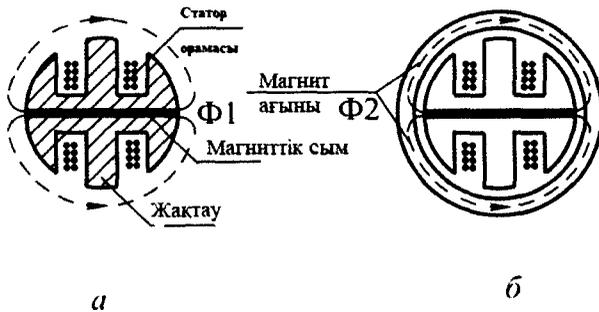
Φ_0 меншікті магнит ағыны кез келген уақыт мезетінде тістер шегінде бірдей мәнге ие болады. Ақпараттық сызық шектерінде магнит ағынының лездік мәні қадамдық функция ретінде біркелкі таратылады. Өр тістің амплитудалық магнит ағыны сол тістің реттік номеріне тәуелді синустық заң бойынша өзгереді:

$$\Phi_0(t_1, k) = \Phi_{0m} \sin\left(\omega t_1 + \frac{2\pi}{n}(k - 0.5)\right) \quad (3.63)$$

мұндағы t_1 - кез келген уақыт мезеті

Осыған орай, датчиктің екіфазалы кернеуінен қуат алатын синусты және косинусты орамалар бір жазықтықта түйісетін және шунт қозғалысының бағытына перпендикуляр болатын қозғалмалы магнитті өрісті құрады.

3.8 суретте магнитті шунтсыз зонасында және ақпараттық сызыққа қабаттасқан магнит шунті бойында орналасқан датчиктің көлденең қимасы келтірілген. Сәйкесінше орналасқан Φ_1 және Φ_2 магнит ағындары екі күш сызығымен бейнеленген. Ескере кететін жайт, Φ_1 меншікті магнит ағыны ақпараттық сызықтың бір шамасына шаққандағы мәні едәуір аз болады, себебі эквивалентті ауа саңылауындағы магнит кедергісі үлкен болып табылады.



Сурет 3.8 Датчиктің көлденең қимасы

Егер ақпараттық сызықтың магнитті сымы біркелкі болатын болса, яғни оның меншікті кедергісі бүкіл сызықтың бойында тұрақты түрде таралса, ораманың соңғы магнитті ағыны мен шығысындағы кернеуі нөлге тең болады. Магнитті шунт орналасқан аймақта магнитті сымның біркелкілігі жоғалады. Ақпараттық сызықтың бойында орналасқан магнитті кедергісі осы магнитті шунт әсерінен азаяды, нәтижесінде осы аймақта магнит ағыны ұлғаяды.

Сонда, біркелкі орамадағы соңғы магнитті ағын қозғалмалы шунт орналасқан аймақтағы магнит ағынының ұлғайғанына тәуелді болады. Шығыс кернеуінің бастапқы фазасы соңғы магнит ағынының бастапқы фазасы арқылы анықталатын болады. Бұл өз кезегінде осы аймақтағы магнитті күшінің бастапқы фазасының мәні арқылы анықталатын болады. Магнит шунты қозғалған кезде шығыс кернеуінің бастапқы фазасының өзгерісі ақпараттық сызықтың басы мен шунттың ортасына дейінгі қашықтыққа пропорционал болады.

Қарастырылып отырған электромагниттік жүйе (ЭМЖ) басқа магнитті фазауыстрығыштардан ерекшелігі орамаларының жергілікті түрде өзара әрекеттесуінде болып табылады. Ол дегеніміз магнит орамасы қимасының кез келген жерінің меншікті магнит ағыны тек осы қимадағы ораманың магнит күшіне тәуелді екенін білдіреді. Ораманың өзара әрекеттескендегі механикалық күштер магнит өісінің

көзғалысына перпендикуляр болып келеді. Қозғалыс бағытындағы орамалардың әрекеттесуі 0-ге тең болады, себебі екі орама да ақпараттық сызық бойында орналасқан. Электромагниттік жүйенің (ЭМЖ) басты мақсаты – ақпараттық сызықтың магнит орамдарының біркелкілігін жою, оны магнит шунты қозғалысы кезіндегі шығыс кернеуі бастапқы фазасының өзгерісінен байқауға болады.

Магнитті шунттың қуысында магнит орамы және ойық орналасады. 3.8 а және б суреттерінде 1 және 2 сызық бойымен шартты түрде көлденен кима жүргізейік. Осы кимадағы электромагниттік жүйе (ЭМЖ) магнит кедергісі эквивалентті ауа интервалындағы ұзындықтардың әртүрлілігіне байланысты бір біріне тең болмайды.

Магнит шунты орналасқан аймақта ауа саңылауының мәні

$$l_{B1} = \delta \quad (3.64)$$

Шунт жоқ жерде ауа саңылауының эквивалентті мәні магнит шунтінен магнит орамы мен ойыққа дейінгі аралықтағы ауа саңылауының қосындысына тең болады:

$$l_{B2} = (\delta + z) \quad (3.65)$$

1 кимадағы магнит орамының белсенді ұзындығы:

$$l_{M1} = l_{cp} - \delta \quad (3.66)$$

2 кимадағы магнит орамының белсенді ұзындығы:

$$l_{M2} = l_{cp} - (\delta + z) \quad (3.67)$$

Дегенмен, механикалық мәндер мен электрлік мәндердің өзара байланысы кезіндегі механикалық мәндерге талдау жасағанда электромагниттік жүйенің (ЭМЖ) параметрлерін ескеру қажет. Бұл үдеріс туралы тереңірек монографияда сипатталған[14].

Электромагниттік жүйенің (ЭМЖ) параметрлерінің таралуын қадағалау мақсатында меншікті электрлік және магниттік шамалардың [11] элементар магнит орамының бірлік шамасына шаққандағы сан мәндері есептелінеді Δx .

Ток пен кернеу арасында байланыс орнату мақсатында таралатын ЭМЖ жағдайындағы нақты шамалар енгізіледі, ол өз кезегінде электромагниттік жүйенің магниттік және электрлік параметрлерімен анықталады.

Сымдардың кедергісін және шапырау индуктивтілігін бұл кезеңдерде есепке алмасақ және магнит орамындағы меншікті магнит өткізгіштігінің заңдарын $y_m = f(x)$, меншікті жеке индуктивтілік заңдарын, меншікті өзара индуктивтілік заңдарын біле отырып электромагниттік жүйедегі ораманың электрлік параметрлерін есептеуге болады.

Меншікті магнит өткізгіштігінің жалпы формуласы:

$$\underline{y}_m = \frac{\mu_0 h}{\frac{l_m}{\underline{\mu}} + l_b} \quad (3.68)$$

мұндағы μ_0 - ауаның абсолютті магнитөткізгіштігі;

h - магнит шунтінің ені;

$\underline{\mu}$ - магнит орамының салыстырмалы магнитөткізгіштігі.

Салыстырмалы магнит өтімділігі комплексті шама ретінде қарастырылу мақсаты - салыстырмалы магниттік өткізгіштік магниттік шектеудің, әлсіз магнит өрістері мен жоғары магниттік жиіліктер үшін эллиптикалық магниттік қисық сызығының болуын көрсету. Бұл орайда магнит

өрісінің индукциясы мен күші арасында фзалық ауытқу пайда болады. Ал салыстырмалы магнит өтімділігін анықтау үшін абсолютті магнит өтімділігінің вакуумдағы өтімділікке қатынасы қолданылады:

$$\underline{\mu} = \underline{\mu}_a / \mu_0 = \mu e^{-j\varphi_M} \quad (3.69)$$

Осы процессті электромагниттік үйлесімділік (ЭМУ) датчигі параметрлерін анықтау мақсатында қолдану аясы туралы жұмыста тереңірек қарастырылыған [14].

$\underline{y}_{-m1} > \underline{y}_{-m2}$ қатынасы қолданылады, себебі ауа саңылауының ойығы әр кезде әртүрлі.

Магнит орамының біркелкілігі меншікті магнит өткізгіштігін жалпы аймақта өзгертетін шунтты енгізу кезінде өз күшін жояды.

Жалпы жағдайда, меншікті магнит өткізгіштігі комплексті шама болып табылады және \underline{y}_M модулі мен φ_M аргументі арқылы сипатталады.

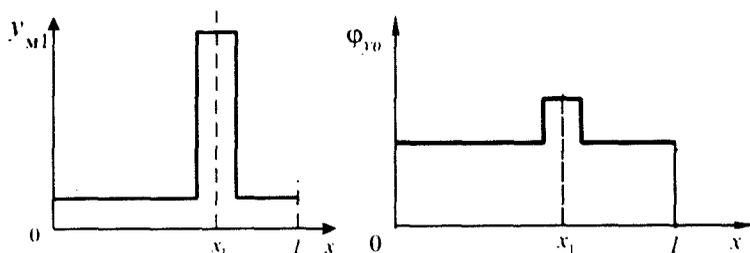
Қозғалмалы магнит өрісі бар механикалық шамалардағы фазалық датчиктердің басты ерекшелігі – магнит орамы осіндегі $\underline{y}_M = f(x)$ меншікті магнит өтімділігінің таралуы болып табылады, ол магнит өрісінің біркелкілігін жою туралы

принципке негізделген $\underline{y}_M = f(x)$. \underline{y}_{-m1} меншікті магнит өтімдік шамасына сай магнит шунті позицияларының саны магнит орамасындағы тістер санына тең болады. Осыған сәйкес сызықты өзғалыс датчиктеріндегі жоғарыда айтылған

ЭМУ \underline{y}_{-m1} магнит өтімділігі мәні бүкіл магнит орамына дискретті түрде таралады және орамдағы әр тістің бұрылысына дискретті түрде таралуына тең. Бұл жағдайда ЭМУ электрлік параметрлерін анықтау қиынға соғады. Осыны алдын алу мақсатында дискретті өтімділік таралуының орнына әр тістің l ұзындығына және бүкіл

магнит орамы ұзындығына сәйкес сызықты таралу қолданылады (3.8 сурет).

3.9 суретте x_1 (магнит орамының тісі) кей шамасына өтімділіктің максималды мәні сәйкес келеді. x_1 шамасы ақпараттық сызық тісінің кей бөлігінің магнитті шунт мәнімен қабаттасады. Меншікті өтімділік аргументі өзгерісі 3.8 суреттің графигінде бейнеленген.



Сурет 3.9 Меншікті өтімділік аргументі өзгерісі

Жоғарыдағы графиктерді талдай отыру барысында шунттың орналасу аймағы магнит өтімділігінің модулі шамасына аргументке қарағанда көбірек әсер етеді деген қорытындыға келуге болады.

3.5 Геометриялық өлшемдер мен физикалық параметрлер блогы

Имитациялық модельдің геометриялық өлшемдері блогында мынадай бастапқы мәндер енгізіледі: датчик тістер саны, магнит материалының абсолютті және салыстырмалы магнитті өтімділігі, қуат көзі параметрлері, магнит орамасының геометриялық өлшемдері. Содан соң шунттың геометриялық параметрлері мен орамадағы бұрылыс саны анықталады.

Ақпараттық сызық тістерінің санына байланысты осыған орналасу аймағы мен тістердің шектреі есептелінеді.

Осыдан кейін біркелкі орналасқан ораманың бұрылыс саны енгізіліп, синусты және косинусты ораманың тістің реттік номеріне сәйкес саны анықталады.

Осы процесстерден кейін шунтты бастапқы орны мен қозғалысынаі шамасы енгізіледі.

Осылайша, геометриялық өлшемдер мен физикалық параметрлер блогында бастапқы шамалар ретінде мыналар енгізіледі:

- тістер саны;
- абсолютті және комплексті магнит өтімділігі;
- кернеудің параметрлері;
- орамадағы жүктеме кедергісі;
- ақпараттық сызық тісінің биіктігі;
- магнут шунты биіктігі;
- ауа санылауының ұзындығы;
- көлденең қимадағы магнит ораманың орташа сызығының ұзындығы;
- тіс ені;
- синусты және косинусты ораманың максималды бұрылыс саны;
- шунттың бастапқы орны;
- шунт қозғалысы;
- өткізгіш материалының меншікті кедергісі және диаметрі.

Жоғарыда атап өтілгеннің барлығы зерттелетін АӨЖ құрамына кіретін немесе жобалау кезіндегі ұсынысқа сай датчик құрылысының ерекшелігіне сай анықталады. Жобалаудың бастапқы кезеңінде ақпараттық сызықтағы магнит орамасы көлденең қимасының геометриялық пішіні мен магнитті шунттың қимасы анықталады.

Нәтижесінде геометриялық өлшемдер мен физикалық параметрлер блогында төмендегі шығыс шамалар анықталады:

- ақпараттық сызық тістерінің осьтері мен тіс шектері шамасы;
- ораманың белсенді жағынын бұрылыс саны.

3.6 АӨЖ жұмысын имитациялау блогы

АӨЖ жұмысын имитациялау блогы АӨЖ эквивалентті ауытыру схемасындағы кедергі, индуктивтілік, өзара индуктивтілік шамаларын анықтау мақсатында қолданылады. Бұл блок бірнеше кезеңнен тұрады.

Датчиктің электрлік параметрлері өлшенін отырған сызықты қозғалысқа тікелей тәуелді. Сондықтан имитациялық модельде әр шунт үшін датчиктің электрлік параметрлерін есептелінеді. Бұл параметрлер қозғалысқа, орама индуктивтілігіне, өзара индуктивтілігіне және толық кедергілеріне сәйкес периодты заң бойынша өзгергендіктен шығыс мәндер ақпараттық сызықтытағы шунт қозғалысы кезінде анықталады.

Ең алдымен шунттың әр түрлі көзғалысы кезіндегі меншікті магнит өтімділігі анықталады, кейін стартордағы тістердің өзара орналасқан кездегі сол тістердің магнит өтімділігі мәні сипатталады.

Осыдан соң қиманың статор тісі мен магниттік шунт шекарасы арасындағы шарттарының орындалуына байланысты тістердің магнит өтімділігінің соңғы мәні анықталады. 2 бөлімде айтылып кеткендей, магнит орамасын көлденең қимасының 4 түрлі нұсқасы болуы мүмкін, әр нұсқада магнит өтімділік мәні әртүрлі болады.

Кейін синусты, косинусты, біркелкі таралған ораманың индуктивтілігі және олардың тістің магнит өтімділігінің мәні арқылы анықталған өзара индуктивтілік мәні есептеледі. Сонымен қатар синусты, косинусты және біркелкі таралған ораманың геометриялық өлшеміне және белсенді жақтың бұрылыс санына байланысты физикалық параметрлеріне сәйкес болатын кедергілердің мәндері алынады. Мәндері белгілі болған электрлік кедергілер кейін шығыс сигнал параметрлері блогына сәйкес келетін ток пен кернеу мәнін есептеуде қолданылады.

Осылайша, электрлік параметрлер блогында келесі шамаларды аламыз:

- синусты, косинусты, біркелкі таралған ораманың индуктивтілігі;

- синусты және косинусты, синусты және біркелкі таралған, косинусты және біркелкі таралған орамалардың өзара индуктивтілігі;

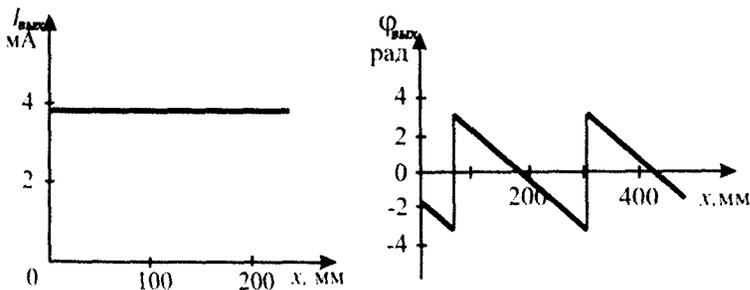
- синусты, косинусты, біркелкі таралған ораманың кедергісі.

3.7 Шығыс сигналының параметрлер блогы

Блоктың негізгі мақсаты – АӨЖ әртүрлі қозғалыс кезіндегі шығыс сигналы параметрлерін анықтау.

Жоғарыда есептелінген датчиктің электрлік параметрлері негізінде ток коэффициенті матрицасының элементтері және ЭҚК коэффициенттері матрицасының элементтері анықталады. Ол үшін бүкіл орамадағы шунт қозғалысына сәйкес ток мәндері есептелінеді.

3.10 суретте шунт қозғалысына сәйкес біркелкі таралатын орамадағы ток амплитудасының тәуелділік графигі келтірілген. Шунт қозғалысына сәйкес біркелкі таралатын орамадағы ток фазасының тәуелділік графигі 3.10 суретте бейнеленген.



Сурет 3.10 Шунт қозғалысына сәйкес біркелкі таралатын орамадағы ток амплитудасының тәуелділік графигі

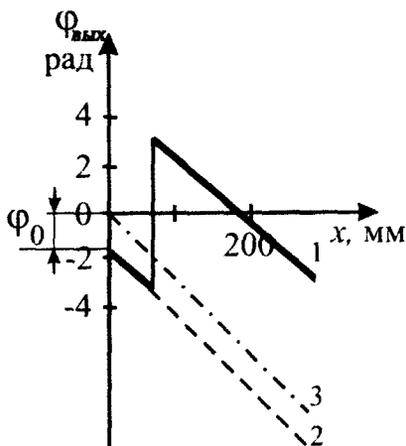
Алынған график 2π шамасына тең ауткиды. Бұл шығыс токтың фазалық ауытқуы кезіндегі $\pm \pi$ шамасына сәйкес мәнін өзгертетіндігі себебінен туындайтын жағдай. Имитациялық модельде дереккөзде келтірілгендей жоғарыдағы үдерісті жою әдістері қарастырылған [12].

Ол үшін:

- шығыс токтың фазалық қатарынны мәнін анықтау керек;

- алынған нәтижелерден 2π мәнін ескермеу.

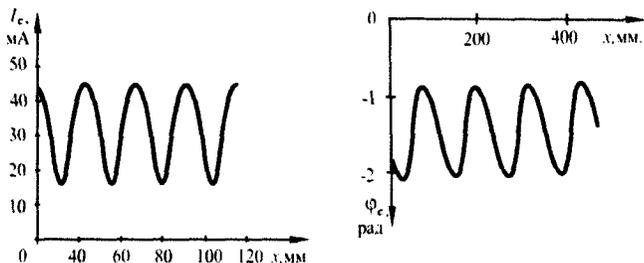
Шунт қозғалысы кезіндегі шығыс ток фазасының өзгеріс мәнін қатты сызықпен белгілейік (3.10 сурет). Шығыс сигналы фазасының шунт қозғалысының X тәуелділігін анықтау үшін оң жақтағы секірмелі өзгеріс бұрыш мәніне 2π шамасы қосылады (3.11 сурет). Нәтижесінде 2 сызықты тәуелділік пайда болады. Алынған бұрыш мәндерінен шығыс ток фазасының бастапқы мәні Φ_0 , яғни шунттың бастапқы орнындағы бұрыш мәні алынады.



3.11 сурет Шунт қозғалысы кезіндегі шығыс ток фазасының өзгерісі

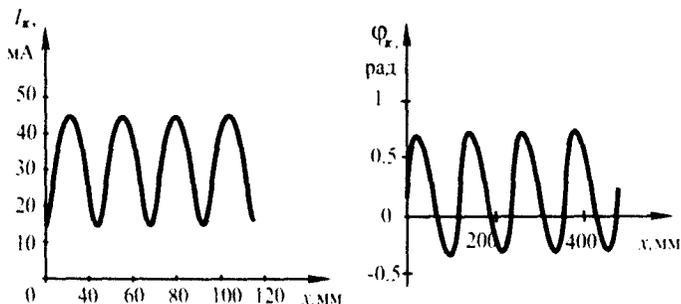
Жоғарыда бейнеленген біркелкі орам кезіндегі ток фазасының шунт қозғалысына тәуелділігі программалық фвйлда орындалады.

Сонымен қатар, имитациялық модель арқылы синусты және косинусты ток фазасының шунт қозғалысына тәуелділігін ала аламыз, олардың бастапқы фазалары мен мәндері сәйкесінше 3.12 пен 3.13 суреттерде орналасқан.



Сурет 3.12 Имитациялық модель арқылы синусты ток фазасының шунт қозғалысына тәуелділігі

Синусты және косинусты токтардың шунт қозғалысына тәуелділігі синусты және косинусты қисықтар арқылы бейнеленеді, бұл өз кезегінде 2 бөлімде қарастырылған математикалық қатынастарды тағы да дәлелдейді. Алынған графиктер мен теориялық қатынастар жалпы тұрғыда ұқсас ерекшеліктерге ие.



Сурет 3.13 Имитациялық модель арқылы косинусты ток фазасының шунт қозғалысына тәуелділігі

Шығыс сигналының шығыс блок параметрлері блогында төмендегі деректер алынады:

- шығыс тоғы (екіфазалы жұмыс режимі кезіндегі біркелкі орамадағы ток, датчиктің бірфазалы жұмыс режимі кезіндегі синусты және косинусты орамадағы токтардың айырмасы);

- шығыс тоғы фазасының шунт қозғалысына қатысты өңделген тәуелділігі.

3.8 АӨЖ қателіктерін анықтау блогы

Шығыс сигналды өңдеу шығыс ток фазасының шунт қозғалысына қатысты тәуелділікпен сипатталғандықтан, “0” мәнін орнату арқылы сынау нәтижесіндегі мәндерге сүйене отырып, датчиктің метрологиялық ерекшеліктерін анықтау әдісі арқылы алынады. Идеал тұрғыдағы қатынас ретінде сызықты тәуелділік қарастырылады.

АӨЖ шығыс тоғының фазасы түрлендіру функциясына сәйкес шунт қозғалысына пропорционал болып келеді және ол өрнек мынадай түрде жазылады:

$$\Phi = a_0 + a_1 x \quad (3.70)$$

x шунт қозғалысының дискретті өзгерісі Φ мәндер қатарын береді. a_0 және a_1 түзуінің коэффициенттері (3.71) теңдеулердегі ең кіші квадраттар әдісі арқылы анықталады:

$$a_0 = \frac{\sum_1^n \varphi_i \cdot \sum_1^n x_i^2 - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n x_i \cdot \varphi_i}{n \cdot \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i \right)^2};$$

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum_1^n x_i \cdot \varphi_i - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n \varphi_i}{n \cdot \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i \right)^2} \quad (3.71)$$

Абсолютті қателік мәні анықталған соң АӨЖ абсолютті қателігінің шунт қозғалысына қатысты тәуелділігі сызылады, дисперсия, ортаквадратты ауытқу және алынған қателік мәндері анықталады.

Қалдық қателік дисперсиясы (3.72) формула арқылы анықталады

$$D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\bar{\varphi}_i - \varphi_i \right)^2 \quad (3.72)$$

АӨЖ алынған қателігі өлшенетін диапазонда болатын орташа квадраттық ауытқу арқылы анықталады (бұл жағдайда ақпараттық сызық ұзындығына тең болатын шунттың толық бір орын ауытыруын айта аламыз).

Осылайша, имитациялық модель шығысында АӨЖ қателігер мәнін ала аламыз.

3.9 Алынған нәтижелерді талдау және имитациялық модельді қолдану ұсыныстары

Генераторға арналған талаптарды анықтау мақсатында сызықты қозғалыстың АӨЖ имитациялық моделі құрылып электрлік параметр(кедергі, индуктивтілік, АӨЖ эквивалентті ауыстыру схемасының өзара индуктивтілігі) мәндері анықталды. Имитациялық модельді құрудың басты мақсаты - АӨЖ метрологиялық ерекшеліктерін зерттеу және осы параметрлердің АӨЖ қателіктеріне әсер етуін бақылау.

Имитациялық модель арқылы элементтердің конструктивті параметрлерінің (статор тістерінің саны мен биіктігі, магнит шунтының ені, ауа саңылауының мәні, тісте

ені, өткізгіш материалы, ораманың бұрылыс санынң максималды мәні) АӨЖ метрологиялық ерекшеліктеріне әсерін және олардың қателік мәнін минималды мәнге жеткізудегі өзгерісін анытауға болады.

Имитациялық модельдің басты артықшылықтары:

1. жобаланатын АӨЖ талдау және мәндерін болжау кезіндегі минималды материалдық шығын;

2. АӨЖ жобалау кезінде көп есептеуді талап етпей көптеген физикалық параметрлердің датчик жұмысының қателігіне әсер етуін анықтау арқылы ЭМФ конструктивті параметрлерінің метрологиялық қасиеттеріне талдау жүргізу мүмкіндігі.

Осылайша, құрастырылған имитациялық модель АӨЖ метрологиялық қасиеттерін толық зерттеуге мүмкіндік береді.

3 бөлім бойынша қорытынды:

1. Бойлық магнит өрісі бар редуциялық ЭМФ негізінде жасалған АӨЖ қателігін зерттеуде дәстүрлі әдістерді қолдану оған әсер ететін факторлардың өзара әрекеттесу механизмін анықтай алмайды, сондықтан жеке бір фактордың АӨЖ қателігіне әсер ету дәрежесін анықтау мүмкін емес.

2. Редуциялық ЭМФ тұрғысындағы физикалық процесстер негізінде бойлық магнит өрісі бар сызықты фазалық түрлендіргіш негізінде жасалған АӨЖ имитациялық моделі АӨЖ толық анализ және синтез жасауға сәйкес келеді.

3. Редуциялық ЭМФ тұрғысындағы бойлық магнит өрісі бар АӨЖ имитациялық моделі жобалау кезеңінде АӨЖ метрологиялық ерекшеліктерін алдын ала бағалауға, ЭМФ жұмысын іске асыруға, ЭМФ әр түрлі конструктивті параметрлеріне сәйкес АӨЖ жүйелік қателіктерін талдауға мүмкіндік береді.

4. АӨЖ имитациялық моделі “идеал мәндерден” ауытқитын элементтердің параметрлерінің жеке факторлардың толық жүйелік қателікке қатынас тәуелділігін анықтауға мүмкіндік береді.

4 ТАРАТЫЛҒАН ПАРАМЕТРЛЕРІ БАР ГЕТЕРОГЕНДІ МАГНИТ ӨТКІЗГІШТІҢ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТҮРЛЕНДІРГІШІНІҢ СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚАТЕЛІКТЕРІН ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІ

4.1. СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЖҮЙЕЛІК ҚАТЕЛІГІНІҢ НЕГІЗГІ СЕБЕПТЕРІ

Техникалық жүйелердің (ТЖ) техникалық күйін бағалау үшін практикада оның шығыс элементтерін өлшейді және осы өлшем ақпаратының негізінде ТЖ жұмысқа жарамдылығын немесе жөндеу жұмыстарын талап ететіндігі туралы шешім қабылданады.

Дегенмен өлшеу кезінде z, z_1, \dots ішкі және сыртқы кедергілердің әсерінен өлшеу нәтижелері нақты болмай шығу ұауі туындайды, себебі әр кедергі өз алдына $f(x), f(y), f(z)$ ықтималдылық тығыздығына ие болып табылады. Бірдей өлшем кезінде бірдей өлшем құралымен бірнеше рет өлшеу жүргізген күннің өзінде нәтиже әр кезде әртүрлі болып шығады және ол $x_1 \neq x_2 \neq \dots \neq x_n$

Шаманың шынайы физикалық шамасы деп сандық және сапалық тұрғыда сәйкесінше ТЖ ерекшеліктерін шығыс параметрлері арқылы айқындайтын шаманы айтады.

Шынайы шаманы идеал шама болып келетіндіктен оған ең жақын шама ретінде тәжірибе тұрғыда анықталған x_d нақты шамасын қолданады, мысал ретінде СИ жүйесін нақтылау шамаларын айтуға болады.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып келесі постулаттарды енгізуге болады:

- Қарастырылып отырған шамалардың шынайы шамасы бар және ол әрдайым тұрақты болады.

- Қарастырылып отырған шамалардың шынайы шамасының мәнін анықтау мүмкін емес. Демек, u шамасының өлшеу нәтижесі математикалық тұрғыда өлшенетін шамамен ықтимал тәуелділікпен байланысты болады.

Кейінгі кезде “өлшеу”, “бақылау”, “сынау”, “диагностикалау” терминдерін ажырата бәлу керек. Бақылау – өлшеудің жеке түрі, ол өлшенетін шаманың төзімділікке қаншалықты сәйкес келетінін анықтайды [121]. Сонымен қатар бақылау ТЖ жеке блоктарын орнату, реттеу үшін қолданылады.

Сынау метрологиялық параметрлер арасында едәуір күрделі операцияға ие, оның мақсаты – белгілі бір тізбектегі әрекеттерді орындай отырып объектінің осы реакцияға өзгерісін өлшеу және осы өзгерістерді тіркеу.

Жүйені диагностикадан өткізу – осы уақыт мезетіндегі жүйедегі элементтердің жай-күйін анықтау. Диагностика жасау нәтижесінде осы жүйенің элементтерінің кейінгі техникалық пайдалану кезіндегі күйін болжауға мүмкіндік береді [122].

ТЖ бақылау, диагностикадан өткізу, сынау мақсатында жүргізілген өлшемдерді жүргізу үшін өлшеуді жобалау шарасын жүргізу қажет болады. Оғын мыналар енеді: пайда болуы мүмкін қателіктердің дереккөздерін анықтау, өлшемдерді нақтылайтын параметрлерді анықтау, өлшем санын мен жүйесін белгілеу, қателіктерді анықтау мақсатында кіріс деректерін енгізу, жеке және жалпы қателіктерді анықтау, нақтылық шамасын табу және оның басқа шамалармен салыстыру.

Өлшеу жүйесінің басты ерекшелігі шығыс деректерде қателігі бар ақпаратты қамтамасыз ету. Өлшеу жүйесі көптеген элементтер қатарынан тұратын өте күрделі құрылғы болып табылады. Өр элементтің қасиеттері белгілі бір талапқа сай келу керек, сәйкес келу дәрежесі өз кезегінде өлшеу қателігінің қажет шамасын қамтамасыз етеді. Жүйелік қателіктердің дереккөздерін білу арқылы әр элементке сәйкес талапты қоюға болады, ол қажетті метрологиялық қасиеттері бар өлшеу жүйесін алуға мүмкіндік береді.

Практикалық тұрғыда өлшеу түрлерін пайдаланған кезде оның нақтылығын бағалау міндетті. “Өлшеу нақтылығы” термині, яғни өлшеу нәтижелерінің белгілі бір нақты шамаға жақын болу дәрежесі, нақты ұғымы жоқ және тек өлшеу

операцияларының сапалық салыстыруларында ғана қолданылады. Сандық бағалау мақсатында «өлшеу қателігі» термині қолданылады (қателік неғұрлым аз болған сайын өлшеу нақтылығы соғұрлы жоғары болы келеді). Өлшеу қателігін бағалау – өлшем бірегейлігін сақтаудың басты шарасы болып табылады.

Өлшеу жүйесін жобалау кезіндегі белгілі бір факторға байланысты жүйелік қателіктердің нәтижесі элементтердің параметрлеріне қойылатын талаптарды құруда үлкен рөл атқарады. Сызықты қозғалыстағы өлшеу жүйесінің метрологиядық қасиеттеріне әсер етуші басты факторлар туралы Е. П. Осадчий өзінің еңбектерінде көрсеткен болатын. Бұл факторлар қатарына қуат беруші кернеу параметрлерінің тұрақсыздығы, магнит ораман дайындау кездегі жіберілетін қателіктер, электромагнитті түрлендіргіштің меншікті электромагнитті қасиеттерінің дискретті таралуы және т.б. жатады.

Өлшеу нақтылығыны әсер етуші факторлар саны едәуір көп және өлшеу қателіктерінің классификациясы жалпы тұрғыда шартты түрде бейнеленеді, себебі өлшеу процессіне байланысты қателіктердің болу болмауы да әр түрлі топқа байланысты болады. Осыған байланысты практикалық тұрғыда абсолютті немесе салыстырмалы түрдегі жалпы қателіктердің жүйелік немесе кездейсоқ түрлері ғана қарастырылады [118].

Өлшеу қателігі $\Delta x_{\text{изм}}$ – бұл x шамасының $x_i(x_d)$ шынайы(нақты) шамадан ауытқуын айтамыз:

$$\Delta x_{\text{изм}} = x - x_d \quad (4.1)$$

Аталған өрнектің формасына байланысты өлшеу қателіктері абсолютті, салыстырмалы және келтірілген болып бөлінеді.

Абсолютті қателік $\Delta = x - x_d$ немесе $\Delta = x - x_d$ айырмасы ретінде қарастырылады.

Өрескел қателіктер оператор кесірінен туындайтын, СИ жүйесінің ақауларынан немесе өлшеу кезіндегі шарттың

өзгеруінен пайда болады. Әдетте, өрескел қателіктерді анықтау үшін өлшеу нәтижелерін арнайы критерийлерін қолданады.

Егер қателік кездейсоқ болса, онда оның мәші алдын-ала белгісіз болады. Оның туындау себебі көптеген анықталмаған факторларға байланысты болып келеді. Кездейсоқ қателіктерді толыққанды жою мүмкін емес, дегенмен оның әсерін өлшеу нәтижелерін талдау кезінде азайтуға болады. Ол үшін ықтималдық және статистикалық сипаттамалар белгілі болуы керек (үлестіру заңы, СКО, сенімділік ықтималдығы және сенімділік аралығы).

Әдетте, қозғалыс датчиктерінің жүйелік қателіктерін талдау мақсатында оған әсер ететін факторларға салыстырмалы мультипликативті және аддитивті сезімталдық және өлшеу нәтижелеріне негіз болатын әсер етуші факторлардың градуирлеу мәндерінен ауытқуы сипатталады. [41].

Бұл әдіс, авторлардың еңбектерінде айтылғандай [126], бірнеше кемшіліктерге ие: әсер етуші факторлардың мәндерінің уақыт мезеттері бірдей болу керек, бірақ оны практикалық жағдайларда орнату мүмкін емес, сонымен қатар әсер етуші факторлардың өздері кездейсоқ заңдар бойынша өзгереді.

Соңғы уақытта имитациялық модельдеу нәтижелері бойынша жүйелік қателіктерге анализ жасау мүмкіндігі пайда болды, осы талдауды қолдана отырып әсер етуші факторларды да анықтауға болады.

АӨЖ жүйелік қателігіне талдау жүргізудің мақсаты осы сан мәнді қорытынды нәтижелерінде ескермеу және алып тастау мүмкіндігін қолдану алып тастау болып табылады, ол үшін қателікке әсер етуші факторларды және олардың өзара әрекеттесу функцияларын, АӨЖ түрлендіру функциясының осы факторлардың әсерінен қалай өзгертетінін анықтау қажет.

Әр фактордың жүйелі қателіктерге тәуелділігін талдай отырып, жүйелік қателіктің пайда болуының жалпы моделі жасалады.

АӨЖ жүйелік қателіктерге әсер етуші факторлар туралы Е. П. Осадчий өз жұмыстрында баяндаған болатын [121-122]. Бұл факторларға қуат беруші кернеу параметрлерінің идеал болмауы, магнит орамын дайындау кездегі жіберілетін қателіктер және гистерезис жатады.

Бүкіл факторларын 2 топшаға бөлуге болады:

- а) АӨЖ электрлік параметрлері арқылы анықталатын факторлар;
- б) АӨЖ конструктивті параметрлері арқылы анықталатын факторлар.

Бірінші топқа қуат көзі жұмысы кезіндегі параметрлер кіреді:

амплитуда теңсіздігі, екіфазалы жұмыс режимі кезіндегі екіфазалы генератордың шығыс кернеуінің синусоидалы және ортогональды болмауы, генератор жиілігінің тұрақсыздығы;

бірфазалы жұмыс режимінде сәйкесінше – күшейткіш каскадтың күшейту коэффициенттерінің теңсіздігі қуат беруші кернеулердің фазалық ауытқуын қате орнатуы және фазалық түрлендіргіштің салыстырмалы қателігі.

Екінші топқа мына факторлар жатады:

- датчик тістерінің саны;
- магнит орамын жасаудағы нақтылық;
- орама бұрылыстары санының дискретті таралуы;
- магнит орамының біркелкі болмауы;
- синусты және косинусты орама тізбектеріндегі кедергінің тең болмауы;
- магнит шунтының есептеленетін ұзындық шамасы шынайы ұзындықтан ауытқуы.

Идеалды датчикте мына шарттар орындалады:

- шунт жоқ жерде магнит орамының кез келген аймағында электромагниттік жүйеге өсіне перпендикуляр болатын магнит өрісінің конфигурациясы тең болып келеді;
- шунт тең қашықтыққа орын ауыстырған кезде индукцияның лездік шамасы бірдей уақыт бұрышына өзгереді;

- шунт орын ауыстырған кезде электромагниттік жүйенің (ЭМЖ) саңылауындағы магнит индукциясының таралуы өзгермейді.

АЖ соңғы қателігі осы факторлардың жиынтық мәндерімен анықталады. Екіфазалы режимде амплитудалық қателік синусты және косинусты генератор кернеулерінің айырмасынан болады, ал бірфазалы режимде сумматор кірісіндегі синусты және косинусты кернеулердің айырмасы есебінне пайда болады. Екіфазалы режимдегі фазалық қателік генератордағы синусты мен косинусты кернеулердің фазалық ауытқуынан, ал бірфазалық режимде фазатүрлендіргіштің синусты кернеу қателінен туындайды.

Қателіктерді талдаудың басты мақсаты – аналитикалық өрнектерді алу арқылы әр фактордың АӨЖ-ге әсерін анықтау. Бірақ, АӨЖ әсер ететін жеке фактордың дәрежесін имитациялық компьютерлік модель арқылы табу тапсырманы едәуір жеңілдетеді. Осы бөлімде қарастырылатын имитациялық модельдің тестілеу нәтижелері шынайы сызықты қозғалатын АӨЖ-нің физикалық процесстерінің математикалық тұрғыда өрнектелген теңдеулермен сипатталған.

Өлшеу жүйесін анықтау мақсатында осы жүйеге әсер етуші келесі факторлар белгіленген [117]:

- сумматор кірісіндегі синусты және косинусты орамаларының кернеу амплитудасының теңсіздігінен болған қателік;

- сумматор кірісіндегі синус пен косинус кернеуінің ортогоналдылығына байланысты қателік (фазалық қателік);

- орамалардың бұрылыстары санының дискреттілігіне байланысты қателік;

- магнит өткізгіштің магниттік сипаттамаларының дискреттілігіне байланысты қателік;

- жылжымалы магнит өткізгіштің ұзындығының есептік мәннен ауытқуына байланысты қателік;

- қуат генераторының жиілігі өзгергенде пайда болған қате;

- магниттік сымның ойықтарын жасауда туындаған қателік.

Жүйелік қателіктерді мына жағдайлада талданады:

- таратылған параметрлері бар магнит орамындағы меншікті магнит өткізгіштігінің бүкіл орамға біркелкі таралуы;

- магнит орамындағы ауа саңылауы ұзындығының өзгермеуі;

- магнит орамындағы магнитті қасиеттердің біркелкілігі.

АЖ нәтижесінде алынатын қателігі бүкіл факторлардың қосындысы болып келеді. Бірфазалы режимді амплитудалық қателік- сумматор кірісіндегі синусты және косинусты кернеулердің максималды мәндерінің айырмасы. Бірфазалы режимді фазалық қателік- фазатүрлендіргіштің синусты кернеудің қателігі.

Жеке факторлардың қателіктерге әсер етуші күшіне талдау жасау барысында түрлендіру функциясын қолдана отырып қателіктердің аналитикалық тәуелділіктерін анықтауға болады. Дегенмен, компьютерлі модельді қолдана отырып жасалған анализ нақтырақ болып есептеледі, себебі тек математикалық модель ғана теориялық тұрғыда талдау жасауға келмейтін факторлар қатарын ескереді.

Кездейсоқ қателіктерді болдырмаудың 2 тәсілі бар: өлшеу нақтылығын ұлғайту (сх азайту) және n өлшеу санын көбейту. Кей уақытта өлшеу процесі басталмай жатып қателік дереккөздерін анықтау арқылы жүйелік қателікті жоюға мүмкіндік бар, ал өлшеу жасалып жатқан уақытта нәтижелерге түзету енгізу арқылы қателікті жоюға болады.

Өлшеу қателіктерін алдын алу қателікті болдыртпаудың ең рационалды тәсілі және ол температура, магнит өрісі, вибрация және т.б факторлардың әсер етуін жою арқылы жүзеге асырылады. Бұларға СИ жүйесін тексеру, жөндеу, түзету жұмыстары да кіреді.

Кездейсоқ қателікке қарағанда жүйелік қателік пайда болу дереккөздеріне байланысты жеке топшаларға бөлініп қарастырылады және ол өз кезегінде методикалық, инструменталды, субъективті топшалар болып бөлінеді [119].

Субъективті жүйелік қателіктер оператордың жеке ерекшеліктеріне байланысты болады. Әдетте, бұл оператордың тәжірибесінің аз болуынан пайда болады. Көбінесе қателіктер методикалық немесе инструменталды топшалар кесірінен пайда болады.

Методикалық жүйелік қателік өлшеу әдісінің жетілмегендігі, СИ жүйесін қолдану әдістері, формулаларды есептеудегі қателік, нәтижелерді қате дөңгелектеу әсерінен болады.

Инструменталды компонент СИ жүйесінің өзіндік қателігі, дәлдік шкаласының әсерінен туындайды.

Жүйелік қателіктерді методикалық пен инструменталды топшаларға бөлу кезіндегі дәлдікті сипаттайтын тармақтар:

- өлшеу нақтылығын көбейту үшін лимиттейтін факторларды ескеру, яғни әдістемені жетілдіру немесе СИ жүйесін дәлірек таңдау

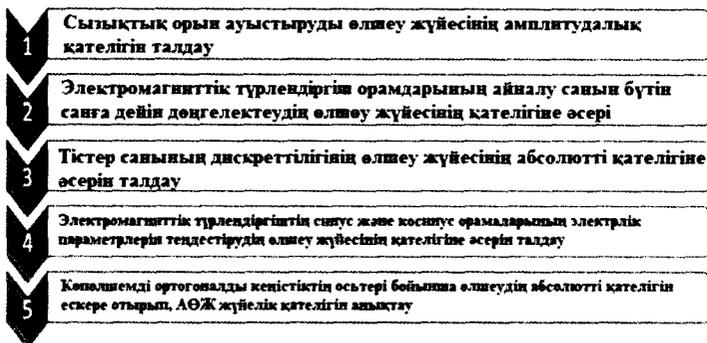
- белгілі бір уақыт аралығында тексеру жүргізу арқылы жалпы қателіктерді анықтау

- инструменталды компонентті әдістеме дайын болғанға дейін бағалауға болады, ал таңдалған әдістің ықтимал дәлдік мүмкіндіктерін тек әдістемелік компонент анықтайды.

Жоғарыда айтылған мәліметтерге сүйенсек, әр тармақты жеке дара қарастырып талдап барып, жиынтығын шығарған жөн.

Кей жағдайда, қателік дереккөздерін анықтаған жағдайда қателікті алдын ала жоюға мүмкіндік бар, ал егер өлшеу жасалып жатқан болса нәтиже мәндеріне түзету енгізу арқылы қателікті жоюға болады.

Өлшеу қателіктерін алдын алу – ең рационалды тәсіл болып табылады және ол температура, магнит өрісі, вибрация және т.б факторлардың әсер етуін жою арқылы жүзеге асырылады. Сонымен қатар бұған СИ жүйесін тексеру, жөндеу, түзету жұмыстары да кіреді.



4.1 сурет. Ортогоналды кеңістіктегі абсолютті қателікті ескеретін сызықты қозғалыс кезіндегі АӨЖ жүйелік қателіктерін талдау әдісі

Сызықтық қозғалыс кезінде пайда болатын жүйелік қателігінің АӨЖ дәлсіздігіне әсер етуін жұмыс алгоритмінің көмегімен анықтауға болады. Бұны іске асыру үшін ортогоналды кеңістіктегі абсолютті қателікті ескеретін сызықты қозғалыс кезіндегі АӨЖ жүйелік қателіктерін талдау әдісін қолдануға болады (4.1 сурет).

4.2. Сызықты қозғалыс кезіндегі өлшеу жүйесінің амплитудалық қателіктеріне талдау

Амплитудалық қателіктің басты пайда болу себебі сумматордың кірісіндегі кернеулердің амплитудасының теңсіздігі.

Екінші тарауда синусты ораманың шығыс кернеуінің тендеуі көрсетілген;

$$\underline{U}_s = R_{ns} \cdot \underline{I}_s = R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0np} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\Delta} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \quad (4.2)$$

ФВ1 фазатүрлендіргіштің шығысындағы кернеу:

$$\begin{aligned} \underline{U}'_s &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}} = \\ &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{-j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \cdot (-j) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Косинусты ораманың шығыс кернеуі:

$$\underline{U}_c = R_{nc} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \quad (4.4)$$

R_{ns} и R_{nc} тең болған кездегі сумматордың шығыс кернеуі:

$$\begin{aligned} \underline{U}_\Sigma &= \underline{U}_c + \underline{U}'_s = \\ &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot \left(\cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) + j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right) \right) = \\ &= R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\underline{\Delta}} \cdot e^{j\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)} = \\ &= \underline{K} \cdot e^{j\left(\frac{2\pi}{l} x_{мп}\right)} = K \cdot e^{j\alpha} \cdot e^{j\varphi} \end{aligned} \quad (4.5)$$

мұндағы $\underline{K} = K \cdot e^{j\alpha} = R_{ns} \cdot \underline{E}_r \cdot \frac{j\omega \frac{l}{\pi} Y_{0mp} W_r W_m \sin\left(\frac{\pi}{l} l_{мп}\right)}{\underline{\Delta}}$ —

өлшеу жүйесінің элементтеріне тәуелді коэффициент. Мұнда

α –ФВ2 фазатүрлендіргішінің фазалық бұрылу бұрышы, ол тірек кернүі шамасын кұрайды және «Нөл» бұрышын параметрін орнатады.

Коэффициент аргументі деп орын ауыстыруға пропорционал бұрышты айтамыз:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{\sin \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right)}{\cos \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right)} \right) = \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \quad (4.6)$$

(4.6) формуласындағы φ орын ауыстыруға пропорционал бұрыш.

Қосындылауыштын кірісіндегі синус пен косинус кернеулерінің амплитудаларындағы теңсіздіктің әсерін анықтайық. Кернеулердің фазалық ығысуы 90° , ал кернеу амплитудалары бір-біріне тең емес деп алайық. Кернеудің айырмашылығына негізделген екі кернеуге теңсіздік дәрежесін кеңейтейік әр түрлі бағытта 0,5%-ға, содан кейін

$$\underline{U}'_s = \underline{K} \cdot j \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \cdot (1 - 0,005) \quad (4.7)$$

және

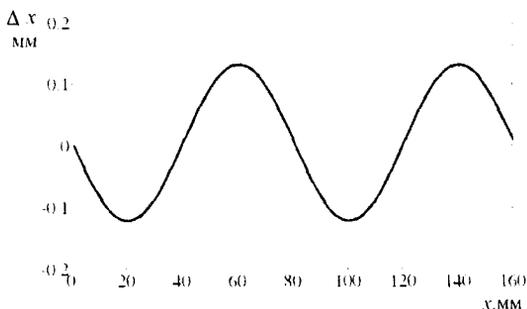
$$\underline{U}_c = \underline{K} \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \cdot (1 + 0,005) \quad (4.8)$$

Жиынтық кернеу мәні немесе сумматордың шығысындағы кернеу төмендегі теңдеу арқылы есептеледі:

$$\begin{aligned} \underline{U}_\Sigma &= \underline{U}_c + \underline{U}'_s = \underline{K} \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \cdot (1 + 0,005) + \underline{K} \cdot j \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \cdot (1 - 0,005) = \\ &= \underline{K} \cdot \left[\cos \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) + j \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \right] + 0,005 \cdot \underline{K} \cdot \left[\cos \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) - j \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}} \right) \right] = \end{aligned}$$

$$= \underline{K} \cdot e^{j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{мп} \right)} + 0,005 \cdot \underline{K} \cdot e^{-j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{мп} \right)} \quad (4.9)$$

Сумматор шығысындағы кернеу мәші екі кернеудің қосындысына тең шама. Кернеудің бірінші шамасы \underline{U}'_s және \underline{U}_c тең болғандағы амплитуда болып келеді. Бұл шаманың бастапқы фазасы өлшеніп отырған орын ауыстыру мәніне пропорционал болып келеді, ал векторы комплексті кеңістікте өлшенетін орын ауыстыру мәні ұлғаятын жағдайда сағат тіліне қарсы бағыттағы бұрышқа өзгереді және орын ауыстыруға пропорционал болады. Кернеудің екінші шамасы біріншінің 0,5% құрайды және бұның векторы өлшенетін орын ауыстыру мәні ұлғаятын жағдайда сағат тілі бағытындағы бұрышқа өзгереді және орын ауыстыруға пропорционал болады. Осы екі кернеудің өзара әрекеттесуінің нәтижесінде абсолютті немесе амплитудалық қателік мәні алынады. Қозғалмалы магнит орамының абсолютті қателігінің орын ауыстыруға қатысты тәуелділік графигі 4.2 суретте көрсетілген.



4.2 сурет Синусты және косинусты орамалардағы каналдардың күшейюінен пайда болған коэффициенттерден АӨЖ абсолютті қателігі

Магнит шунты қозғалғандағы синусты және косинусты орамалардың каналдарының күшейгендегі коэффициенттердің теңсіздігінен пайда болған АӨЖ абсолютті қателігі.

Бұндай тәуелділік имитациялық модель көмегімен алынған боалтын. Электромагнитті түрлендіргіштің өлшелмелі орын ауыстыруы 160 мм. Ақпараттық сызықтағы таратылған магнит орамының 16 тісі бар. Каналдар 1% күшейген кездегі максималды абсолютті қателік мәні 0,16 мм. 160 мм орын ауыстыру кезіндегі осы айырманың өлшеу шектеріне қатынасы 0,1%.

4.3. Сызықты қозғалыстағы өлшеу жүйесінің фазалық қателіктеріне талдау

Егер жоғарыда айтылғандай электромагнитті түрлендіргіш бірфазалы режимде жұмыс жасайтын бола, сумматордың шығысына \underline{U}'_s және \underline{U}_c тең болатын екі кернеу беріледі. Осы кернеулер арасындағы фазалық ауытқу 90° немесе $\pi/2$ радиан болу керек. Однако реальная характеристика фазовращателя не является идеальной. Дегенмен, фазалық түрлендіргіш пен оның шығысындағы фазалық ауытқу шынайы шамадан 0,01% өзгереді. Сонда

$$\underline{U}'_s = \underline{K} \cdot j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) \cdot \left[\cos\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) - j \cdot \sin\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \right] \quad (4.10)$$

және

$$\underline{U}_c = \underline{K} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) \cdot \left[\cos\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) + j \cdot \sin\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \right] \quad (4.11)$$

Жиынтық кернеу мәні немесе сумматордың шығысындағы кернеу:

$$\underline{U}_\Sigma = \underline{U}_c + \underline{U}'_s = \underline{K} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) \cdot \left[\cos\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) + j \cdot \sin\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \right] +$$

$$\begin{aligned}
& + \underline{K} \cdot j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) \cdot \left[\cos\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) - j \cdot \sin\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \right] = \\
& = \cos\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \left[\underline{K} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) + \underline{K} \cdot j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) \right] + \\
& + j \cdot \sin\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \left[\underline{K} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) - \underline{K} \cdot j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right) \right] \quad (4.12)
\end{aligned}$$

$$\cos\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) = 0,99997 \quad (4.13)$$

Ескере отырып

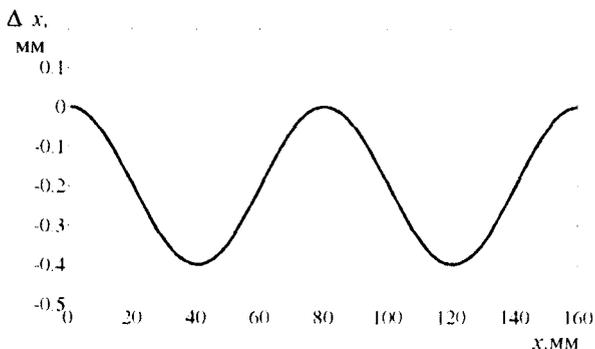
$$\text{ал} \quad \sin\left(0,005 \cdot \frac{\pi}{2}\right) = 0,0078 \quad (4.14)$$

Фазометр кірісіндегі кернеудің шығыс мәні векторының теңдеуі:

$$\underline{U}_{\Sigma} = 0,99997 \cdot \underline{K} \cdot e^{j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right)} + j \cdot 0,0078 \cdot \underline{K} \cdot e^{-j \cdot \left(\frac{2\pi}{l} x_{\text{мп}}\right)} \quad (4.15)$$

Сумматордың шығыс кернеуі екі кернеудің қосындысына тең шама. Кернеудің алғашқы шамасы өзінің фазасын орын ауыстыруға пропорционал күйде өзгертеді және фазаның идеал ауытқуы кезінде шығыс кернеу мәніне тең болады. Кернеудің екінші шамасы бірінші шамадан 0,78 % құрайды. Бұл кернеу бастапқы күйде бірінші кернеуге қатысты фаза бойынша 90° ауытқиды, ал комплексті кеңістікте абсолютті қателікті болдырып орын ауытыру шамасы үлкейген кезде сағат тілі бағытында қозғалады. 4.3 суретте өлшеудің абсолютті қателігінің ФВ1 фазалық ауыстырғышының

кателігі 0,1% кезінде орын ауыстыру 90° бұрыш шамасына артта қалғандағы тәуелділігінің графигі ұсынылған.



Сурет 4.3 ФВ1 фазалық ауыстырғыштың абсолютті кателігінің өлшенетін орын ауытыру шамасына тәуелділік графигі

Максималды абсолютты кателік 0,25 % тең. График математикалық модель негізінде құрылғандықтан теориялық формулаға негізделген графикпен сәйкес келмейді.

4.4. Электромагнитті түрлендіргіштің орамасындағы бұрылыстар санын бүтін сандар шамасына дейін дөңгелектеудің өлшеу жүйесіне әсері

Шынайы электромагнитті түрлендіргіш 3 орамаға ие. Біркелкі орамада бұрылыстың кез келген саны бар және ол өлшеу кателіктеріне әсер етпейді. Синусты және косинусты ормадағы бұрылыс санын мына формула арқылы анықтайды:

$$W_s = W_m \sin\left(\frac{2\pi}{n}(k - 0,5)\right) \quad \text{және}$$

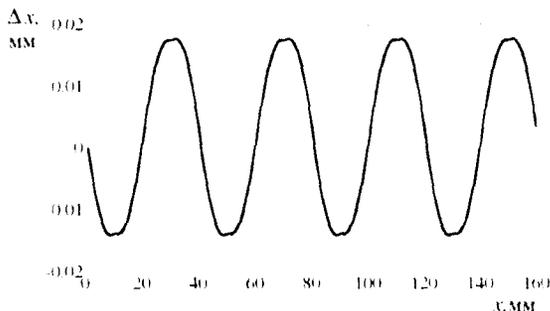
$$W_c = W_m \cos\left(\frac{2\pi}{n}(k - 0,5)\right) \quad (4.16)$$

Есептелінетін бұрылыс саны абсолютті кезде бөлшек сан ретінде көрсетіледі, ал негізінде ол әр кезде бүтін сан болып келеді. Сондықтан бөлшек сан бүтін санға дейін дөңгелектенеді. Бұл процесс өлшеу жүйесіндегі қателіктерге әкеп соқтырады.

Практикалық тұрғыда дөңгелектеу процессінің өлшеу жүйесіне қаншалықты дәрежеде әсер ететінін есептеу мүмкін емес. Дегенмен электромагнитті түрлендіргішті сипаттайтын теориялық жұмыстарда сумматордың шығысындағы бастапқы фазадағы кернеудің максималды қателігін есептеудің (4.17) формуласында келтірілген :

$$\Delta\varphi_m = \frac{\Delta W_s}{W_m \cos\alpha_1} \quad (4.17)$$

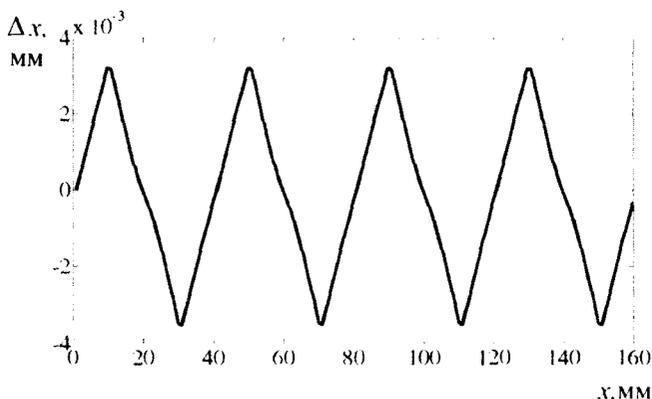
Ақпараттық жүйедегі тістер санын 4 деп есептеу ұсынылады. Бұл жағдайда бұрылыс санының дөңгелектеген кездегі әсерін тек ширек тістер санына есептеу арқылы білуге болады. Бұрылыс санының дөңгелектеген кездегі абсолютті қателік периодты болып келеді. Суретте абсолютті қателіктің өлшенетін орын ауыстыруға тәуелділік графигі көрсетілген.



Сурет 4.4 Бұрылыстың максималды саны болғандағы абсолютті қателік шамасы

Көрсетілген график өлшеу жүйесінің компьютерлік моделі арқылы алынған. График өлшенетін орын ауыстыруға

қатысты қателік тәуелділігінің периодтылығын нақты дәлелдейді. Өлшенетін шама мәнінен бұрылыс санының максималды ауытқуы 0,5 бұрылысқа тең. Жоғарыдағы формулаға сүйенсек, бұрыштық шаманың абсолютті қателігі бұрылыстың максималды санына кері пропорционал. 4.4 суретте бұрылыстың максималды саны $W_m = 100$ тең болғандағы абсолютті қателік шамасы графигі көрсетілген.



Сурет 4.5 Бұрылыс саны $W_m = 200$ болғандағы электромагнитті түрлендіргіш өлшеу жүйесінің абсолютті қателігі

Абсолютті қателіктің максималды сан мәні 0,015 мм. Максималды бұрылыс санын $W_m = 200$ жеткізге кезде абсолютті қателік 0,0035 мм шамасына азаяды. $W_m = 200$ болғандағы график, 4.5 суретте келтірілген. Графика периодты болып келеді.

4.5. Өлшеу жүйесіндегі тістер санының дискреттілігінің абсолютті қателікке әсерін талдау

Бірфазалы режимде жұмыс жасайтын сызықты қозғалатын электромагнитті түрлендіргіштің таралатын параметрі бар бүкіл магнит орамы бойындағы бұрылыс саны синусоидалы және косинусоидалы таралу заңдары бойынша сипатталған. Теориялық тұрғыда бұл тек орама салынатын ойық саны шексіз болған жағдайда ғана қарастырылады. Практикада түрлендіргіш конструкциясында таралған бұрылыс белгілі бір ойыққа сабырып салынады, сондықтан оның саны шектеулі болып келеді. Осыған байланысты ойық саны бөлшек сан болуы мүмкін емес. Демек, магнит орамы тістер аймағындағы синусты және косинусты орамаларда бұрылыс саны өзара тең шамалас болады.

Екінші бөлімде айтылғандай, қозғалмалы магнит орамындағы бұрылыстардың пайдалы әрекеттесуін айқындайтын басты параметр меншікті магнит өтімділігінің өсімі деп айтылған болатын. Егер магнит орамы ұзындығы тістер бөлімінің ұзындығына тең деп есептесек, магнит орамы тіс аймағынан өткен кезде магнит ағынның өсімі сызықты заң бойынша өседі, кейін орын ауыстырудың өлшеміне қарай шамасы азаяды.

Қозғаламалы магнит орамы орналасқан аймақта магнит өтімділігінің өсімі (4.18) формуласымен есептелінеді:

$$\underline{Y}_{0mp} = \underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h \cdot \left[\frac{l_{cp} - l_{ct} + 2 \cdot \delta}{\frac{\underline{\mu} \cdot l_{cp}^2}{(\underline{\mu} - 1)} + \underline{\mu} \cdot 2 \cdot \delta \cdot (l_{cp} - l_{ct}) - l_{cp} \cdot l_{ct}} \right] \quad (4.18)$$

Меншікті магнит өтімділігінің осы бөлігі синусты және косинусты орамалардың шығыс кернеу мәнін шығарады, бұлардың амплитудасы акпараттық сызықтың бойында орналасқан магнит орамына тәуелді болады.

ЭҚК өсімі бір тіс бөлімінің аймағында тек осы тіс бөлімігінің магнит ағыны өсіміне ғана пропорционал және орамадағы бұрылыс санына тәуелді болады. Аймақта орналасқан бұрылыс саны өзгеріссіз болады.

Орамадағы ЭҚК сызықты заң бойынша өзгерісі өлшеу жүйесі қателігіне әкеледі.

Екіфазалы режимдегі датчик қолданылғанда датчик орамалары екіфазалы кернеу көзінен қуат алады. Идеалды тұрғыда орамадағы магнит күші уақыт бойынша және ақпараттық тізбекте синусоидалы заң бойынша өзгеру керек, яғни

$$IW(t) = I_m W_m \sin\left(\omega t + \psi + \frac{2\pi}{l} x\right) \quad (4.19)$$

мұндағы I_m – орамадағы токтың максимал мәні;

W_m – теориялық тұрғыдағы орамадағы бұрылыстың максималды саны;

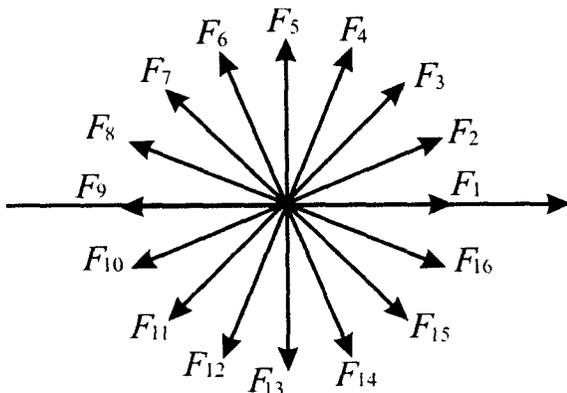
ψ – токтың бастапқы фазасы;

l – ақпараттық тізбек ұзындығы

x – ақпараттық тізбек басы мен қарастырылатын нүкте арасындағы қашықтық.

Бірақ, практикада ақпараттық тізбекте шектеулі ғана тіс аймағы болады. Әр аймақта тек бір магнит күші ғана әсер етеді. Олардың амплитудалары өзара тең, бірақ көршілес

күштер $\Delta\varphi = \frac{2 * \pi}{n}$ радиан фазасына тең шамаға ауытқиды.



Сурет 4.6 Аймақтағы магнит күштерінің векторлық диаграммасы

Жалпылама магнит күштер жүйесін n - фазалы жүйелік векторлар ретінде қарастыруға болады. 4.6 суретте $n = 16$ болғандағы аймақтағы магнит күштерінің векторлық диаграммасы көрсетілген.

Егер шунт басапқы орында болса, яғни оның ортасы алғашқы аймақтың орта тұсымен сәйкес келсе, онда оның магнит ағыны бірінші аймақтағы магнит күші шамасымен

анықталады. Ол $IW e^{j\varphi_1}$ шамасына пропорционал болады. Магнит ағынының шамасы аймақтағы магнит орамының геометриялық параметрлері мен магнит күші шамасы арқылы анықталады. Магнит шунты Δx шамасына өзгерген кезде бірінші аймақтың магнит өтімділігі азаяды, бұл бірінші аймақтағы магнит ағыны шамасы мен шығыс ЭҚК шамасының пропорционал күйде азаятынына алып келеді.

Егер көрсетілген мысалда шунттың ортасы мен бірінші аймақтың орта тұсы сәйкес келетін болса онда ЭМС шығыс кернеуі былай анықталады :

$$\underline{U}_d = U e^{j\varphi_1} \quad (4.20)$$

Егер шунт осі $x = \frac{l}{n}$ қашықтыққа тең орын ауыстыруға тең болып, екінші аймақтағы осыпен сәйкес болса, онда

$$\underline{U}_d = U e^{j\varphi_2} \quad (4.21)$$

ЭКК бастапқы фазасын 0 деп қабылдасак

$$\varphi_1 = 0;$$

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{n} \quad (4.22)$$

Шунт бірінші аймақтан екінші аймақтан орын ауыстырған кезде, біркелкі ораманың кернеуі (4.23) заң бойынша өзгереді:

$$\begin{aligned} \underline{U}_d &= \underline{U}_1 + \underline{U}_2 = U \left(\frac{m-x}{m} \right) e^{j\varphi_1} + U \frac{x}{m} e^{j\varphi_2} = \\ &= U \left[\left(\frac{m-x}{m} \right) + \frac{x}{m} \cos \varphi_2 + j \frac{x}{m} \sin \varphi_2 \right] = U p e^{j\varphi} \end{aligned} \quad (4.23)$$

P коэффициенті x орын ауыстыру функциясындағы вектордың салыстырмалы ұзындығының шығыс кернеуін анықтайды:

$$\begin{aligned}
 p &= \sqrt{\left(\left(\frac{m-x}{m}\right) + \frac{x}{m} \cos \chi_2\right)^2 + \frac{x^2}{m^2} \sin^2 \varphi_2} = \\
 &= \sqrt{\left(\frac{m-x}{m}\right)^2 + 2\left(\frac{m-x}{m}\right) \frac{x}{m} \cos \varphi_2 + \frac{x^2}{m^2}}.
 \end{aligned}
 \tag{4.24}$$

Идеалды тұрғыда магнит күші біркелкі таралатын кезде шығыс кернеу аргументі шунт $\varphi = \frac{2\pi}{l} x$ заң бойынша орын ауыстырған кезде өзгеру қажет.

Графикте бейнеленгендей, тістер саны $n = 24$ болғанда және шунт 1 қадам орын ауыстырған кезде шығыс кернеу амплитудасының өзгерісі бір пайыздан аспайды.

Фазаның идеал шамадан ауытқуының абсолютті шамасы (4.25) формуласымен анықталады:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{l} x - \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi_2}{\frac{m}{x} - 2 \sin^2 \frac{\varphi_2}{2}}
 \tag{4.25}$$

Есептеуге ыңғайлы болу мақсатында орнекті (4.26-4.27) түрге келтіреміз:

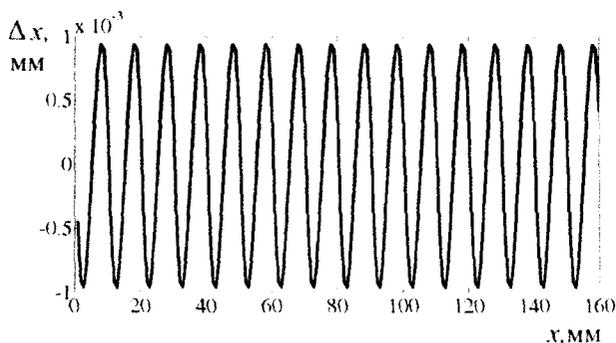
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{n} \frac{x}{m} - \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi_2}{\frac{m}{x} - 2 \sin^2 \frac{\varphi_2}{2}} = \frac{\varphi_2}{x} - \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi_2}{\frac{m}{x} - 2 \sin^2 \frac{\varphi_2}{2}}
 \tag{4.26}$$

немесе

$$\Delta\varphi = \left(\frac{x}{m}\right)\varphi_2 - \arctg \frac{\sin\varphi_2}{\frac{m}{x} - 2\sin^2\frac{\varphi_2}{2}} \quad (4.27)$$

Жүргізілген есептеулер жобалау кезінде магнит күшінің дискретті таралуының еш қиындық туғызбайтынын көрсетеді.

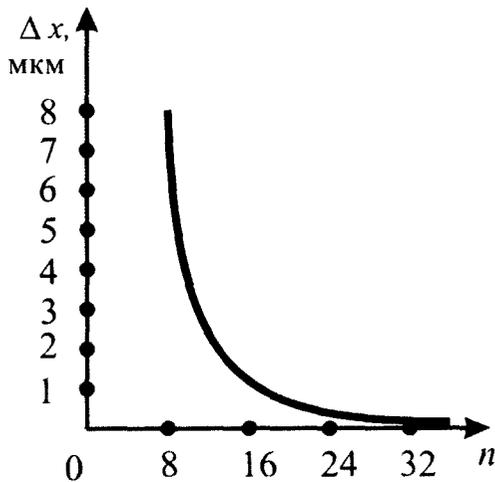
Тіс саны белгіленген болса АӨЖ абсолютті қателігі шунт орын ауыстырған кезде өзгереді, график 4.7 суретте көрсетілген. Абсолютті қателіктің максималды мәні $1 \cdot 10^{-3}$ мм, егер максималды орын ауыстыру мәні 160 мм болса.



4.7 Сурет Ақпараттық тізбектегі шунт орын ауыстырған кездегі абсолютті қателіктің өзгеруі

Жүргізілген есептеулерге сүйенсек, жобалау кезінде магнит күшінің дискретті таралуының еш қиындық туғызбайды.

Фазаның тіс саны шамасынан максималды ауытқуы 4.8 суретте көрсетілген.



Сурет 4.8 Фазаның максималды ауытқуының тістер санына тәуелділігі

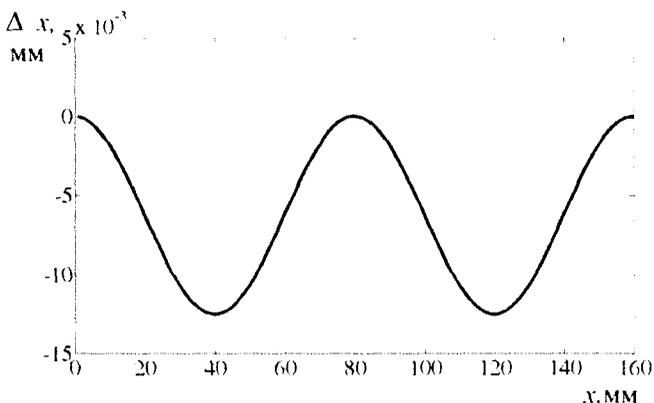
Басқа бөлімде айтылғандай, ақпараттық жүйедегі тістер санын 4 шамасында есептеу ұсынылады. Осы жағдайда бұрылыс санының дөңгелектеген кездегі әсерін тек ширек тістер санына есептеу арқылы білуге болады. Бұрылыс санының дөңгелектеген кездегі абсолютті қателік периодты болып келеді. Графикте тәуелділік графигі көрсетілген.

4.6. Электромагнитті түрлендіргіштің синусты және косинусты орамаларының электрлік параметрлерін теңдестіруінің өлшеу жүйесіне әсері

Екінші бөлімде синусты және косинусты орамаларды теңдестірудің керектігі туралы дәлелденген болатын. Өлшеу жүйесінде пайда болатын қателіктің бірден-бір себебі-синусты және косинусты орамаладағы электрлік параметрлердің теңдестірілмеуі болып табылады. Ақпараттық тізбектегі магнит орамында орналасқан ойықтардағы пассивті бұрамалар санының тең болмауы индуктивті және

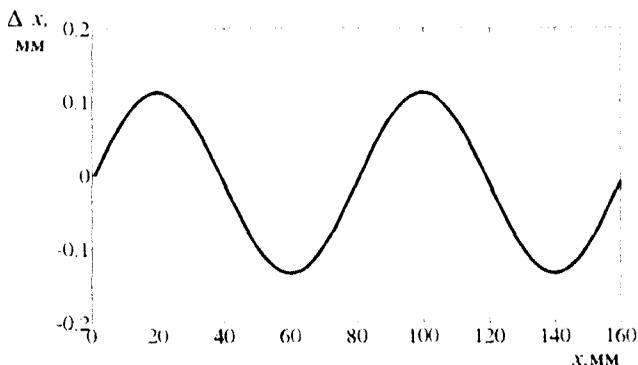
белсенді кедергінің теңсіздігіне әкеліп соқтырады. Электрлік параметрлердің теңдестірілмеуінің тағы бір себебі сәйкес тізбекті орайтын сымдардың ұзындығының тең болмауы. Теңдестіру белсенді және реактивті кедергіледі алу мақсатында жасалатын процесс.

Индуктивті және резистивті кедергілердің өлшеу жүйесіне әсері туралы өткен тарауда қарастырылған. Теңгерімсіздік дәрежесін анықтау мақсатында программада индуктивті кедергі шамасын номиналдық шамадан 1 % өсірген. Оның графигі 4.9 суретте келтірілген. Максимальная қателік шамасын 0,013 мм.



Сурет 4.9 Өлшеу жүйесінің абсолютті қателігінің максималды шамасы

Абсолютті қателіктің басты себебі - орамадағы белсенді кедергілердің теңсіздігі болып табылады. Компьютерлік модельде осы әдіске сүйене отырып синусты және косинусты орамадағы белсенді кедергі өзгерісінің мәндері 1 % деп белгіленген. 4.10 суретте істелінген тәжірибенің қорытынды графигі бейнеленген.. Максималды орын ауыстыру мәні 160 мм болған кезде максималды абсолютті қателік шамасы 0,15 мм құрайды .



Сурет 4.10 – Тәжірибе нәтижесі

Орамадығы индуктивті және белсенді кедергілердің теңсіздігінің әсер ету дәрежесі осы параметрлердің қатынасына тең болады. Қарастырылып отырған жағдайда теңгерімсіздік 1 % болғанда абсолютті қателік мәні едәуір өсетіні анықталды. Теңгерім тек қозғалмалы магнит орамы жоқ болған кезде ғана жасалу керек

4.7 Шунт ұзындығының АӨЖ қателігіне әсер етуін талдау

АӨЖ шығыс кернеуінің амплитудасы магнит шунты орналасқан датчик тістерінің магнит күштерінің векторлық қосындысына тең. Демек, магнит шунты ұзындығын ұлғайтқан сайын АӨЖ шығыс кернеу мәнін де арттыруға болады.

Мысал ретінде магнит шунты ұзындығы тістер бөлімі санына тең кезді қарастырайық. X қашықтыққа орын ауыстырған шунт бірінші тістегі магнит күші әсерін азайтып, үшінші тістегі магнит күшінің шығыс кернеуге әсерін арттырады. Шунт осы траекториямен орын ауыстырғанда кезде екінші тістегі магнит күші шамасы өзгеріссіз қалады.

Шығыс кернеу:

$$\underline{U}_{\text{вых}} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = U_1 e^{j\varphi_1} + U_2 e^{j\varphi_2} + U_3 e^{j\varphi_3} \quad (4.28)$$

$$\text{Егер } \varphi_1 = 0, \text{ онда } \varphi_2 = \frac{2\pi}{n} \text{ и } \varphi_3 = 2\frac{2\pi}{n}.$$

Шунт $x < c$ кашыктыкка қозғалғанда сәйкес кернеулер (4.29) тең болады:

$$U_1 = U \frac{c-x}{c}, \quad U_2 = U \quad \text{және} \quad U_3 = U \frac{x}{c} \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{\text{вых}} &= U \frac{c-x}{c} + U \cos \frac{2\pi}{n} + jU \sin \frac{2\pi}{n} + U \frac{x}{c} \cos \left(2\frac{2\pi}{n} \right) + jU \frac{x}{c} \sin \left(2\frac{2\pi}{n} \right) = \\ &= U \frac{c-x}{c} + U \frac{x}{c} \cos \left(2\frac{2\pi}{n} \right) + jU \frac{x}{c} \sin \left(2\frac{2\pi}{n} \right) + U e^{j\frac{2\pi}{n}} \end{aligned} \quad (4.30)$$

Шунт ұзындығы тіс бөліну шамасына тең кездегі осы өрнекті шығыс кернеуді анықтайтын өрнекпен салыстырайық. Шунт орнына тәуелді вектор шамасы тістер саны шамасы 2 есе аз кезде де болатын бұрыштық кателік мәнін береді. Шығыс кернеу амплитудасы бірақ 2 есе артады. Шығыс кернеу аргументі мәнін (4.31) өрнекті қолдана отырып алуға болады.

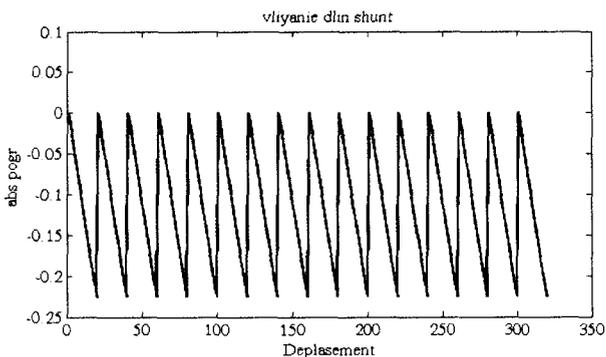
$$\varphi = \text{arctg} \frac{U \sin \frac{2\pi}{n} + U \frac{x}{c} \sin \left(2\frac{2\pi}{n} \right)}{U \frac{c-x}{c} + U \cos \frac{2\pi}{n} + U \frac{x}{c} \cos \left(2\frac{2\pi}{n} \right)} \quad (4.31)$$

Ауытқу

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{cn} \left(x + \frac{c}{2} \right) - \arctg \frac{U \sin \frac{2\pi}{n} + U \frac{x}{c} \sin \left(2 \frac{2\pi}{n} \right)}{U \frac{c-x}{c} + U \cos \frac{2\pi}{n} + U \frac{x}{c} \cos \left(2 \frac{2\pi}{n} \right)} \quad (4.32)$$

Шунт ұзындығын арттыру шығыс кернеу амплитудасын ұлғайту және шығыс кернеу мен нөлдік ауытқу кернеуі арасындағы қатынасты жақсарту мақсатында жасалынады.

4.11 суретте АӨЖ абсолютті қателіктің шунт ұзындығы 1 пайыз шамасына артқандағы тәуелділігі графигі келтірілген.



Сурет 4.11 АӨЖ абсолютті қателіктің шунт ұзындығы 1 пайыз шамасына артқандағы тәуелділігі графигі

Кернеудің едәуір өзгерісі шығыс кернеу фазасының сызықты өзгерісіне алып келеді. Шунт ұзындығын ары қарай арттыратын болса фазаның идеалды фазадан абсолютті ауытқуы одан сайын артып отырады.

Егер ақпараттық тізбекте қолданыс коэффициенті маңызды параметр ретінде есептелінетән болса, онда шунт ұзындығын бір, екі немесе үш тіс бөліндісі ретінде қарастыруға болады. Бұл шығыс кернеу амплитудасының азаюына, тіс бөліктері ішіндегі жалпы қателіктің артуына алып келеді. Дегенмен ақпараттық тізбектің қолданыс коэффициенті 0,8; 0,87 немесе 0,94 шамасына артады.

4.8. Генератор жиілігі тұрақтылығының өлшеу жүйесіне әсерін талдау

Таралатын параметрлері бар магнит орамы орналасқан электромагнитті түрлендіргішті жобалау кезінде синусоидалы тербелісті генераторды таңдау мәселесі туындайды. Генератор кернеуі жиілігінен өлшеу жүйесіндегі электрлік параметр элементтерінің жиіліктік қасиеттері анықталады. Бұған индуктивті кедергінің жиілікке, өзара индукция кедергісінің жиілікке және фазаайналымның жиілікке қатынасы жатады [110]. Өкінішке орай, электромагнитті түрлендіріштегі қуат көзіндегі оптималды жиілікті таңдау мәселесі түпкілікті зерттелмеген. Бастапқы критерий ретінде өлшеу жүйесі параметрлерінің тұрақтылығы, синусты және косинусты орамадағы шығыс кернеулерінің максималды мәні таңдалған болатын. Өлшеу жүйесінің түрлендіру функциясы генератордағы жиіліктің оптималды мәнін есептеуге мүмкіндік берді.

Бұрыштық жиіліктің оптималды мәнін (4.33) формуламен алуға болады:

$$\omega^2 - \frac{R_r L_s + R_s L_r}{M_{rsm}^2 - L_r L_s} \omega + \frac{R_r R_s}{M_{rsm}^2 - L_r L_s} = 0 \quad (4.33)$$

Теңдеудің түбірлері:

$$\omega_{1,2} = \frac{R_r L_s + R_s L_r}{M_{rsm}^2 - L_r L_s} + \sqrt{\left(\frac{R_r L_s + R_s L_r}{M_{rsm}^2 - L_r L_s} \right)^2 - \frac{R_r R_s}{M_{rsm}^2 - L_r L_s}} \quad (4.34)$$

Жиіліктен алынған туындыны 0-ге теңестіру арқылы түбір астындағы өрнектің минималды мәнін алуға болады:

$$2\omega \left(M_{rsm}^2 - 2L_r L_s + \frac{L_r^2 L_s^2}{M_{rsm}^2} \right) - 2 \frac{R_r^2 R_s^2}{\omega^2 M_{rsm}^2} \omega^3 = 0 \quad (4.35)$$

$$\omega^4 = \frac{R_r^2 R_s^2}{M_{rsm} \left(M_{rsm}^2 - 2L_r L_s + \frac{L_r^2 L_s^2}{M_{rsm}^2} \right)} \quad (4.36)$$

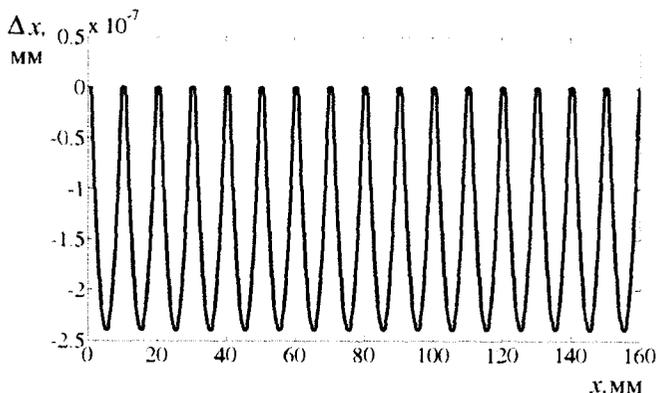
демек,

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{R_r^2 R_s^2}{M_{rsm} \left(M_{rsm} - \frac{L_r L_s}{M_{rsm}} \right)^2}} \quad (4.37)$$

Ораманың электрлік параметрлерін біле отырып, қуаттайтын генератордың оптималды жиілігін анықтауға болады.

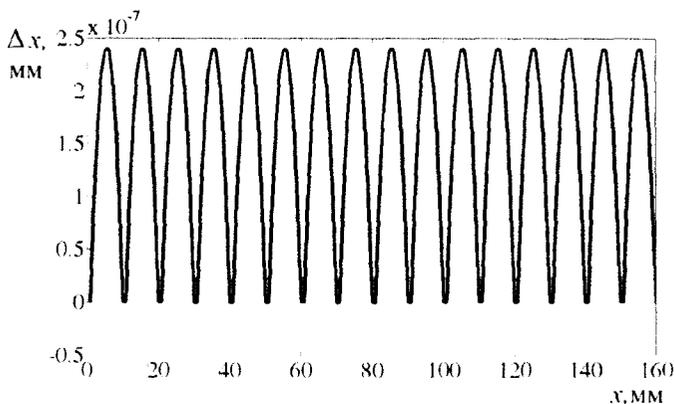
АӨЖ-де синусты және косинусты орамадағы 1000 Ом кедергі жүктемесі болған кезде ұсынылған жиіліктегі біркелкі орамасы бар тізбек генераторын қолданған кезде шығыс кернеудің максималды мәнін алуға болады [111]. Демек, сыртқы орта факторларына төзімділік дәрежесі артады. Мұнда өлшеу жүйесіндегі сызықтық орын ауыстыру мәні 160 мм дейінгі шамалар қарастырылады.

Генератордың жиілігінің оптималды мәні оның жиілік мәні тұрақтылығын қамтамасыз етпейді. Бұл дегеніміз теңгерілген электромагнитті жүйе қолданылған күннің өзінде генератор жиілігі өзгерсе, өлшеу жүйесінің электрлік параметрлері де сәйкесінше өзгереді [112].



Сурет 4.12 Генератор жиілігі номиналды шамадан 1 % азайған жағдайда өлшеніп отырған орын ауыстыру мәні мен абсолютті қателіктің тәуелділігі

4.12 суретте генератор жиілігі номиналды шамадан 1 % азайған жағдайда өлшеніп отырған орын ауыстыру мәні мен абсолютті қателіктің тәуелділігі графигі келтірілген.



Сурет 4.13 Максималды қателік тәуелділігінің графигі

Өлшеу қателігінің максималды шамасы $-0,25$ мм. Жиілік номиналды шамадан 1 % артқан жағдайда максималды

қателік шамасы 0,25 мм құрайды. Мұндай график 4.13 суретте келтірілген.

4 бөлім қорытындысы

Қателіктерді тұрақтандыру мақсатында сол қателікті сипаттайтын параметрлерді таңдау және қажетті мәнденді орнату .

Осы мәселелерді шешу мақсатында өлшеу жүргізіліп керекті мәндер алынады.

Мысал ретінде, егер де тәжірибелік тұрғыда өлшеу нәтижесі басқа да есептеулерге қолданылатын болса, онда сол нәтижеге кіретін қателіктердің бар екенін ескеріп, олардың орташа квадраттық ауытқу мәнін есептеу қажет.

Егер қателіктің таралу заңдары туралы ақпарат болмаса және бақылау тек төзімділік шегінде ғана болса онда сенімділік интервалы мен сенімділік ықтималдылығын ғана қолданса да жеткілікті.

Жоғарыда айтылғандарды жинақтасақ, өлшеу қателіктерін бағалау үшін ең алдымен: өзіндік ерекшелігі бар қателік моделін орнату, осы модель параметрлерін анықтау, параметр бойынша өлшеу нақтылығының дәрежесін анықтау қажет.

Қателік моделін құрған кезде типтік статистикалық мәселелер туындайды: таралу заңының параметрлерін бағалау, гипотезаларды тексеру, тәжірибені жоспарлау және т.б.

МИ 1317—86 бойынша өлшем нақтылығы осы тәсілдер бойынша анықталу керек:

- өлшем қателіктерінің қосындысы орналасқан ықтималдылығы бар интервал аралығында

- өлшем қателіктерінің жүйелік бөлігі орналасқан ықтималдылығы бар интервал аралығында

- өлшеу қателіктерінің жүйелік және кездейсоқ параметрлерінің орташа квадраттық ауытқулары , сонымен қатар, өлшеу қателіктерінің жүйелік және кездейсоқ параметрлерінің үлестіру функцияларының жалпы дөңгелектенуі

Инженерлік жұмыстарда көбінесе бірінші тәсілді қолданады ($x = a \pm \Delta$; илии Δ от Δ_{\min} до Δ_{\max} ; $P = 0,90$). Мысалы, төзімділік жүйесі шектік қателік ұғымына сүйенеді $\Delta_n = \pm 2 \sigma$ егер $P = 0,95$ (ГОСТ 8.051-81).

Нәтиженің сандық мәні мен қателіктің Δ мәні бірдей цифрлық разрядка аяқталуы тиіс.

Функция туралы дерек болмаған жағдайда нәтижелер α , σ , p , Δ_c түрінде келтіріледі. Егер нәтиже шектері ажырамаған жүйелік қателік түрінде келтірілсе онда қосымша түрде сенімділік ықтималдылығын көрсету керек.

1. Өлшеу жүйесінің абсолютті қателігі электромагнитті түрлендіргіштің конструкциясынан, электромагнитті жүйе элементтерінің жасалу дәлдігінен және фазалық жылжыту блоктарының параметрлеріне тәуелді.

2. Әдетте, факторалар қозғалысқа қатысты периодты заңмен өзгертін абсолютті қателіктерді туындатады.

3. Өлшеу жүйесінің жеке бір факторға қатысты тәуелділігін формуламен сипаттау мүмкін емес,

4. Сондықтан метрологиялық параметрлер үшін осы әдістемені қолданған ыңғайлы.

5 ТАРАЛҒАН ПАРАМЕТРІ БАР БІРКЕЛКІ ЕМЕС МАГНИТ ОРАМЫ ОРНАЛАСҚАН ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШ НЕГІЗІНДЕ ЖАСАЛҒАН ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

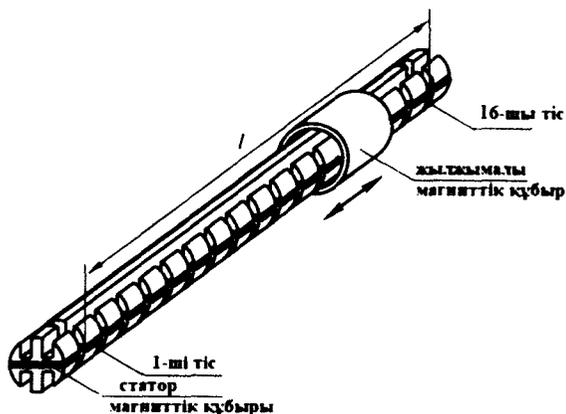
5.1. Таралған параметрі бар біркелкі емес магнит орамы орналасқан өлшелмелі фазалық түрлендіргіш конструкциясы

Таратылатын элементтері бар біркелкі емес магнит орамы орналасқан электромагнитті жүйе негізінде жасалған электромагнитті өлшеу түрлендіргіштерінің қазір қолданылып жатқан түрлерінде вибрациялық әсерлерге төзімділігі аз болып келеді. Соған орай сызықты фазатүрленгіш функциясын атқаратан таралған элементі бар біркелкі емес магнит орамы орналасқан электромагнитті түрлендіргіш конструкциясы жасалды.

Таралған элементтері бар электромагнитті түрлендіргіш ретінде магнит орамы мен орамдар жиынтығын айтады және осы параметрлердің кеңістікте таралуынан жүйенің электромагнитті қасиеттері анықталады.

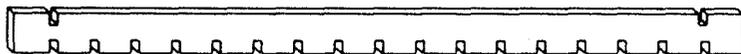
Автор сызықты фазатүрленгіш функциясын атқаратан таралған элементі бар біркелкі емес магнит орамы орналасқан электромагнитті түрлендіргіш конструкциясын жасаған болатын. Оның конструкциясы 5.1 суретте көрсетілген.

Датчиктің ақпараттық тізбегі цилиндрлік пішінге ие және 3 бөліктен тұрады [114]. Каркастың үсті мен асты магнитті емес материалдан жасалған цилиндрдің көлденең кимасын көрсетеді. Ал осы екеуінің арасында статордың магнит орамы орналасады, ол өз кезегінде электротехникалық сталь пластиналарынан тұрады.



5.1 сурет Сызықты қозғалысты электромагнитті түрлендіргіш конструкциясы

Ақпараттық тізбек ішкі қуыстағы ферромагнитті материалдан жасалған қозғалмалы магнит тізбекке орналыстырылған. Қозғалмалы магнит орамы ақпараттық сызықтың бойымен қозғалады. Магнит тізбекгінің пішіні 5.2 суретте көрсетілген



5.2 сурет Магнитті тізбек статорының пішіні

Фазатүрлендіргіш қаркасының астыңғы және үстіңгі ойықтарында W_p бұрылыс шамасы бүкіл ақпараттық сызықта тең болып келеді. Бұндай орамды «біркелкі» деп атайды. Статордың оң жағында «синусты» және «косинусты» орамдар орнатылған.

«Синусты» орамның бұрылыс саны аймақтың номеріне немесе статор тісі номеріне байланысты болады және (5.1) формуламен анықталады:

$$W_{sk} = W_m \sin\left(\frac{2\pi}{n}(k - 0,5)\right) \quad (5.1)$$

Мұндағы:

W_{sk} – k аймағындағы синусты орамадығы бұрылыс саны;

n – ақпараттық сызықтағы белсенді аймақ саны;

W_m – паз размері мен сым диаметріне тәуелді ораманың максималды бұрылыс саны;

k – аймақ номері.

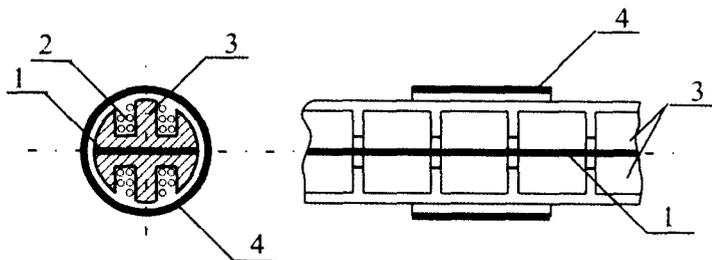
«Косинусты» орамның бұрылыс саны да осы іспеттес болады және (5.1) формуламен анықталады::

$$W_{ck} = W_m \sin\left(\frac{2\pi}{n}(k - 0,5)\right) \quad (5.2)$$

мұндағы W_{ck} – k аймағындағы косинусты орамадығы бұрылыс саны.

Өткен бөлімдерде таралған элементтері бар магнит тізбегі бар электромагнитті жүйен конструкциясы қарастырылған болатын. Фазалық түрлендіргіштің жұмысы таралған магнит тізбегіне магнит кедергісі гетерогенділігін орнататын элементтің орын ауыстырған кездегі орамалардағы әрекеттесуінің өзгеруі негізінде жасалады. Бұл кезекте сақиналы магнит тізбегі – гетерогенділікті орнататын элемент ретінде қарастырылады.

5.3 суретте магнит тізбегінің көлденең және бойлық қимасындағы сақиналы магнит тізбегінде орналасқан фазатүрлендіргіш бейнеленген.



Сурет 5.3 Магнит тізбегіндегі фазатүрлендіргіштің көлденең және бойлық қимасы:

- 1 – ақпараттық жүйенің магнит тізбегі,
- 2 – статор орамы,
- 3 – олшелмелі түрлендіргіш каркасы,
- 4 – қозғалмалы магнитопровод

Ақпараттық сызықтың толық ұзындығы тіс бөлімі ұзындығының осы тіс санына көбейтіндісіне тең:

$$l = cn \quad (5.3)$$

мұндағы $c = a + b$ – тіс бөлігі;

a – тіс ұзындығы

b – паз ұзындығы;

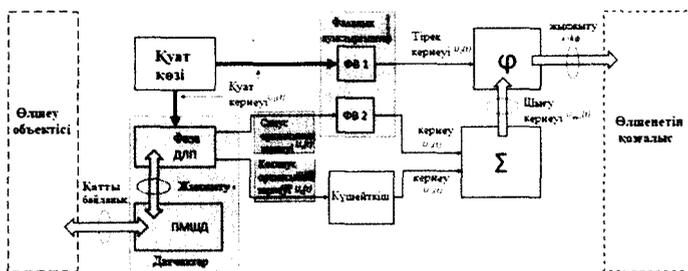
n – тіс саны.

5.2. Таралған параметрі бар біркелкі емес магнит орамы орналасқан фазалық түрлендіргіш негізінде жасалған өлшеу жүйесінің құрылымы

Классикалық фазатүрлендіргіш сияқты қарастырылып жатқын электромагнитті түрлендіргіш те 2 режимде жұмыс жасай алады. Бірінші режимде ораманың қуаты үшін фазалары 90° жылжыған екіфазалы айналмалы ток көзі қажет. Омы жағдайда ток синусты және косинусты орамаларды қуаттандырады. Түрлендіргіште магнит өрісі пайда болады.

Ақпараттық сызықтың басы мен қозғалмалы магнит тізбегі аралығына пропорционал өзгертін кенірнеі амплитудасын және бастапқы фаза мәндерін аламыз. Бірақ жоғары деңгейді ерекшеліктерді тұрақты сақтап тұратын екіфазалы қуат көзін конструкциялау оңай емес, сол себепті өлшелмелі түрлендіргіш үшін кәдімгі айнымалы қуат көзін пайдаланады. Бұндай режимді бірфазалы жұмыс режимі деп атайды.

Бірфазалы жұмыс режимінде датчиктің магнит өрісі пульсацияланған болып келеді. Пульсацияланған магнит өрісі магнит тізбегіне тәуелді болатын косинусты және синусты орамдарда амплитудасы бар ЭҚК туғызады. ЭМФ орналасқан қозғалыс датчигі негізінде жасалған динамикалық қозғалысы бар АӨБЖ(ИИУС) структуралық бейнесі 5.4 суретте көрсетілген.



5.4 сурет Динамикалық қозғалысы бар АӨБЖ(ИИУС) структуралық бейнесі:

- ПМШД – датчиктің магнит шунтының орын ауыстыруы;
- фазалық ДЛП – сызықты қозғалыс датчигі;
- ФВ1 – электронды фазатүрлендіргіші;
- ФВ2 – тірек кернеуінің электронды фазтүрлендіргіші;
- Σ – сумматор;
- φ – фазометр

Өзғалмалы магнит тізбегінің орны ақпараттық сызықта X координатасымен көрсетіледі. ЭМТ шығысында екі кернеу алынады. Синусты қысқаш орамында синусты кернеу алынады:

$$u_s(t) = U_m \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \sin(\omega t) \quad (5.4)$$

Косинусты қысқыш орамында косинусты кернеу алынады:

$$u_c(t) = U_m \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \sin(\omega t) \quad (5.5)$$

Синусты кернеу орамы ФВ1 фазатүрлендіргішінің кірісіне беріледі. Шығыс жерінде амплитудасы синусты кернеу амплитудасына тең кернеу мәні алынады, бәрақ оның бастапқы фазасы 90° бұрышқа артта қалып қалады.

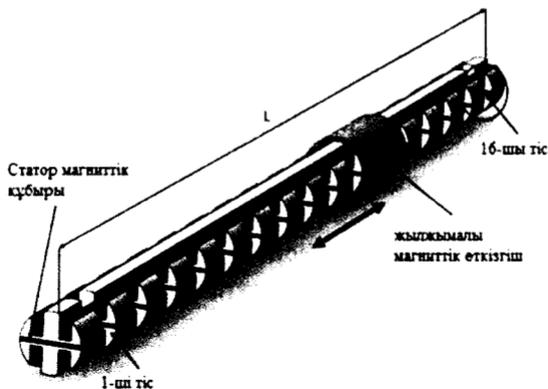
$$u'_s(t) = U_m \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (5.6)$$

$u'_s(t)$ және $u_c(t)$ кернеулері Σ сумматор кірісіне берілген. Шығысында тұрақты амплитудасы және бастапқы фазасы бар X қозғалысына пропорционал болатын $u_\Sigma(t)$ кернеу мәні алынады. Фазометр $u_\Sigma(t)$ кернеуінің $u_0(t)$ тірек кернеуіне қатысты фазалық ауытқуын есептейді, ол өз кезегінде ФВ2 фазатүрлендіргішінің шығыс мәні болып келеді. ФВ2 фазатүрлендіргіші қуат көзіне қосылып, қозғалыстың санақ жүйесінің басын анықтайды. Оның көмегімен «нөл» шкаласы анықталады. Шығыс мәндерде $\varphi = k \cdot X$ тең фазалық ауытқу шамасы алынады. Аталмыш схема унификацияланған электронды түрлендіргіш көмегімен жүзеге асырылды, ол Microchip фирмасының PIC18F2523 микроконтроллеры негізінде жасалды.

Нәтижесінде таратылмайтын элементтер орналасқан ЭМФ бар қозғалыс датчигі негізінде жасалынған

динамикалық қозғалысы бар АӨБЖ алынды. Ол АӨБЖ метрологиялық қасиеттерін 5% жақсартты.

Жоғарыда айтылған принципке сай ЭМФ орналасқан жаңа сызықты қозғалатын датчик конструкциясы жасалды (5.5 сурет), ол сыртқы орта әсеріне төзімділігін жақсартты.



Сурет 5.5 ЭМФ орналасқан жаңа сызықты қозғалатын датчик

Датчик цилиндр тәріздес пішінде жасалған, оның құрамына 3 компонент кіреді. Үстінгі және астыңғы қаркастарда ось бойымен кесілген сызығы бар, ол магнитті емес компоненттен тұрады. Осы қаркастар магнитті компоненті бар қуыс сақинада, яғни динамикалық магнит тізбегінде орналасады.

5.3. Ақпараттық жүйенің сызықты қозғалысы үшін жасалған таратылған элементтері бар магнит тізбегі орналасқан фазатүрлендіргіштің магнит жүйесіне талдау

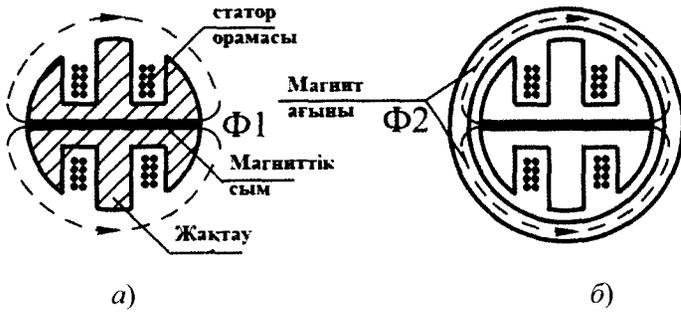
Механикалық датчикке анализ жасаған кезде, механикалық және электрлік шамалар арасындағы байланысты қамтамасыз ететін электромагнитті жүйені есепке алмау мүмкін емес. Ақпараттық жүйенің магнит

тізбегінің таратылатын элементтерін есепке алу үшін элементар магнит тізбегінің бір ұзындық шамасына шаққандағы меншікті магнитті және электрлік шамалады қолдану ұсынылады. Осы жағдайда ток пен кернеу арасындағы байланысты орнату арқылы ЭМК электрлік және магнитті параметрлері анықталады.

Магнит өтімділігі заңдарын біле отырып $\underline{Y}_M = f(x)$ магнит орамы ұзындығы бойымен электромагнитті жүйенің орамаларының электрлік параметрлерін анықтауға болады.

Электромагнитті түрлендіргіштің басты элементі ақпараттық сызық болып келеді, ол өз кезегінде статор, каркас, статор орамасы, цилиндр пішіндес қозғалмалы магнит орамынан тұрады [120].

5.6 суретте магнит шунты жоқ датчиктің көлденең қимасы (5.6, а сурет) және шунт қабаттасқан жердегі қимасы (5.6, б сурет) көрсетілген. Меншікті магнит ағындары күш сызықтарымен және Φ_1 мен Φ_2 шартты белгілері арқылы белгіленген. Шунт жоқ жерде эквивалентті меншікті магниттік кедергі (5.6, а сурет) қозғалатын магнит орамы орналасқан жеріндегі меншікті магниттік кедергімен салыстырғанда өте үлкен. Бұл 5.6, а суреттегі ауа арқылы өтетеін өтетін магнит күш сызығы 5.6 б суреттегі қос ауа саңылауы сызығы ұзындығынан жүз есе көп екенін көрсетеді. Магниттік тізбектер теориясынан мына нәрсені білеміз. Магнит өткізгіштің магниттік кедергісі салыстырмалы магниттік өткізгіштікке кері пропорционал. Магнит материалдардың салыстырмалы магниттік өткізгіштігі бірлік және ондаған мың болып келеді. Сондықтан қозғалатын магнит тізбегі орналасатын аймақта магнит өткізгіштің меншікті магниттік кедергісі қозғалатын магнит тізбегі жоқ жердегі магниттік кедергіден жүздеген есе аз болады. Демек, Φ_1 меншікті магнит ағыны Φ_2 меншікті магнит ағынынан жүздеген есе аз болады.



Сурет 5.6 Датчиктің көлденең қимасы

Магнит өрісінің орта сызығы ұзындығын l_{cp} деп белгілейік; статор магнит тізбегінің бойындағы магнит өрісінің орта сызығы - l_{ct} ; қозғалмалы магнит тізбегі маңындағы ауа саңылауының ұзындығы δ [132]. Онда қозғалмалы магнит тізбегіндегі магнит өрісінің ұзындығы:

$$l_{пм} = l_{cp} - 2 \cdot \delta - l_{ct} \quad (5.7)$$

Қозғалмалы магнит тізбегінің қалыңдығы статордың магнит тізбегінің h мәніне тең болсын делік.

Онда қозғалмалы магнит тізбегі жоқ аймақта меншікті магнит кедергі (5.8)-ге тең болады:

$$Z_{0m1} = \frac{l_{ct}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot h} + \frac{(l_{cp} - l_{ct})}{\mu_0 \cdot h} = \frac{l_{ct} + \mu \cdot (l_{cp} - l_{ct})}{\mu \cdot \mu_0 \cdot h} \quad (5.8)$$

Статор магнит тізбегі материалының мен қозғалмалы магнит тізбегі магнит өткізгіштігі өзара тең, оны μ шамасыен белгілейік.

Онда қозғалмалы магнит тізбегі орналасқан аймақта меншікті магнит кедергі (5.9) тең болады:

$$Z_{0M2} = \frac{l_{cp} - 2 \cdot \delta}{\mu \cdot \mu_0 \cdot h} + \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot h} = \frac{l_{cp} + 2 \cdot \delta \cdot (\mu - 1)}{\mu \cdot \mu_0 \cdot h} \quad (5.9)$$

Процесстерді талдау кезінде нақтық дәрежесін арттыру үшін магнит материалының тұтқырлығын ескеру өте маңызды. 1 кГц мәнінен асатын жиіліктегі электромагниттік стальдің аса магниттелуі кезінде және әлсіз магнит өрістерде магнит өрісі индукциясының кернеуге қатысты тәуелділігі эллипске жақын қисық арқылы бейнеленеді. Бұл кезде фазалық ауытқу Φ_M шамасы кернеу мен индукция арасында пайда болады. Осы орайда салыстырмалы магнит өткізгіштігін абсолютті магнит өткізгіштігінің вакуумдегі өткізгіштікке қатынасы ретінде қарастыруға болады :

$$\underline{\mu} = \underline{\mu}_a / \mu_0 = \mu e^{-j\Phi_M} \quad (5.10)$$

Меншікті магнит кедергілерінің теңдеулері комплексті түрде берілуі керек:

$$\underline{Z}_{0M1} = \frac{l_{ct}}{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h} + \frac{(l_{cp} - l_{ct})}{\mu_0 \cdot h} = \frac{l_{ct} + \underline{\mu} \cdot (l_{cp} - l_{ct})}{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h} \quad (5.11)$$

және

$$\underline{Z}_{0M2} = \frac{l_{cp} - 2 \cdot \delta}{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h} + \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot h} = \frac{l_{cp} + 2 \cdot \delta \cdot (\underline{\mu} - 1)}{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h} \quad (5.12)$$

Меншікті магнит өтімділігі магнит кедергісіне кері шама болып келеді. Таратылған бірақ қозғалмалы магнит тізбегі жоқ аймақта магнит өтімділігі (5.13)-ке тең:

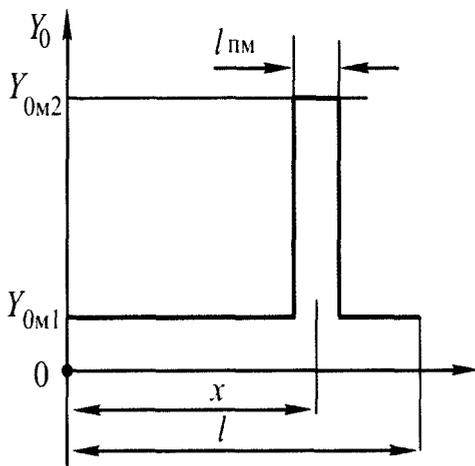
$$\underline{Y}_{0M1} = \frac{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h}{l_{ct} + \underline{\mu} \cdot (l_{cp} - l_{ct})} = \frac{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h}{\underline{\mu} \cdot l_{cp} - l_{ct} \cdot (\underline{\mu} - 1)} \quad (5.13)$$

Таратылған элементтері бар қозғалмалы магнит тізбегі орналасқан аймақта магнит өтімділігі (5.14)-ке тең:

$$\underline{Y}_{0M2} = \frac{\underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h}{l_{cp} + 2 \cdot \delta \cdot (\underline{\mu} - 1)} \quad (5.14)$$

Салыстырмалы магнит өткізгіштігі модулі бірнеше мыңға тег шама болғандықтан $\underline{Y}_{0M2} > \underline{Y}_{0M1}$.

Біркелкі емес магнит тізбегі бар электромагнитті жүйенің көрсеткіш ерекшелігі ретінде ақпараттық жүйе бойындағы меншікті магнит өтімділігінің тәуелділік графигін атап өтуге болады. Меншікті магнит өтімділігінің қарастырылып отырған нүкте ординатасына тәуелділігі графигі 5.7 суретте көрсетілген.



Сурет 5.7 Меншікті магнит өтімділігінің қарастырылып отырған нүкте ординатасына тәуелділігі

\underline{Y}_{0M1} қозғалмалы магнит тізбегі жоқ жердегі магнит тізбегінің меншікті өткізгіштігі тұрақты шама болып келеді. Ақпараттық сызық басынан \mathcal{X} қашықтықта орналасқан қозғалмалы магнит тізбегі $l_{\text{пм}}$ ұзындығына тең меншікті магнит өтімділігі \underline{Y}_{0M2} шамасына тең болады. Магнит өтімділігінің соңғы мәнін меншікті магнит өтімділіктерінің қосындысы түрінде келтіруге болады:

$$\underline{Y}_{0M2} = \underline{Y}_{0M1} + (\underline{Y}_{0M2} - \underline{Y}_{0M1}) = \underline{Y}_{0M1} + \underline{Y}_{0Mp} \quad (5.15)$$

мұндағы \underline{Y}_{0Mp} -қозғалмалы магнит тізбегіндегі меншікті магнит өтімділігінің өсімі. Осы параметр синусты және косинусты орамалардың шығыс кернеу мәндерін анықтайды, оладың амплитудалары магнит тізбегінің орналасқан жеріне тікелей байланысты болады:

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{0Mp} &= \underline{Y}_{0M2} - \underline{Y}_{0M1} = \frac{\underline{\mu} \cdot \underline{\mu}_0 \cdot h}{l_{\text{cp}} + 2 \cdot \delta \cdot (\underline{\mu} - 1)} - \frac{\underline{\mu} \cdot \underline{\mu}_0 \cdot h}{\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1)} = \\ &= \underline{\mu} \cdot \underline{\mu}_0 \cdot h \cdot \left[\frac{\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1) - l_{\text{cp}} + 2 \cdot \delta \cdot (\underline{\mu} - 1)}{[l_{\text{cp}} + 2 \cdot \delta \cdot (\underline{\mu} - 1)] \cdot [\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1)]} \right] = \\ &= \underline{\mu} \cdot \underline{\mu}_0 \cdot h \cdot (\underline{\mu} - 1) \cdot \left[\frac{l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} + 2 \cdot \delta}{\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}}^2 + \underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}} \cdot 2 \cdot \delta \cdot (\underline{\mu} - 1) - l_{\text{cp}} \cdot l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1) - 2 \cdot \delta \cdot l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1)^2} \right] = \\ &= \underline{\mu} \cdot \underline{\mu}_0 \cdot h \cdot \left[\frac{l_{\text{cp}} - l_{\text{ct}} + 2 \cdot \delta}{\frac{\underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}}^2}{(\underline{\mu} - 1)} + \underline{\mu} \cdot l_{\text{cp}} \cdot 2 \cdot \delta - l_{\text{cp}} \cdot l_{\text{ct}} - 2 \cdot \delta \cdot l_{\text{ct}} \cdot (\underline{\mu} - 1)} \right] = \end{aligned}$$

$$= \underline{\mu} \cdot \mu_0 \cdot h \cdot \left[\frac{l_{cp} - l_{ct} + 2 \cdot \delta}{\frac{\underline{\mu} \cdot l_{cp}^2}{(\underline{\mu} - 1)} + \underline{\mu} \cdot 2 \cdot \delta \cdot (l_{cp} - l_{ct}) - l_{cp} \cdot l_{ct}} \right] \quad (5.16)$$

Қозғалмалы магнит тізбегіндегі меншікті магнит өтімділігінің өсімі шамасы арқылы индуктивтілік пен орамалардағы өзара индуктивтілік коэффициенттерін есептеуді едәуір жеңілдетеді.

5.4. Таратылатын элементтері бар біркелкі емес магнит тізбегі орналасқан электромагнитті түрлендіргіш негізінде жасалған сызықты қозғалысты өлшеу жүйесін ауыстыру схамасы

Біркелкі емес магнит тізбегі орналасқан электромагнитті түрлендіргіш негізінде жасалған сызықты қозғалысты өлшеу жүйесінің схемасын құруда біраз қиындықтан пайда болу мүмкін. 5.4 суреттегі құрылымдық схемада жүйе $\Phi 1$ және $\Phi 2$ фазатүрлендіріш, СУМ сумматор, Φ фазометр орналасқан. Ауыстыру схемасын құрудағы басты мақсат – орамадағы ток пен кернеу арасындағы қатынасын сипаттайтын теңдеулер жүйесін құру. Осы қатынас өлшеу жүйесінің түрлендіру функциясын алуға мүмкіндік береді.

Ауыстыру схемасында қуат көздері ЭҚК идеал қуат көзі болып табылады. Шынайы қуат көздерінде ішкі кедергі шамалары болады, сондықтан ЭҚК идеал қуат көзіне осы қуат көзінің ішкі кедергісі қосылады. Әр орам ауыстыру схемасында идеал индуктивтілік ретінде белгіленеді. Теңдеулер жүйесі құрылған кезде меншікті индукция коэффициенті арқылы анықталатын орамалардың бір-біріне әсері ескеріледі. Жалпы жағдайда әр орам белсенді кедергіге әсерін береді.

5.8 суретте өлшеу жүйесінің электромагнитті бөлігінің ауыстыру схемасы келтірілген, мұндағы

\underline{E}_s , \underline{E}_c и \underline{E}_r – сәйкес орамалардың идеал қуат көздері;

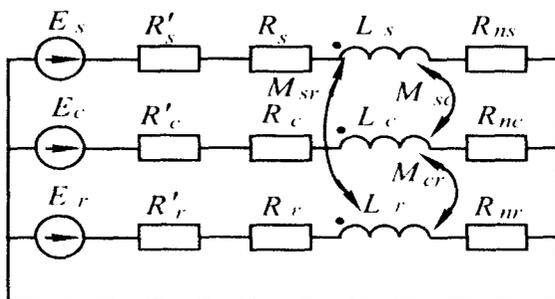
R'_s , R'_c и R'_r – қуат көздерінің ішкі кедергісі

R_s , R_c и R_r – сәйкес орамалардың кедергілері;

L_s , L_c и L_r – орамалардың индуктивтілігі;

M_{sc} , M_{cr} и M_{sr} – орамалардың өзара индуктивтілік коэффициенттері;

R_{ns} , R_{nc} и R_{nr} – сәйкес тізбектердің жүктеме кедергілері.



Сурет 5.8 Өлшеу жүйесінің электромагнитті бөлігін ауыстыру схемасы

Ауыстыру схемасы 5.8 суретте жалпы түрде көрсетілген. Жұмыс жасау режиміне байланысты схемадағы кей элементтер болмауы да мүмкін.

Ауыстыру схемасындағы тоқты есептеуге арналған теңдеулер жүйесінің жалпы түрі төмендегідей:

$$\begin{cases} \underline{I}_r(R_r + R'_r + j\omega L_r) + j\omega \underline{I}_s \underline{M}_{rs} + j\omega \underline{I}_c \underline{M}_{rc} = \underline{E}_r, \\ j\omega \underline{I}_r \underline{M}_{rs} + \underline{I}_s(R_s + R'_s + j\omega L_s) + j\omega \underline{I}_c \underline{M}_{sc} = \underline{E}_s, \\ j\omega \underline{I}_r \underline{M}_{rc} + j\omega \underline{I}_s \underline{M}_{sc} + \underline{I}_c(R_c + R'_c + j\omega L_c) = \underline{E}_c. \end{cases} \quad (5.17)$$

мұндағы \underline{I}_s , \underline{I}_c и \underline{I}_r – электромагнитті түрлендіргіш орамының тоқтары

5.5. Көрсетілген метрологиялық сипаттамалары бар сызықты қозғалысты өлшеу жүйесін жобалау кезіндегі мәселелері

Сызықты қозғалысты өлшеу жүйесін жобалау кезінде жүйенің параметрлері мен ерекшеліктерін анықтайтын сұрақтар қатары туындайды. Соңғы метрологиялық ерекшеліктерді тәжірибе жүзінде алу мүмкіндігі бар болғанымен, жобалаудың басында өлшеу жүйесінің блоктарына қойылатын талаптар құрастырылуы тиіс, себебі бұл процесстен өлшем нақтылығының дәрежесі анықталады. Талданып отырған жүйенің метрологиялық қасиеттері, өткен бөлімде айтылғандай, факторлар қатарына тәуелді болып келеді. Олардың әсер ету дәрежесін бастапқы жобалау кезінде бағалауға болады.

Факторлар қатары:

- сумматор кірісіндегі синусты және косинусты орамалардың максималды кернеу шамаларының өзара теңсіздігі;
- ФВ1 фазатүрлендіргішінің жіберетін қателіктері;
- өлшеу жүйесі генераторының жиілігінің тұрақтылығы;
- фазатүрлендіргіштегі тістер саны;
- қозғалмалы магнит тізбегі құрылысының нақтылығы;
- бұрылыс санының бүтін сан болуы;

– синусты және косинусты орамалардағы электрлік параметрлерінің теңгерімі.

Нәтижелі ауытқу мәні әсер етуші факторлардың жиынанан құралғандықтан, өлшеу жүйесінің жүйелік қателіктерін есептеу үшін әр фактордың абсолютті ауытқуға әсер ету дәрежесін анықтау қажет.

Өлшеу жүйесінің әр элементіне қойылатын талаптарды құру үшін дайын өнімдердің қасиеттерін зерттеу арқылы алынатын мәліметтеріне статистикалық талдау жүргізу әдісі арқылы жүзеге асырауға болады.

Екінші бір әдіс ретінде сызықты қозғалыс кезіндегі өлшеу жүйесін жобалаған кездегі түрлендіру функциясын талдауды атап өтуге болады. Бірақ түрлендіру функциясы өлшеу жүйесінің ауытқуларының кейбір факторларын ескермейді, себебі бұл функция идеал электромагнитті түрлендіргіштің өлшеу жүйесіндегі теориялық анализіне негізделген, соның салдарынан ақпараттық сызықтың магнит қасиеттерінің дискретті таралуын ескермейді.

Аталмыш мәселенің ең ұтымды шешу әдісі метрологиялық қасиеттерді толығымен талдауға арналған компьютерлік математикалық моделін құрастыру. Компьютерлік модельді қолдану арқылы әсер етуші факторлардың жиынтығын және әр жеке фактордың әсер ету дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді. Компьютерлік модель теориялық формулалар нәтижесінде емес басқа блоктардың параметрлеріне негізделіп жасалынған болатын. Модель көптеген факторлардың әсер ету дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді.

Өткен бөлімде қарастырылған зерттеу нәтижелері көрсеткендей, абсолютті қателіктер периодты заң бойынша өзгереді. Кейбір факторлардың әсері сызықты қозғалатын орын ауыстыру функциясының абсолютті ауытқулардың пайда болуына әкеледі. Мәндер жиыны нөлден шексіздікке дейінгі аралықты қамтиды, соның салдарынан өлшеніп отырған орын ауыстыру мәнін периодты заң ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Келесі кезекте сызықты қозғалыстың өлшеу жүйесінің жобалау әдісін қолдана отырып электромагнитті жүйенің белгілі бір блоктарны құрастыру кезіндегі рұқсаттарын алу және өлшеу жүйесінің блоктарына талаптарды қою мәселелері талданады. Атап айтқанда, ақпараттық сызықты құрудағы дәлдігіне, орамадағы максималды бұрылыс санына, магнит тізбегін құрудағы дәлдікке қойылатын талаптар болып келеді. Жобалау кезіндегі маңызды мәселердің бірі болып өлшеу жүйесінің басқа блоктарына қойылатын талаптарды айтуға болады. Оларға синусты және косинусты орамалардың максимал шығыс кернеу мәндерінің теңсіздігі ФВ фазатүрлендіргіштегі ауытқулар, өлшеу жүйесі генераторы жиілігінің тұрақтылығы жатады.

5.6. Көпөлшемді кеңістік және факторлардың өзара әрекеттестігі

Матматика курсынан белгілі болғандай, төмендегі шексіз мүшелерден құралатын функция жүйесі толық ортонормальді функция болып келеді:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}}, \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \cos x, \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \sin(x), \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \cos(2 \cdot x), \\ & \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \sin(2 \cdot x), \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \cos(3 \cdot x), \\ & \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \sin(3 \cdot x), \dots \end{aligned} \quad (5.18)$$

Функцияны тригонометриялық көпмүше арқылы жақындатқандағанда

$$s_n(x) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{k=1}^n (\alpha_k \cdot \cos(k \cdot x) + \beta_k \cdot \sin(k \cdot x)) \quad (5.19)$$

Орташа

кварттық

ауытқу

$\delta^2 = \int_{-\pi}^{\pi} (f(x) - s_n(x))^2 \cdot dx$ минималды болады тек

α_k и β_k Фурье коэффициенттері таңдалған кезде ғана анықталады:

$$\alpha_k = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} (f(x) \cdot \cos(kx)) \cdot dx \quad (5.20)$$

және

$$\beta_k = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} (f(x) \cdot \sin(kx)) \cdot dx \quad (5.21)$$

мұндағы $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

Бұл ортонормальды жүйені өлшеу жүйесінің жүйелік қателіктерін талдаған кезде қолдану ұсынылады. Функцияны Фурье қатарына ыдыратудың жалпы түрі (5.22) түрде келтіріледі:

$$f(x) = A_0 + A'_{1m} \cos(kx) + A''_{1m} \sin(kx) + A'_{2m} \cos(2kx) + A''_{2m} \sin(2kx) + A'_{3m} \cos(3kx) + A''_{3m} \sin(3kx) + A'_{4m} \cos(4kx) + A''_{4m} \sin(4kx) + A'_{5m} \cos(5kx) + A''_{5m} \sin(5kx) + \dots \quad (5.22)$$

$$A_1 = \frac{A'_{1m}}{\sqrt{2}} \quad \text{— функцияның басты гармоникасының}$$

косинус компонентінің мәні;

$$A_2 = \frac{A_{1m}''}{\sqrt{2}} - \text{функцияның басты гармоникасының}$$

синус компонентінің мәні;

$$A_3 = \frac{A_{2m}'}{\sqrt{2}} - \text{функцияның екінші гармоникасының}$$

косинус компонентінің мәні;

$$A_4 = \frac{A_{2m}''}{\sqrt{2}} - \text{функцияның екінші гармоникасының синус}$$

компонентінің мәні:

$$A_5 = \frac{A_{3m}'}{\sqrt{2}} \text{ функцияның үшінші гармоникасының}$$

косинус компонентінің мәні;

$$A_6 = \frac{A_{3m}''}{\sqrt{2}} - \text{функцияның үшінші гармоникасының}$$

синус компонентінің мәні және т.б..

Функция компонентінің квадраты қосылғыштардың квадраттарының суммасына тең, яғни

$$A^2 = A_0^2 + A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + A_5^2 + A_6^2 + A_7^2 + A_8^2 + \dots \quad (5.23)$$

Өлшеу ауытқуларын есептеген кезде түзу сызық бойында орналасқан орташа квадраттық ауытқу мәні қолданылады:

$$y(x) = cx + d \quad (5.24)$$

мұндағы c – x осіне қатысты түзудің бұрылу бұрышын анықтайтын тұрақты шама;

d – ауытқудың аддитивті параметрі.

Функции дисперсиясы толығымен тек $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, \dots$ параметрлері бар кезде анықталады немесе:

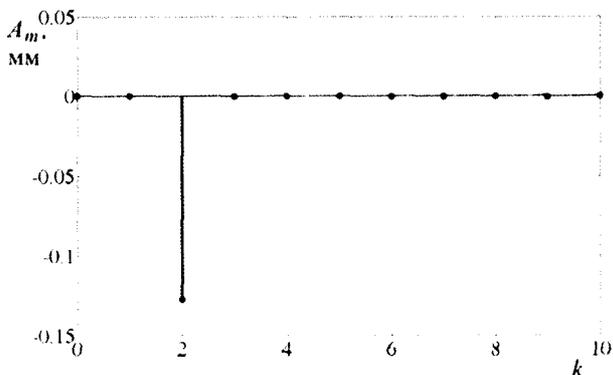
$$D = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + A_5^2 + A_6^2 + A_7^2 + A_8^2 + \dots \quad (5.25)$$

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, \dots$ параметрлерін 1, 2, 3, ..., n номері арқылы көпөлшемді кеңістіктің координаттары ретінде қарастыруға болады.

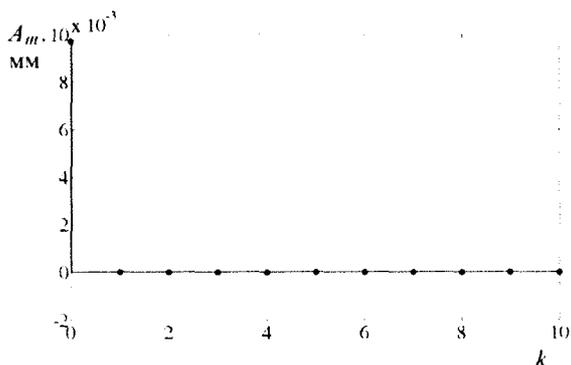
Демек, қайсыбір факторлар әсерінен туындаған АӨЖ абсолютті кателігін көпөлшемді кеңістік осьтерге бөлу бойынша қарастыруға болады. Жиынтық факторлар дисперсиясы әр фактор дисперсиясынан ғана емес, бүкіл факторлардың өзара әрекеттесуі нәтижесіндегі жиынтық мәнге тең болады. Сондықтан АӨЖ кателігін анықтау үшін Фурье коэффициенттерін алу жеткілікті болып келеді.

Математикалық модельді қолдану арқылы құрастырылған өлшеу жүйесін зерттеу жүргізудің басты мақсаты көпөлшемді кеңістікке бөлінген абсолютті кателіктерін анықтау болып келеді. Вертикальді ось бойынша амплитудалық мәндер, ал горизонтальді ось бойынша синусты немесе косинусты параметрлердің ось номері көрсетіледі

5.9 и 5.10 суретте суммаот кірісіндегі максимал кернеу мәндері теңсіздігінің абсолютті ауытқуаның координаттары берілген. Бұндай кателікті шартты түрде амплитудалық кателік деп атайды.. Осьтердің жалпы саны 160 деп таңдалған: Фурье коэффициенттерін алу үшін 80 ось бөлінуінің синусты компонентіне, 80 ось бөлінуінің косинусты компонентіне бөлінген [127].

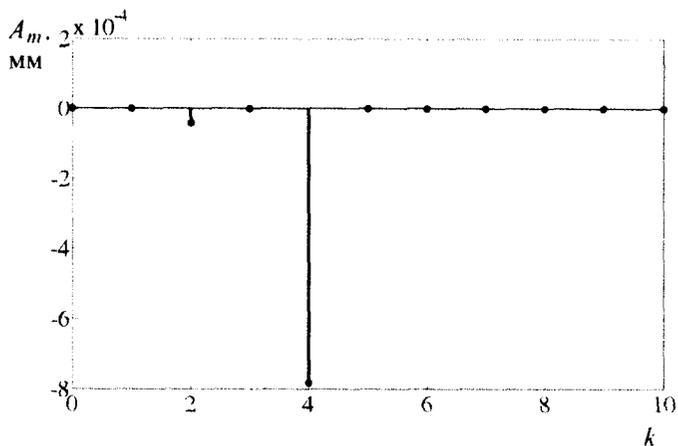


Сурет 5.9 Абсолютті қателіктің бөліну коэффициенттері



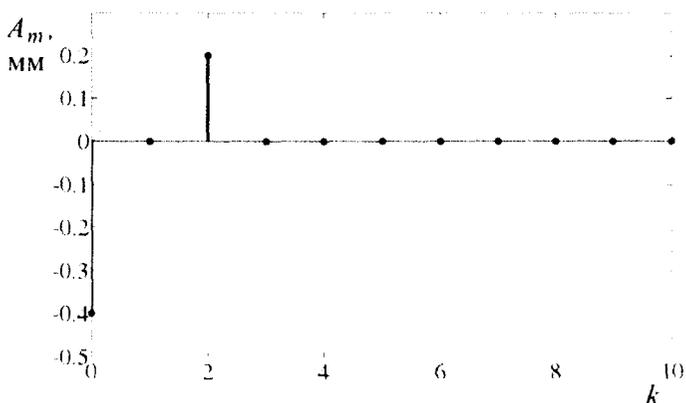
Сурет 5.10 Амплитудалық қателіктің бөліну коэффициенттері

5.9–5.11 суретте көрінетіндей синусты параметр амплитудасы тек екінші ось бойынша нөлге тең емес. Косинусты параметр көрсеткендей, амплитудалық қателік 0.01 мм тең тұрақты мәнді қабылдайды. 5.11 суретте ФВ1 фазатүрленгішінің синусты параметрлерінің абсолютті қателіктерінің «спектрі» көрсетілген. Фазатүрлендіргіш синусты орамада кіріс фазасының кернеуін 90° бұрышқа өзгертпейді. Келтірілген мысалды қателіктің сан мәші ширек периодтан алғанда 0.1% құрайды.



Сурет 5.11 ФВ1 фазатүрлендіргішінің синусты параметрлерінің абсолютті қателіктерінің спектрі

5.12 суретте көпөлшемді кеңістіктегі ось бойынша бөлінген косинусты параметрлер бейнеленген. Параметрдің нөлдік емес мәні тек нөлдік осьте ғана келтірілгенінң ерекше атап өтуге болады. Бұл практикалық тұрғыда ауытқудың аддитивтілігін көрсетеді.

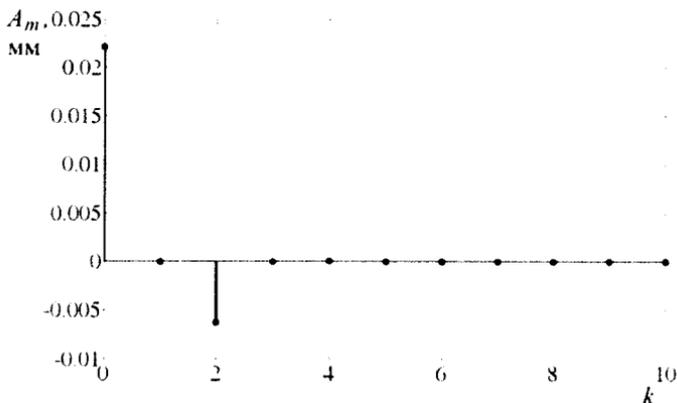


Сурет 5.12 Көпөлшемді кеңістіктегі ось бойынша бөлінген косинусты параметрлер

Векторлық кеңістікте бұл параметрлер 90° бойынша орналасқан ось бойынша орналасқан және алынған мәннің квадраты қосылғыштардың квадраттарына тең болады.

5.13 суретте синусты параметрлерінің абсолютті қателіктерінің спектрі көрсетілген. Ол косинусты және синусты орамалардағы белсенді кедергілердің шартты теңгерімсіздігінен туындайды. Осы спектрдің синусты параметр амплитудасы тек екінші ось бойынша нөлге тең емес.

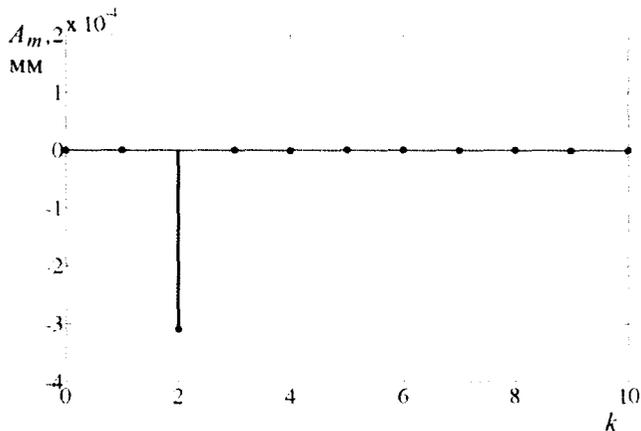
Спектрдің косинусты параметріне келетін болсақы, ол нөлдік және екінші осьтердегі параметрлердің қосындысына тең. Нөлдік ось бойынша параметрдің бар болуы ауытқудың тұрақты параметрі барын көрсетеді. Косинусты параметрдің екінші ось бойынша мәні $0,007$ мм. Осы ось бойынша келетін синусты параметр мәні $0,13$ мм.



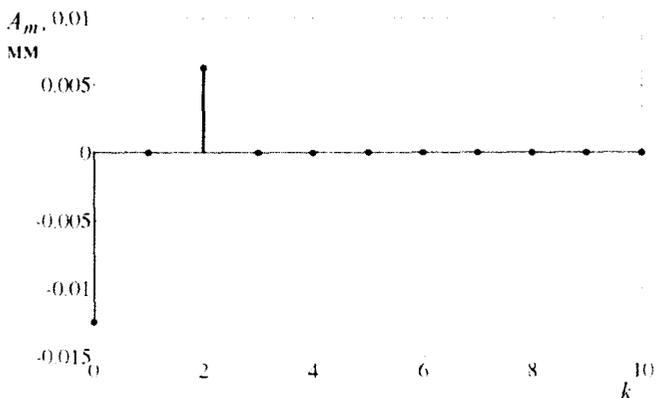
Сурет 5.13 Абсолютті қателіктің синусты параметрінің спектрі

Өлшеу құрылғысының метрологиялық қасиеттеріне сүйенсек, орамалардың электрлік параметрлерінің теңгерімі ең маңызды процессердің бірі болып келеді. Ұсынылған графиктерге зер салсақ, белсенді және реактивті кедергілердің тіңсіздігі абсолютті ауытқудың пайда болуына алып келеді. 5.14 және 5.15 суретте синусты және косинусты

орамаладағы индуктивті кедергілердің 1 % мөлшері теңсіздігінен туындаған абсолютті ауытқудың синусты және косинусты параметрлері көрсетілген .



Сурет 5.14 Синусты орамадағы индуктивті кедергілердің 1 % мөлшері теңсіздігінен туындаған абсолютті ауытқудың синусты параметрлері

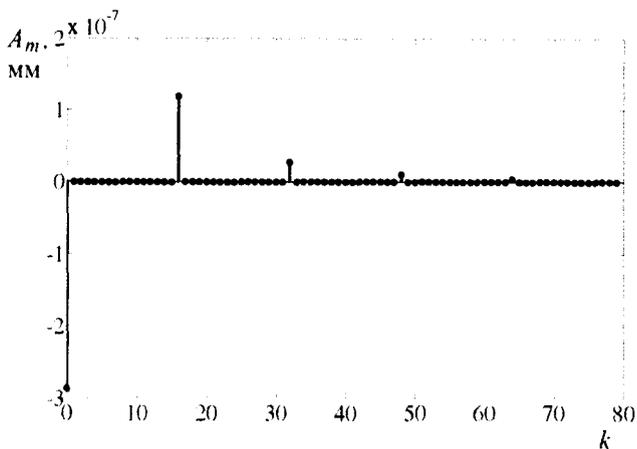


Сурет 5.15 Косинусты орамаладағы индуктивті кедергілердің 1 % мөлшері теңсіздігінен туындаған абсолютті ауытқудың косинусты параметрлері

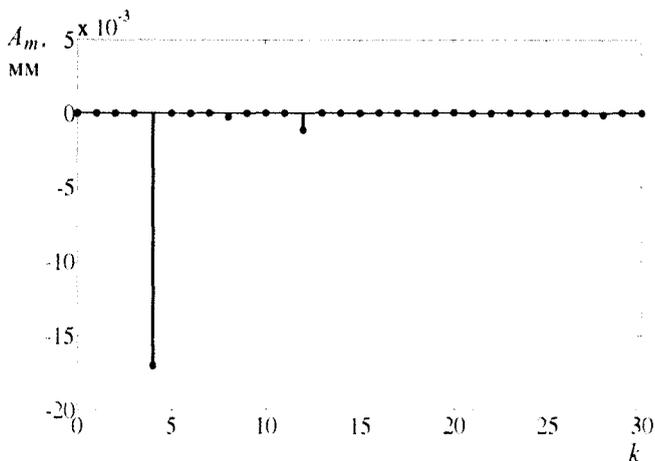
Индуктивті параметрлердің теңгерімсіздігінің косинусты параметрі тек нөлдік осьта ғана нөлге тең емес мәнді қабылдайды, демек бұл абсолютті ауытқудың аддитивті параметрі болып келеді. Графикте келтірілгендей, екінші ось бойынша параметр амплитудасы нөлге тең емес. Бұл ось бойынша параметрлер басқа да факторлар әсерінен туындайды деген сөз.

Өлшеу жүйесінің ауытқулары генератордың ерекшелігіне де байланысты болады. Оның бір параметрі ретінде жиіліктің тұрақтылығын айтуға болады. Жиіліктің өзгеруі жиілікке тәуелді элементтердің де өзгеруіне алып келеді. Бұндай элементтерге электромагнитті түрлендіргіш және фазатүрлендіріш жатады. 5.16 суретте жиіліктің номиналды мәннен 1 % ауытқыған кездегі өлшеу жүйесінің абсолютті қателігінің спектральді параметрлері көрсетілген. Графикте келтірілгендей, косинусты параметрлер 64 оське дейін мәндерді қабылдайды. Нөлден 16-шы оське дейінгі аралық жүйеге едәуір әсер етуші аралық.

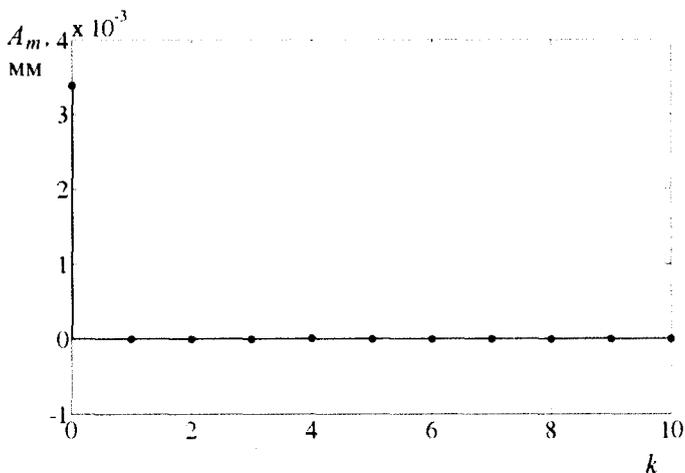
Жоғарыда айтылғандай, бұрылыстың шынайы саны есептелінетін санға сәйкес келмейді, себебі бұрылыс саны бөлшек сан бола алмайды. Математикалық модельде бұрылыстың шынайы саны есептелінген мәнді жуықтау нәтижесінде алынады. Бұрылыс санының бүтін мәнінің абсолютті қателігінің синусты параметрлері 5.17 суретте, ал косинусты параметрлері 5.18 суретте келтірілген.



Сурет 5.16 1% ұлғайтқандағы өлшеу жүйесінің абсолютті қателігінің спектралды қасиеттері



Сурет 5.17 Бұрылыс санының бүтін мәнінің абсолютті қателігінің синусты параметрлері

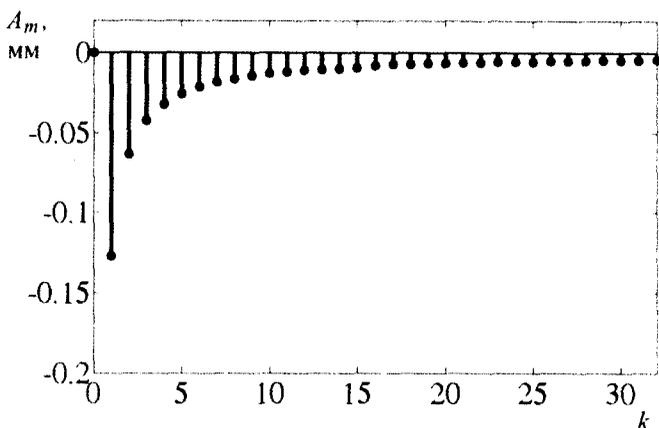


Сурет 5.18 Бұрылыс санының бүгін мәнінің абсолютті қателігінің косинусты параметрлері

Қарастырылып отырған жағдай үшін абсолютті қателігінің косинусты параметрлерінің бар болуы оның тұрақтылығын көрсетеді. Зерттеу нәтижелеріне сүйенсек, максималды бұрылыстың теориялық саны бұрылыс санының дискреттілігіне қатысты минималды ауытқу мәнін алуға болатынын көрсетеді.

Өлшеу жүйесінің ауытқуына қозғалмалы магнит тізбегінің құрылымының дәлдігі де әсер етеді. Магнит сымның ұзындығының артуы синусты және косинусты орамалдағы шығыс кернеу мәндерінің амплитудасының артуына әкеледі.

Бұл өлшеу жүйесінің сыртқы орта факторларына әсеріне төзімділігін арттырады. Дегенмен, магнит сымның ұзындығының артуы акпараттық сызықты қолдану коэффициентінің мәнін төмендетеді. 5.19 суреттегі график магнит сымның ұзындығы 1 % ұлғайғандағы өлшеу жүйесінің өзгерісін сипаттайды.

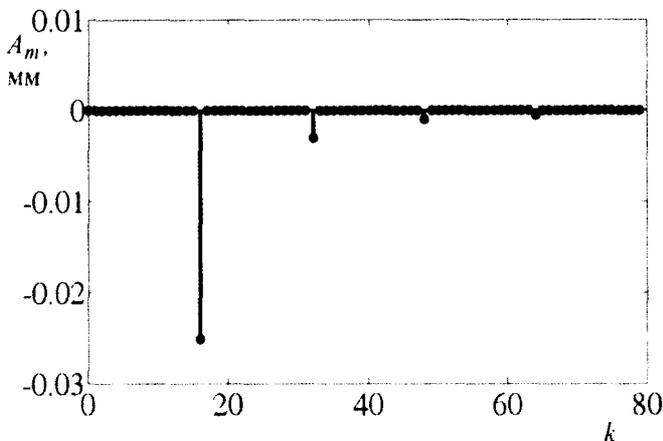


Сурет 5.19 – Магнит сымының ұзындығы 1 % ұлғайғандағы өлшеу жүйесінің өзгерісі

Косинусты параметр амплитудасы тек нөлдік осьте нөлге тең емес амплитудаға ие. Осы факторды өлшеу жүйесінің жүйелік қателіктерінің жалпы анализінде ескерген абзал.

Электромагнитті түрлендіргіштің ауытқуының көзі болып магнит орамына таралған тістердің соңғы саны есептеледі. Теориялық тұрғыда магнит тізбегінің тіс саны шексіздікке тең болу керек. Шынайы электротүрлендіргіште магнит тізбегі бірнеше аймаққа бөлінген ақпараттық сызықтың орын ауыстыруына байланысты болады.

5.20 суретте магнит тізбегінің 160 мм ұзындықтағы 16 аймаққа бөлінген магнит тізбегінің ақпараттық сызығының абсолютті ауытқуларының «спектрі» келтірілген. Ауытқудың синусты параметрлері сандары 16-ға еселік осьтер бойынша нөлге тең емес ординаталарды анықтайды.



5.20 сурет Магнит тізбегінің ақпараттық сызығының абсолютті ауытқуларының спектрі

5.1 кестеде әр түрлі фактор әсерінен туындаған абсолютті қателіктердің нәтижелері көрсетілген.

5.1 кесте

Абсолютті ауытқудың спектр амплитудалары

№ ос	Амплн		Фаз		Диск з 10-3		Дис вит 10-2		Част 10-5		БалансR 10-2		БалансL 10-2		Дл пмп		
	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	
0		0,0097		-0,399		-0,78		0,34		-		2,22		-		0,14	0,3958
1																	-0,127
2	-0,127		-	0,1999								-	-	-	0,31		-0,06
3												12,7	0,63	6,37			-0,04
4			-	0,784				-1,7									-0,03
5																	-0,025
6																	-0,02
7																	0,0182
8								-									-0,016
9								0,02									-0,014
10																	-0,013
11																	-0,012
12																	-0,011
13																	-0,01
14																	-0,01

$\Delta l_{\text{нпр}}$ – қозғалмалы магнит тізбегі ұзындығының есептелінетін мәннен ауытқуы.

4.2 кесетді мәндер электромагнитті түрлендіргіштің конструктивті параметрлеріне талдау жасауға және өлшелмелі құралдың құрылымдық схемасына қойылатын талаптарды орнатуға мүмкіндік береді.

5.7 Әсер етуші факторлардың салмағының теңдігі шартына негізделетін факторлардың рұқсат етілген ауытқуларын есептеу

Әсер етуші факторлардың салмағының теңдігі шартына сүйене отырып датчиктің ауытқуына әсер ететін параметрлердің рұқсат етілген шамаларын есептейік.

Датчикке бір уақытта бүкіл факторлар әсер ететін кездегі дисперсияның косындысы мынаған тең:

$$D = D'_a + D'_b + D'_d + D'_e + \dots D'_n \quad (5.26)$$

мұндағы $D'_a, D'_b, D'_d, D'_e, \dots, D'_n$ – өзара әрекеттесу факторларына негізделген дисперсиялар.

Әсер етуші факторлардың өзара әсер етуін ескере отырып фактор салмағы ұғымын енгізейік.

Бірінші фактордың әсер ету салмағы ретінде келесі теңдікті аламыз:

$$V_a = \frac{B_a^2 + K_{ab} B_a B_b + K_{ad} B_a B_d + \dots + K_{an} B_a B_n}{D} = \frac{D'_a}{D} \quad (5.27)$$

Басқа факторлардың әсер ету салмағы да осы тәріздес формула арқылы анықталады.

Әсер етуші факторлардың салмағының теңдігі шартына сүйеніп ауытқудың рұқсат етілген шамаларын есептейік.

етілетін әсер ету факторларының ауытқу шекараларын анықтауға мүмкіндік береді [141].

Алынған монофакторлық ауытқулар әр параметр бойынша рұқсат етілген ауытқуларды есептеуге мүмкіндік береді. Әсер етуші факторлардың салмағының теңдігі шартына сүйеніп ауытқудың рұқсат етілген шамаларын есептеген кезде датчиктің элементтерінің дәлдігі есепке алынбайды. Сонымен қатар жүйенің шешімдері бөлшек сандар. Ал ақпараттық сызықтың тіс саны бүтін сандар болғандықтан, осы жағдайда тіс санының жүйелік қателікке тәуелділігі қолданылады.

5.8 Әсер етуші факторлардың салмағының теңсіздігі шартына негізделетін монофакторлы тәуелділіктің стандартты ауытқуларын анықтау

Жоғарыда көрсетілген әдіс датчиктің эксплуатациялық жағдайын және құрасытру технологиясының ерекшеліктерін ескермейді. Бұл әдіс шығыс сигналы нәтижесі дисперсиясының әсер етуші факторлар санына қатысты механикалық бөлінуінің нәтижесі ретінде анықталады. Датчикті құрастыру параметрлеріне, технологиясына, тұрақтылығына және т.б. параметрлерге сүйенетін салмақ коэффициенттерін енгізе отырып стандартты ауытқуды анықтау әдісін оңтайландыруға болады. Фактордың салақ үлесінің өзгеруі соңғы ауытқу мәніне әсер етпеуі қажет. Салмақ үлестері қатынасының өзгерісін параметрге тәуелду болатын коэффициенттерді енгізу арқылы жүзеге асыруға болады. Нәтижесінде (5.31) түрде жазылған теңдеу жүйесін аламыз:

$$B_a^2 + K_{ab}B_aB_b + K_{ac}B_aB_c + K_{ad}B_aB_d + \dots + K_{an}B_aB_n = c_a \frac{D}{n};$$
$$K_{ab}B_aB_b + B_b^2 + K_{bc}B_bB_c + K_{bd}B_bB_d + \dots + K_{bn}B_bB_n = c_b \frac{D}{n}$$

$$K_{ac}B_aB_c + K_{bc}B_bB_c + B_c^2 + K_{cd}B_cB_d + \dots + K_{cn}B_cB_n = c_c \frac{D}{n}$$

.....

$$K_{an}B_aB_n + K_{bn}B_bB_n + K_{cn}B_cB_n + \dots + K_{mn}B_mB_n + B_n^2 = c_n \frac{D}{n}$$

(5.31)

Коэффициенттер мәні (5.32) теңдеуге сәйкес келетін шартқа сүйене отырып таңдалуы тиіс:

$$c_a + c_b + c_d + \dots + c_n = n$$

(5.32)

Коэффициенттердің нақты мәні АӨЖ элементтеріне және құрастыру технологиясын зерттеу барысында анықталады.

АӨЖ-ге арналған қозғалмалы магнит өрісі бар сызықты қозғалатын фазалық датчиктерді жобалаған кезде мынадан бастаған жөн [140]:

– Ақпараттық сызықтың магнит тізбегінің материалын таңдау

– Магнит тізбегінің геометриялық өлшемдерін таңдау:

– магнит тізбегінің магнит өрісінің орташа сызығы ұзындығы;

– шунт жоқ кездегі магнит тізбегіндегі ауа саңылауының орташа сызығы ұзындығы;

– шунттың орташа сызығының ұзындығы;

– ауа саңылауының ұзындығы;

– магнит шунтының ұзындығы;

– синусты, косинусты, біркелкі орамдағы активті бұрылыс саны.

Имитациялық модель арқылы төмендегі фактор әсерінен туындайтын дисперсиялық ауытқуларды алу мақсатында монофакторлы тәжірибелер жасалады:

– тіс санының дискреттілігі;

– бұрылыс санының дискреттілігі;

Имитациялық модель арқылы көпөлшемді кеңістікте осы факторлар әсерінен болатын Фурье коэффициенттері алынады [127].

Факторлардың өзара әрекеттесі коэффициенттері жоғарыда көрсетілген әдіс арқылы анықталады. Алынған коэффициенттердің негізінде стандартты ауытқуларды есептейтін теңдеулер жүйесі алынады.

5.9. Сызықты қозғалыстың ақпаратты-өлшелмелі жүйесінің жүйелік қателіктерінің талдау мысалы

160 мм тең диапазондағы ақпаратты-өлшелмелі жүйесіне талдау мысалы төменде келтірілген.

Жүйелік қателіктерді талдау мақсатында MatLAB ортасында имитациялық модель құрылған болатын [142]. Программа мысалы 2 қосымшада келтірілген.

Имитациялық модель арқылы АӨЖ абсолют ауытқуының сегіз факторға қатысты тәуелділіктер алынды:

- сумматор кірісіндегі синусты және косинусты амплитудаларының теңсіздігі факторы,
- сумматор кірісіндегі синусты және косинусты кернеу фазасы ауытқуының теңсіздік факторы
- ақпараттық сызықтың тіс санының дискреттілігінің әсері,
- бұрылыс саны дискреттілігінің әсері,
- генератор жиілігінің тұрақсыздығы,
- электромагнитті түрлендіргіштің синусты және косинусты орамалары тізбегінің белсенді кедергелерінің теңсіздігі факторы,
- электромагнитті түрлендіргіштің синусты және косинусты орамалары тізбегінің индуктивті кедергелерінің теңсіздігі факторы,
- қозғалмалы магнит тізбегінің есептелінетін шамадан ауытқуы.

Монофакторлы тәжірибелердің нәтижесі 5.3 кестеде көрсетілген

Монофакторлы тәжірибелердің Фурье коэффициенттері

Ось саны	Тістер әсері	Күшейткіш коэффициенті	Фаза ауытқуы	Бел-сенді кедергі-герімі	Реактив кедергі-тенгерімі	Жиіліктің тұрақтылығы	Шунт шекарасы	Бұрылыс дискр.
Дисперсия	0,03	0,0653	0,1591	0,0928	0,036	2,84* 10 ⁻⁷	0,0178	0,667
Орт кв ауытқу	0,1751	0,2555	0,3989	0,3046	0,1168	5,33* 10 ⁻⁴	0,1335	0,817
Погреш	0,0011	0,0016	0,0025	0,0019	7,3* 10 ⁻⁴	3,33* 10 ⁻⁶	8,341*10 ⁻⁴	0,0051
0		0,1803	-0,2813	0,2459	-0,0628	0,3778	-0,1141	0,1717
1								-0,0768
2								-0,4553
3		-0,0869	0,1469	-0,1211	0,278			0,0245
4		0,094	0,1358	0,0383	0,063			0,0611
5								
6								
7					0,0047			-0,035
8					-0,0094			-0,0223
9								
13								
14								
15								-0,0019
16								0,0007
17								
22								
23								-0,003
24								0,0012
25								
30								
31	-0,109					-0,1888	-0,0054	
32	0,0477					-0,1823	-0,0383	
33								
62								
63	-0,0226						-0,0058	
64	0,0183						0,0183	
65								
95	-0,0075						-0,0059	
96	0,011						-0,0116	
97								
126								

$$m8(a,b,c,d,e,f,g,h):=0,1409 \cdot h \cdot a + 0,103 \cdot b \cdot h + 0.0148 \cdot c \cdot h + 0.0709 \cdot d \cdot h + 0,1407 \cdot f \cdot h + 0,1407 \cdot g \cdot h + h^2 - 0,0001;$$

$$a:=0 \quad b:=0 \quad c:=0 \quad d:=0 \quad e:=0 \quad f:=0 \quad g:=0 \quad h:=0$$

Given

$$m1(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m2(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m3(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m4(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m5(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m6(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m7(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$m8(a,b,c,d,e,f,g,h)=0$$

$$v:=\text{Find}(a,b,c,d,e,f,g,h)$$

$$v = \begin{pmatrix} 0.077 \\ 0.083 \\ 0.104 \\ 0.212 \\ 0.204 \\ 0.095 \\ 0.08 \\ 0.024 \end{pmatrix}$$

Факторлардың келесі шартты белгілері ұсынылған:

a – каналдардың күшейюі әсерінен болған синусты және косинусты орамдардағы стандартты ауытқулар;

b – сумматор кірісіндегі синусты және косинусты ормадардың фазалық ауысымынан пайда болған стандартты ауытқу;

c – тістер дискреттілігінен пайда болған стандартты ауытқу;

d – бұрылыс диискреттілігі әсерінен пайда болған стандартты ауытқу;

e – жиіліктің тұрақсыз болуынан пайда болған стандартты ауытқу;

f – электромагнитті түрлендіргіш орамындағы белсенді кедергілердің теңгерімсіздігі әсерінен пайда болған стандартты ауытқу;

g – электромагнитті түрлендіргіш орамындағы реактивті кедергілердің теңгерімсіздігі әсерінен пайда болған стандартты ауытқу;

h – магнит тізбегі құрастыру кезіндегі пайда болатын стандартты ауытқулар;

Келтірілген мысалды a, b, c, d, \dots, g, h айнымалылары монофакторлы тәжірибелердің стандартты ауытқулары болып табылады. Келтірілген мысал үшін осындай мәндер алынады: $a = 0,077$; $b = 0,083$; $c = 0,104$; $d = 0,212$;

$e = 6,048 \cdot 10^{-3}$; $f = 0,095$; $g = 0,08$; $h = 0,024$.

Алынған нәтижелер бойынша әрекеттесу коэффициенттері бойынша параметрлердің рұқсат етілген ауытқулар алынады.

Монофакторлы тәжірибелер идеал шамадан 1 % ауытқу шарты кезінде орындалғанын және осы шарт бойынша стандартты ауытқу мәндері алынғанын ескерсек, алынған жүйелік қатені алу шартынан әсер етуші шамалардың 0,1% - ға тең кездегі рұқсат етілген ауытқулары есептелінді.

$$amp = 0,3 \% ; fhaz = 0,21 \% ; dz = 0,127 \% ;$$

$$dvit = 0,212 ; frec = 0,2 \% ;$$

$$balansr = 0,095 \% ; balansin d = 0,08 \% ;$$

$$dlinamp = 0,024 \% .$$

Осы әдіспен әр түрлі әсер етуші факторлардың салмақ үлесі кезінде параметрлердің рұқсат етілген ауытқулары есептелінеді.

5 тарау бойынша қорытынды

1. Бірфазалы режимге жұмыс жасайтын электромагнитті өлшемелі түрлендіргіш пульсацияланатын магнит өрісі, ал екіфазалы режимде жұмыс жасайтын түрлендіргіште өзгәлмалы магнит өрісі пайда болады.

2. Электромагнитті жүйеде қозғалмалы магнит тізбегі болмаған жағдайда ормадағы өзара индуктивтілік нөлге тең болады. Осы кезде кез келген орамаға айнымалы кернеу берілетін жағдайда қысқыштағы басқа орамалардың кернеулері нөлге тең болады.

3. Қозғалмалы магнит тізбегін жүйеге енгізә нәтижесінде электромагниті жүйедегі орамалардың өзгерісіне алып келеді. Бұл өз кезегінде біркелкіліктің қай тұста болмайтынын анықтауға мүмкіндік береді

4. Осылайша, таратылатын параметрі бар біркелкі емес магнит тізбегі орналасқан электромагнитті түрлендіргіштің сызықты қозғалысты өлшеу жүйесін жобалау үшін алдымен өлшеу жүйесінің имитациялық моделін құру керек.

5. АӨЖ имитациялық моделі әр түрлі факторларәсер ету кезіндегі абсолютті қатектің орын ауыстыруға қатысты тәуелділігін анықтау қажет.

6. Белгілі бір әсер етуші фактордың нәтижелі қателік мәніне әсер ету дәрежесін осы фактордың бүкіл факторлар

жиынтығындағы меншікті салмағын есептеу арқылы анықтау қажет.

7. Конструктивті параметрлердің есептеу мәндеріне қатысты ауытқулардың мәндерін әр түрлі салмақтардың жағдайынан анықтау керек.

8. Жоғарды айтылған әдістемелерді қолданудағы оңды нәтижені көпөлшемді ортогональды кеңістіктегі осьтер бойынша есептелетін бірфакторлы нәтижелерді ыдыратуды қолдану әдісі береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Ең соңында маңызды деп алынған нәтижелерді атап өтейік.

1. Ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің жүйелік қателіктерді зерттеу мақсатында біркелкі емес таратылған элементтері бар ЭМФ конструкциясын қолдану ұсынылды.

2. Сыртқы әсер етуші факторлардың өзгерісі кезінде біркелкі емес таратылған элементтері бар магнит тізбегі орналасқан электромагниттік фазовращательдің ақпараттық сызықтың аз дискреттелген және параметрлердің тұрақсыздығы кезінде сызықты қозғалыс датчиктеріне әсер етуінің басты себептері анықталды.

3. ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің жүйелік қателіктерді 4% дейін төмендетуге мүмкіндік берген біркелкі емес таратылған элементтері бар электромагниттік фазовращательдердің жүйенің түрлендіру функциясы өрнегі түзетілді. Бұл жүйелік роботизацияның датчиктік аппаратурасында және автоматтандырылған басқаруда қолданылатын ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің электромагнитті түрлендіргіштерін есепке алу нәтижесінде жүзеге асырылды.

4. Сызықты қозғалыстың өлшемелі жүйесінің функционалдық алгоритм жүйесін құрастыру нәтижесінде көпөлшемді ортогональды кеңістіктегі осьтер бойынша жүйелік қателіктерді 1,5 есе нақтырақ есептеуге мүмкіндік берді. Бұның басты ерекшелігі деп абсолютті қателік блоктарының ақпараттық сызық дискреттілігіне өзгерісін және ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің (АӨБЖ) шунттың орын ауыстыруы кезіндегі өзгерісін атап өтуге болады.

5. Тұрақсыздандырушы факторлардың өзара әреттесуін ескеру нәтижесінде роботизацияланған және автоматтандырылған жүйелердің жүйелік қателіктерін 2% мөлшеріне азайтатын талдау әдістемесі құрылды. Әдістеме көпөлшемді ортогональды кеңістіктегі осьтер бойынша орналасатын абсолютті қателіктердің ыдырауына негізделеді.

6. Синусты және косинусты орамаларды ескере отырып ақпараттық-өлшеу және басқару жүйелерінің (АӨБЖ) динамикалық қозғалыстының таратылған элементтері бар магнит орамы орналасқан электромагнитті фазатүрлендіргіштің құрылымдық схемасы жасалды. Ол өз кезегінде метрологиялық ерекшеліктерді бағалауды 5 % мөлшерге жақсартты.

7. Роботизация және автоматты басқару жүйесінің датчикті аппаратураны құрастыру кезінде аталмыш зерттеу нәтижелері мен АӨБЖ әдістемесі енгізілді.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Еременко и др Теоретические основы информационно-измерительных систем: учебник /под ред. чл.-кор. НАН Украины В. П. Бабака // Киев, 2014, с. 832
2. Бабак В.П. Теоретичні основи захисту інформації: Підручник / Книжкове видво НАУ, 2008. - 752 с.
3. Бабак В.П., Белецкий А.Я., Гуржий А.Н. Сигналы и спектры: Учебник / К.: Кн. изд-во НАУ, 2005. – 520 с.
4. Бабак В.П., Марченко Б.Г., Фриз М.Є. Теорія ймовірностей, випадкові процесита математична статистика: Підручник. / К.: Техніка, 2004. - 288 с.
5. Бабак В.П., Хандецкий В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів: Підручник. / К.: Либідь, 1999. - 392 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. / М.: Высш. шк. - 2000. - 462 с.
7. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Изд-е 13-е. / М.: Наука, 1986. – 544с.
8. Вержбицкий В. М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения. / М.: Высшая школа, 2000. – 268с.
9. Гук М. Интерфейсы ПК: Справочник. / СПб: Питер Ком, 1999. -416 с.
10. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Системный подход. / К.: ООО «ТИД «ДС» - 2004. - 992 с.
11. Еременко В.С. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посібник // В.С. Еременко, Ю.В. Куц, В.М. Мокійчук, О.В. Самойліченко. - К.: Освіта України - 2013. - 320 с.
12. Жуков Ю.Д. Полиметрические системы: теория и практика: Монография / Ю.Д. Жуков, Б.Н. Гордеев, А.В. Зивенко и др.; под ред. Ю.Д. Жукова. // Николаев: Изд-ль Прокопчук Т.Ю., 2012. – 380 с.

13. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособие. / Харьков: Консул, 2002. - 256 с.

14. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. / М.: Горячая линия – Телеком, 2000. - 452 с.

15. Профос П.М. Измерения в промышленности: Справ. изд. В 3-х кн. Под ред. Профоса П.М. / М.: Металлургия, 1990г.

16. А.А. Зори, С.И. Клевцов, В.Д. Коренев и др. Информационно-измерительные системы. Применение интеллектуальных модулей, методов и средств повышения точности физических измерений: монография / Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011 - 206 с.

17. Кузнецов В.П. Метрологические характеристики измерительных систем / М.: Машиностроение, 1984. – 412 с.

18. Кузнецов Б.Ф. Стохастические модели и методы анализа информационноизмерительных систем АСУ ТП / Ангарск: Ангарская гос. техн. Академия, 2007. – 180 с.

19. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы теории информации и кодирования: Учебник. / К.: Вища шк., 1986. - 238 с.

20. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений. / М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.

21. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / Херсон: Олді-плюс // В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко, 2013.–538 с.

22. Новопащенко Г.Н. Информационно-измерительные системы: Учебное пособие / М.: Высш. Школа, 1977. – 208 с.

23. Т.Ю.Бростилова, В.Я.Горячев, О.К.Абдирашев, Д.И.Нефедьев, А.А.Тихомирова «Методика анализа систематической погрешности информационно-измерительной системы перемещений на основе датчика линейных перемещений для электроэнергетических систем» Журнал «Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль» / г.Пенза РФ, 2019 - №4(30) стр. 21-33

24. О.К.Абдирашев, В. Я. Горячев, Ю. А. Шатова Электрическая схема замещения информационно-измерительных систем линейных перемещений на основе

фазового датчика "Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль" ВАК Научный журнал / Россия, г.Пенза С. 5-11, 2019 - № 1 (27)

25. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники: Учебник. / К.: Вища шк., 1983. - 455 с.

26. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т./М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик / Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005.–1300с.

27. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи / Киев, 2003 г.

28. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Стадник Б.І. та ін. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: Підручник / Львів: Вид-во «Бескид Біт», 2012. –618 с.

29. Раннев Г.Г. Измерительные информационные системы: учебное пособие / М.: Академия, 2010. – 336 с.

30. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер. с англ. / М.: МИР, 1978. - 848 с.

31. Рубичев Н.А. Измерительные информационные системы: учебное пособие / М.: Дрофа, 2010. – 334 с.

32. В. П. Бабак, О. Г. Байбуз, А. П. Русско-украинско-английский словарь терминов по информационным технологиям. Приставка. / К.: НАУ, 2006. - 252 с.

33. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. / М.: Изд. дом Вильямс, 2004. - 1104 с.

34. Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. Теоретические основы информационной техники: Учеб. Пособие / М.: Энергия, 1979. - 512 с.

35. Томпкинс У., Уэбстер Дж. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC / М.: «Мир», 1992. – 592 с.

36. Фишер-Крипс А. С. Интерфейсы измерительных систем. Справочное руководство / М.: Изд. Дом «Технологии», 2006.- 336 с.

37. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование: Учебн. Пособие / М.: Энергоатомиздат, 1985. – 440 с.
38. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: Учебник. / М.: Академпроект: Трикста, 2005. - 544 с.
39. Md. Zachurul Had. Applied Measurement System / Edited by Md. Zachurul Had. – In Tech, USA, 2012.
40. Belkhamsa Z., Wafa A. Measuring Organizational Information Systems Success: New Technologies and Practices / Universiti Malaysia Sabah, Malaysia, 2012
41. Herold R., Robers M. Encyclopedia of Information Assurance / Indiana, USA, 2010.
42. Lin S., Costello D.J. Error Control Coding: Fundamentals and Applications / PrenticeHall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 2003.
43. Pritchard W.L., Sciulli J.A. Satellite Communication Systems Engineering / PrenticeHall, N. J., 2006.
44. Stackpole B., Oksendahl E. Security Strategy: From Requirements to Reality. / Washington, USA, 2010.
45. О.К.Абдирашев Измерительная система линейных перемещений на базе электромагнитного фазовращателя. / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2021 - №2. – С. 90-100
46. V. Goryachev, S.Kislyakov, D.Nefediev, O.K. Abdirashev Linear Measuring Phase Shift Module International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 978-1-7281-0061-6/19/\$31.00 - 2019 IEEE - Vladivostok, Russia, 2019
47. Goryachev V.Y., Nefedyev, D.I., Brostilov, S.A., Trofimov, A.A., Shatova, Y.A., O.K. Abdirashev Influence of Spectral Composition of the Generator Voltage on the Error in the Information-Measuring System for Linear Displacements with Phase Sensor // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies / MWENT 2020 – Proceedings - 2020
48. Zh. M. Ramazanova, K.Zh.Kirgizbayeva, A.U.Akhmedyanov, M.A. Jaxymbetova, D.Yergaliyev,

A.Zhakupova, O.K. Abdirashev Influence of the process of microplasma treatment in electrolyte solutions on the oxide coating properties // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Volume 9, Issue 12 - December 2018 - pp. 709-721 IAEME Publication, Scopus Indexed

49. В. Я. Горячев, Д. И. Нефедьев, С. А. Бростилов, А. А. Трофимов, Ю. А. Шатова, Абдирашев О. К. Влияние спектрального состава напряжения генератора на погрешность информационно-измерительной системы линейных перемещений с фазовым датчиком // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2020»): материалы XII Международной научнотехнической конференции с элементами научной школы и конкурсом научноисследовательских работ для студентов, аспирантов и молодых ученых. Под ред. Е. А. Печерской / Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. – с. 222–227. – ISBN 978-5-907262-56-0.

50. Горячев В.Я, Шатова Ю.А, Абдирашев О. К. Параметры лобовых соединений обмоток фазового датчика линейных перемещений // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS : сборник статей XXVI Международной научнопрактической конференции. / Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 102–104. – ISBN 978-5-907135-21-5.

51. Горячев В.Я., Шатова Ю.А., Кисляков С.В., Бростилова Т.Ю. Блок-схема и настройка ИИС крутящих моментов / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2018. – Т. 2.- С.5-7.

52. Горячев В.Я., Шатова Ю.А., Бростилова Т.Ю., Абдирашев О. К. Фазовый датчик линейных перемещений / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2018. – Т. 2.- С.7-9.

53. Абдирашев О. К., Горячев В.Я., Шатова Ю.А., Бростилова Т.Ю. Информационно-измерительная система линейных перемещений Индуктивные параметры фазовых датчиков линейных перемещений / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2018. – Т. 2.- С.9-11.

54. Батоврин, А. А. Электромашинные фазовращатели / А. А. Батоврин. / Л. : Энерго-атомиздат - 1986. – 124 с.

55. Горячев, В. Я. Анализ систематической погрешности информационно-измерительной системы на основе датчика биений с бегущим магнитным полем / В. Я. Горячев, О. В. Гаврина, Ю. К. Чапчиков, Ю. А. Шатова / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2013. – № 1 (25). – С. 46–57.

56. Горячев, В. Я. Фазовые датчики механических величин с бегущим магнитным полем : моногр. / В. Я. Горячев. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 308 с.

57. Горячев, В. Я. Датчики механических величин на базе фазовращателей с бегущим магнитным полем / В. Я. Горячев, Т. Ю. Бростилова, С. В. Кисляков / Надежность и качество сложных систем, 2017 – № 1 (17). – С. 59–69.

58. Горячев, В. Я. Редукционные датчики угловых перемещений с бегущим магнитным полем / В. Я. Горячев, В. И. Волчихин, Ю. А. Шатова // Новые промышленные технологии, 2007. – № 2. – С. 45–50.

59. Горячев, В. Я. Влияние конструктивных параметров фазовых датчиков с бегущим магнитным полем на их метрологические характеристики / В. Я. Горячев, В. И. Волчихин // Датчики и системы, 2006. – Вып. 12. – С. 18–22.

60. С. А. Бростилов, Д. А. Голушко, Н. В. Горячев, В. А. Трусов, Н. К. Юрков Экспериментальная информационно-измерительная система для проведения испытаний на воздействие вибрации / Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, 2017. – № 1 (19). – С. 64–70.

61. Абдирашев О. К., Горячев В.Я., Шатова Ю.А. Индуктивные параметры фазовых датчиков линейных перемещений. // Традиции и инновации в современной науке: материалы XXXII международной научно-практической конференции. – Москва: Олимп, 2018. – Т. 65. – С. 66–68. – ISBN 978-5-6040640-1-6.

62. Гришко, А. К. Управление электромагнитной устойчивостью радиоэлектронных систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта /А. К.

Гришко, А. С. Жумабаева, Н. К. Юрков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, 2016. – № 4 (18). – С. 66–75.

63. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 66–75.

64. Горячев В.Я., Ергалиев Д.С., Калманова Д.М., Абдирашев О. К., Исмаилов С.Б. Датчики механических величин робототехнических комплексов на базе фазовращателей с бегущим магнитным полем. // Вестник технических наук. № 1 / Костанай, 2018 г. – С. 32 – 46

65. Горячев В.Я., Шатова Ю.А, Абдирашев О. К. Электромагнитная система фазового датчика линейных перемещений. / Волоконно – оптические, лазерные и нанотехнологии в наукоемком приборостроении. СВЕТ 2018.// Международной научно – технической конференции с элементами научной молодежной школы, посвященной 20-летию ведущей научной школы России «Волоконно-оптические приборостроение» / г.Пенза, 2018г., с. 204-211

66. D. Kalmanova, O.Abdirashev, V. Goryachev, A. Zhakupova Electrical parameters of phase sensors linear displacement / Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей - № 3(87)2019 - С. 17-20.

67. Э. Г. Миронов Методы и средства измерений: учебное пособие //ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Екатеринбург - 2009г., с. 463

68. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник для вузов.

69. Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – 5-е изд., стер. / М. : Издат. центр «Академия»- 2008. – 336 с.

70. Миронов, Э.Г. Метрология и технические измерения: учеб. пособие / Э.Г. Миронов, Н.П. Бессонов. / Екатеринбург: УГТУ–УПИ - 2005. – 299 с.

71. Дворяшин, Б.В. Метрология и радиоизмерения: учеб. пособие / Б.В. Дворяшин. / М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 304 с.

72. РМГ 43–2001. ГСОЕИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений»: Рекомендации межгосударственные / М. : Изд-во стандартов- 2003. – 38 с.

73. Рекомендации по метрологии. ГСОЕИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. / М. : Стандартиформ, 2005. – 7 с.

74. Метрология и электроизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов: под ред. В.И. Нефедова. / М. : Высшая школа, 2001. – 383 с.

75. В.И. Нефедов, В.И. Хахин, В.К. Битюков и др. Метрология и радиоизмерения: Учеб. для ВУЗов / Под ред. проф. В.И. Нефедова. / М.: Высш. шк., 2003. – 526 с.

76. Эм Г.А., Потемкина Е.Б. Акпараттық-өлшеуіш техника: Оқу құралы / Қарағанды: КарМТУ баспасы, 2006. – 119 б.

77. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. для ВУЗов. / М.: Высш. Школа, 2001. – 205 с.

78. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для вузов. / М.: «Дрофа», 2005. – 415 с.

79. Нефедов В.И., Сигов А.С., Битюков В.К и др. Электрорадиоизмерения: Учебник для ВУЗов. / М.: Форум: Инфра-М, 2004. – 384 с.

80. Эм Г.А., Потемкина Е.Б. Информационно-измерительная техника: Учеб. пособие. / Караганда, Изд-во КарГТУ, 2006. – 121 с.

81. Калманова Д. М. Сравнительный анализ программ, предназначенных для автоматизирования технологических процессов производства / Сборник материалов 13 международной научной конференции студентов и молодых ученых "Наука и образование-2018" – с.51-54

82. В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Измерения в электронике: Справочник.

83. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512с.

84. Д. М. Калманова, О. К. Абдирашев, Г.А. Ануар, Н. Ырыскелди Деформирование цилиндрического лейнера в

жесткой обойме с применением объемных конечных элементов в программном комплексе LS-DYNA / Материалы V международной научно-практической конференции конференции студентов, аспирантов, преподавателей "прикладные вопросы точных наук", Армавир, Россия - 2021 – с. 257-261

85. Электрические измерения: Учеб. для ВУЗов / Малиновский В.Н., ДемидоваПанферова Р.М., Евланов Ю.Н. и др.; Под ред. В.Н. Малиновского. / М.: Энергоатомиздат - 1985. – 416 с.

86. Котур В.И., Скомская М.А., Храмова Н.Н. Электрические измерения и электроизмерительные приборы: Учебник. / М.: Энергоатомиздат - 1986. – 400с.

87. Б.Я.Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Под ред. Е.М. Душина. // Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

88. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога / Пер. с англ. / М.: Издательский дом «Додэка-XXI» - 2002. – 384 с.

89. Бишард Е.Г., Дмитриев Ф.С., Киселева Е.А. и др. Аналоговые электроизмерительные приборы / М.: Высшая школа, 1991. – 414 с.

90. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. / Л.: Энергоатомиздат - 1988. – 288 с.

91. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и Matlab. / М.: СОЛОН-Пресс - 2004. – 800 с.

92. Федорашко И.Н., Дайч Л.И., Федорашко Ю.И. и др. Применение программы схемотехнического моделирования Electronics Workbench в процессе обучения электротехническим специальностям. Часть 1: Учеб. пособие. / Караганда, 2003. – 40 с.

93. Азизов, А. М. Методическая погрешность исследования случайных коррелированных процессов / Измерительная техника, 1969.– № 2.– С. 11–14.

94. Ахметжанов, А. А. Индукционный редуктосин / А.А. Ахметжанов, Н.В.Лукиных. / Москва, Энергия - 1971. – 78 с.

95. Ахметжанов, А. А. Электромеханические преобразователи угла с электрической редукицией / Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 104 с.

96. Батоврин, А.А. Основы теории индукционных фазовращателей с пульсирующим полем / Ленинград: Судпромгиз, 1957.– С. 3–25.

97. Батоврин, А.А. Электромашинные фазовращатели / Ленинград : Энергоатомиздат, 1986. – 124 с.

98. Сканапи М.И. Математика: Большой справочник / Москва:Издательство АСТ: Мир и образование, 2016 – с.592

99. Вульвет, Дж. Датчики в цифровых системах / Москва: Энергоиздат , 1981.

100. Горячев, В. Я. Электрические параметры фазовых датчиков линейных и угловых перемещений / В. Я. Горячев, В. И. Волчихин // Новые промышленные технологии, 2007. – № 1. – С. 48–52.

101. Горячев, В. Я. Влияние конструктивных параметров фазовых датчиков с бегущим магнитным полем на их метрологические характеристики / В.Я. Горячев, В.И. Волчихин // Датчики и системы, 2006. – № 12. – С. 18–22.

102. Горячев, В. Я. Спектральный метод анализа погрешности фазовых датчиков механических величин / В. Я. Горячев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Технические науки, 2005. – № 5. – С. 48–56.

103. Горячев, В. Я. Фазовые датчики механических величин с бегущим магнитным полем: монография / Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 307 с.

104. Горячев, В. Я. Электрические параметры фазовых датчиков механических величин / Актуальные проблемы науки и образования: труды Международного юбилейного симпозиума. // Пенза, 2003. – Т. 2. – С. 231–233.

105. Горячев, В. Я. Физические основы возникновения погрешностей датчиков с бегущим магнитным полем / Актуальные проблемы науки и образования: труды Международного юбилейного симпозиума. // Пенза, 2003. – Т. 2. – С. 238–240.

106. Джексон, Р. Г. Новейшие датчики / Москва : Техносфера - 2007. – 384 с.
107. Добровольский, И. Г. Анализ точности измерений значений информационно-измерительных систем. / Контроль. Диагностика, 2002. – № 5. – С. 41–44.
108. Домрачев, В. Г. Цифровые преобразователи угла / В. Г. Домрачев, Б. С. Мейко. // Москва: Энергоиздат, 1984. – 328 с.
109. Домрачев, В. Г. Цифроаналоговые системы позиционирования: Электромехатронные преобразователи / В. Г. Домрачев, Ю. С. Смирнов. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 207 с.
110. Зарипов, М.Ф. Индуктивные преобразователи больших линейных перемещений с распределенными параметрами магнитных цепей: автореф. дис. канд. техн. наук - Москва -1963.
111. Зарипов, М. Ф. Преобразователи с распределенными параметрами для автоматики и информационно-измерительной техники / М.Ф. Зарипов. - Москва : Энергия - 1969. – 176 с.
112. Зарипов, М. Ф. Индуктивные преобразователи больших линейных перемещений с распределенными параметрами магнитных цепей : автореф. дис. ... канд. техн. наук - Москва - 1963.
113. Конюхов, Н. Е. Унифицированный преобразователь линейных перемещений / Н. Е. Конюхов, А. А. Курицкий / Приборы и системы управления – 1984.– № 10.– С. 29–30.
114. Конюхов, Н. Е. Электромагнитные датчики механических величин / Н.Е. Конюхов, Ф. М. Медников, М.Л. Нечаевский // Москва: Машиностроение - 1987. – 256 с.
115. Куликовский, Л. Ф. Индуктивные измерители перемещений / Л. Ф. Куликовский. // Москва: Госэнергоиздат - 1961.
116. Куликовский, Л. Ф. Преобразователи перемещения с распределенными параметрами / Москва: Энергия - 1966. – 112 с.

117. Мартяшин, А. И. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения / А. И. Мартяшин, Э. К. Шахов, В. М. Шляндин // Москва : Энергия, 1976. – 392 с.

118. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. // Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние - 1991. – 304 с.

119. Орнатский, П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Киев: Вища шк., 1983. – 455 с.

120. Женисова А.Р., Әбдірашев Ә. К., Калманова Д.М., Ергалиев Д.С. Электромагниттік фазалық ауыстырғышқа негізделген өлшеу жүйесін түрлендіру функциясы / Международная конференция «Наука и образование» - 2024г. – Астана - с.215-218

121. Осадчий, Е.П. Испытательное оборудование и методы испытаний элементов систем автоматики / Пенза, 1981 – 110 с.

122. Осадчий, Е. П. Методы проведения эксперимента при проектировании измерительных элементов систем автоматики и телемеханики / Е. П. Осадчий, В. И. Карпов // Пенза, 1988. – 84 с.

123. Петрова, И. Ю. Микроэлементы систем управления с распределенными параметрами различной физической природы / Москва: Наука, 1979. – 110 с.

124. Потемкин, В. Г. MATLAB 6: среда проектирования инженерных приложений / Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 448 с.

125. Пульер, Ю. М. Индукционные электромеханические преобразователи / Ю. М. Пульер, Ю. А. Колесов, Э. И. Асиновский. // Москва: Энергия, 1969. – 110 с.

126. Рабинович, С. Г. Погрешности измерений физических величин: учебное пособие для вузов / Воронеж, 2009. – 49 с.

127. Шувалова Л.Е. Ряды Фурье: учебное пособие / Нижнекамск: Наука, 2016 – 64 с.

128. Свечарник, Д. В. Дистанционные передачи / Москва, 1966. – 480 с.

129. Усольцев А. А. Электрические машины автоматических устройств / Санкт-Петербург, 2011 – 217 с.

130. Рубичев Н. А. Измерительные информационные системы: учебное пособие / Москва: Дрофа, 2010 – 334 с.

131. Чернецов, К. Н. Проектирование технических средств автоматики и телемеханики / К. Н. Чернецов, Е. П. Осадчий Датчики систем автоматики : межвуз. сб. науч. тр. // Пенза, 1976. – 91 с.

132. Шатова, Ю. А. Основы теории и способы анализа распределенных магнитных линий с плоскопараллельным бегущим магнитным полем / В. Я. Горячев, Ю. А. Шатова // Проблемы автоматизации и управления в технических системах : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2007. – С. 79–82.

133. Шатова, Ю. А. Конструктивные особенности фазовых датчиков параметров линейных и угловых перемещений / В. Я. Горячев, Ю. А. Шатова // Проблемы автоматизации и управления в технических системах : материалы Междунар. науч.-техн. конф. // Пенза, 2007. – с. 96–98.

134. Шлядин, В.М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы / Москва : Высш. шк., 1973. – 280 с.

135. Мұхтарұлы Е., Әбдірашев Ө.К., Калманова Д.М., Ергалиев Д. С. Электромагниттік өлшеу түрлендіргіштерінің көмегімен механикалық шамаларды өлшеудің қолданыстағы әдістерін талдау / Международная конференция «Наука и образование», 2024. – с. 211-215

136. Патент ФРГ. № 960831. Генте. Индуктивный датчик с линейным перемещением. / Пат. 2119642 SU.

137. В.Я. Горячев, В. Н. Ашанин, В. А. Мещеряков. Пат. 2119642 SU. Датчик линейных перемещений / Заявка № 96108051; зарег. 27.09.1998 ; опубл. 27.09.98. – Бюл. № 27.

138. В. Я. Горячев, В. И. Волчихин, А. П.Чепасов Пат. 2272244 SU. Фазовый датчик линейных перемещений / Заявка

№ 2004119997; зарег. 20.03.2006 ; опубл. 20.03.2006. – Бюл. № 8.

139. В. Я. Горячев, А. П. Чепасов, В. А. Иванов. Датчик линейных перемещений / Опубл. 15.06.1985. – Бюл. № 22.

140. В. Я. Горячев, Л. Н. Александрова, А. П. Чепасов, Н. К. Маркелов Фазовый преобразователь перемещений / Опубл. 30.09.83. – Бюл. № 36.

141. Agraval, R. P. Microprocessor based data acquisition system for power systems / R. P. Agraval, M. A. Pai & T. V. Prabhakar // Proc. of All India Symp. On Power System Operation and Control, Hyderabad - Paper № 56.2.

142. Harrson, H. R. The Inductosin and its Application to a Programm Coordinate Table / H. R. Harrson, B. A. Horlock [et al.] // Electronic Engineering. – 1957. – Vol. 29, № 352, 353.

143. Finden, N. J. The Inductosyn and its Application / N. J. Finden, B. A. Horlock // Journal of the British Institution of Radio Engineers. – 1957. – Vol. 17, № 7.

144. Design, Perfomance and Application of the Vernier Resolver / By G. Kronacher // The Bell System Technical Journal. – 1957. – Vol. XXXVI, № 6.

Қосымша А Сызықты қозғалыс кезіндегі өлшеу жүйесінің моделі

```
%тіс саны
n=32;
%тіуо-вакуум кткізгіштігі
тіуо=4*pi/10^7;
%тіу –магнит материалының айнымалы магнит
өткізгіштігі және оның аргументі
%градуста, радианда және комплексті алгебралық фор-
мада.
тіу=1000;      тіуігр=0;      тіуір=тіуігр*pi/180;
тіуіс=тіу*cos(тіуір)+тіу*sin(тіуір)*i;
% синусты, косинусты орамдағы экк, олардың
арасындағы фазалық ауысым,
% жиілік, бұрышты жиілік, синусты,косинусты және
біркелкі орамдағы шынайы экк
%орам.
ес=0; с=10; ег=10; f=5000; тіуа=2*pi*f;
есг=ес; есг=ес; егг=ег;
% синусты,косинусты және біркелкі орамдағы жүктеме
кедергісі
тімс=10; тімс=10; тімр=1000;
%магнит тізбегі параметрі:
%статордың магнит сызығының жалпы ұзындығы
ділмс=0.01;
%статор магнит тізбегінің қалыңдығы
тімст=0.003;
тімвозд=0.006;
%шун жок жерде ойық ұзындығы
ділзбезсч=0.016;
%шунт бар жерде магнит тізбегінің ұзындығы
ділмсч=0.018;
% шунт бар жерде магнит қалыңдығы
тімсч=0.002;
% шунт бар жерде ауа санылауы ұзындығы
ділзссч=0.0005;
```

```

%акпараттық сызық ұзындығы
dlil=0.16;
%синусты және косинусты орамадағы максимал бұрылыс
саны
wm=100;
%мыстың меншікті өткізгіштігі Омхмм квадрат/4, сым
диаметрі мм, көлденең
%қима ауданы, мм квадрат
ro=0.0172; diametrpr=0.12; plpr=pi*(diametrpr)^2/4;
%сымның меншікіті кедергісі Ом/м
rprud=ro/plpr;
%статор тісі қадамы
h=dlil/n;
% гранстатор тістері шекарасы
for p=1:n
    grnzst(p)=h*(p-1);
    grvzst(p)=h*p;
end
%орамдағы бұрылыс саны: есептелінетін және шынайы
мәндер
% біркелкі, синусты, косинусты орамда
for p=1:n
    wsr(p)=wm*sin((2*pi/16)*(p-0.5));
    wcr(p)=wm*cos((2*pi/16)*(p-0.5));

end
wr=100;
%орам кедергісі
%біркелкі орам кедергісі
rpr= rprud*(2*wr*dlil+2*wr*0.006);
rs=0; rc=0;
% синусты орамдағы белсенді аймақ кедергісі және
косинусты орамдағы сымның кедергісі
for p=1:n
    rs=rs+rprud*abs(wsr(p))^2*dlil/n;
    rc=rc+rprud*abs(wcr(p))^2*dlil/n;
end

```

```

% шунт жоқ жердегі магнит тізбегінің меншікті
өткізгіштігі
% меншікті магнит өткізгіштігі
rmagnbez=dlms/(muo*mu*tmst)+dlzbezscht/(muo*tmvozd);
% шунт жоқ жердегі магнит тізбегінің меншікті
өткізгіштігі
ybez=1/rmagnbez;
% шунт бар жердегі магнит тізбегінің меншікті
өткізгіштігін есептеу
% меншікті магнит өткізгіштігі
rmagnsch=dlms/(muo*mu*tmst)+2*dlmscht/(muo*mu*tmsh)+dlzsscht/(muo*tmst);
% шунт бар жердегі магнит тізбегінің меншікті
өткізгіштігі
yscht=1/rmagnsch;
% орамалардың меншікті индуктивтілігін, өзара
индуктивтілігін есептеу
    әр түрлі үшін шығыс кернеулері мен олардың бастапқы
    фазаларын есептеу және есептеу
% шунт орналасу аймағы
for x=1:20*n/2
    % меншікті және өзара индуктивтілік мәндерін нөлдеу
    Lsin=0; Lcos=0; Lrawn=0; Mrs=0; Mrc=0; Msc=0;
%шунт шекарасы
    grnch(x)=(dlil/(20*n))*(x-1);
    grvch(x)=grnch(x)+2*0.020;
% біркелкі ораманың индуктивтілігі
    Lrawn=ybez*(dlil-2*20)*wr^2+yscht*2*20*wr^2;
% берілген орналасу координаттарындағы статор
тістерінің магниттік өткізгіштігі
% икс шунты бойынша
for p=1:n
    if grnzst(p)<=grnch(x)& grvzst(p)>grnch(x)
        y(p)=(grnch(x)-grnzst(p))*ybez+(grvzst(p)-
grnch(x))*yscht;
    elseif grvzst(p)<=grnch(x)

```

```

y(p)=(grvzst(p)-grnzst(p))*ybez;
elseif grnzst(p)>=grvch(x)
y(p)=(grvzst(p)-grnzst(p))*ybez;
elseif grnzst(p)>=grnch(x)& grvzst(p)<grvch(x)
y(p)=(grvzst(p)-grnzst(p))*ysch;
else grnzst(p)<grvch(x)& grvzst(p)>=grvch(x)
y(p)=(grvzst(p)-grvch(x))*ybez+(grvch(x)-
grnzst(p))*ysch;
end
end

```

```

for p=1:n
Lsin= Lsin+y(p)*wsr(p)^2;
Lcos= Lcos+y(p)*wcr(p)^2;
Mrs= Mrs+ y(p)*wsr(p)*wr;
Mrc= Mrc+ y(p)* wcr(p)*wr;
Msc= Msc+ y(p)*wsr(p)*wcr(p);
end

```

% а матрицасы-токтарды есептеуге арналған теңдеулер жүйесінің коэффициенттері

```

ma(1,1)=rpr+rnr+omega*Lrawn*i; ma(1,2)=omega*Mrs*i;
ma(1,3)=omega*Mrc*i;
ma(2,1)=omega*Mrs*i; ma(2,2)=rs+rns+omega*Lsin*i;
ma(2,3)=omega*Msc*i;
ma(3,1)=omega*Mrc*i; ma(3,2)=omega*Msc*i;
ma(3,3)=rc+rnc+omega*Lcos*i;

```

% b-коэффициенттер матрицасы

```

b(1,1)=err; b(2,1)=esr; b(3,1)=ecr;

```

% токтардың күрделі мәнінің матрицасы а-коэффициенттер матрицасының матрицаға қатынасына тең

%шамаоар катарынада

```

mi=ma\b;

```

% ротордын әр позициясы үшін орамдық токтар, векторлар.

```

tokrav(x)=mi(1,1);

```

```

toksin(x)=mi(2,1);

```

```

tokcos(x)=mi(3,1);
tokvyh(x)=tokcos(x)+j*toksin(x);
% орамалар токтарының модульдері мен фазалары
tokravnmod(x)=abs(tokravn(x));
tokravnphaz(x)=angle(tokravn(x));
toksinmod(x)=abs(toksin(x));
toksinphaz(x)=angle(toksin(x));
tokcosmod(x)=abs(tokcos(x));
tokcosphaz(x)=angle(tokcos(x));
tokvyhmod(x)=abs(tokvyh(x));
tokvyhphaz(x)=angle(tokvyh(x));
end
plot(tokcosphaz)
for x=1:20*n/2
    if tokvyhphaz(x)>=tokvyhphaz(1)
        tokvyhphaz(x)=tokvyhphaz(x);
    else
        tokvyhphaz(x)=tokvyhphaz(x)+2*pi;
    end
end

for x=1:20*n/2
    phaz(x)= tokvyhphaz(x)-tokvyhphaz(1);
end

% бұрыштардағы қозғалыс көрсеткішінің коэффициенті
миллиметрдегі қозғалыс көрсеткіші

k=dlil*1000/(4*pi);
% бұрыштардағы қозғалысты миллиметрдегі қозғалыс
көрсеткішіне түрлендіру

for x=1:20*n/2
    pokaz(x)=k*phaz(x);
end

%тістер саны

```

```

n=32;
%muo- вакуумның өткізгіштігі
muo=4*pi/10^7;
%mu – магниттік материалдың салыстырмалы магниттік
өткізгіштігі және оның аргументі
%градуста, радианда и комплексті алгебралық формада.
mu=1000;      phimg=0;      phimr=phimg*pi/180;
muk=mu*cos(phimr)+mu*sin(phimr)*i;
% синус, косинус орамаларының ЭҚК, олардың ара-
сындағы фазалық сдсыу, біркелкі ЭҚК,
% жиілік, бұрыштық жиілік, косинус, синус және біркелкі
орамалардың нақты ЭҚК
%.
es=0; ec=0; er=10; f=5000; omega=2*pi*f;
ecr=ec; esr=es; er=er;
% синус, косинус және біркелкі орамалардың жүктеме
кедергісі.
rns=1000; rnc=1000; rnr=10;
% магниттік сымның параметрлері:
% статор магнит сызығының жалпы ұзындығы
dlms=0.01;
% статор магниттік сызығының қалыңдығы
tmst=0.003;
tmvoz=0.006;
% шунт болмаған кезде ойық ұзындығы
dlzbezsch=0.016;
%шунттың магнит тізбегі ұзындығы
dlmsch=0.018;
%шунттыі магнит тізбегі қалыңдығы
tmsch=0.002;
% шунт бар кезде ойық ұзындығы
dlzssch=0.0005;
%акпараттық сызық ұзындығы
dlil=0.16;
% синус және косинус орамаларының максималды саны
wm=100;

```

```

%сымның меншікті кедергісі Омхмм квадрат/4, сым
диаметрі мм, көлденең аудан
%шаршы мм сым қимасы
ro=0.0172; diametrpr=0.12; plpr=pi*(diametrpr)^2/4;
% сымның кедергісі Ом/м
rprud=ro/plpr;
% статор тістерінің қадамы
h=dlil/n;
% статор тістерінің шекаралары
for p=1:n
    grnzst(p)=h*(p-1);
    grvzst(p)=h*p;
end
% орамалардың бұрылыстарының саны: біркелкі есептік
және нақты мәндер,
% синус және косинус орамалары
for p=1:n
    wsr(p)=wm*sin((2*pi/16)*(p-0.5));
    wcr(p)=wm*cos((2*pi/16)*(p-0.5));

end
wr=100;
% орамалардың кедергісі
% біркелкі орау сымының кедергісі
rprt=rprud*(2*wr*dlil+2*wr*0.006);
rs=0; rc=0;
% синус сымының белсенді бөліктерінің кедергісі және
косинус орамасының сымының кедергісі
for p=1:n
    rs=rs+rprud*abs(wsr(p))*2*dlil/n;
    rc=rc+rprud*abs(wcr(p))*2*dlil/n;
end

% шунт жоқ аймақтағы магнит өткізгіштігінің меншікті
өткізгіштігін есептеу
% меншікті магниттік кедергі
rmagnbez=dlms/(muo*mu*tmst)+dlzbezs/(muo*tmvozd);

```

```

% шунт жок аймақтағы меншікті магниттік өткізгіштік
ybez=1/rmagnbez;
% шунт орналасқан аймақтағы магнит өткізгіштің
меншікті өткізгіштігін есептеу
%%меншікті магниттік кедергі
rmagsch=dlms/(muo*mu*tmst)+2*dlm-
sch/(muo*mu*tmsch)+dlzssch/(muo*tmst);
% шунт аймағындағы меншікті магниттік өткізгіштік
ysch=1/rmagsch;
% орамалардың меншікті индуктивтілігін,өзара индук-
тивтілігін есептеу
әр түрлі үшін шығыс кернеулері мен олардың бастапқы
фазаларын есептеу және есептеу
% шунт орналасу аймағы
for x=1:20*n/2
% меншікті және өзара индуктивтілік мәндерін нөлде-
yLsin=0; Lcos=0; Lravn=0; Mrs=0; Mrc=0; Msc=0;
% шунт шекаралары
grnch(x)=(dlil/(20*n))*(x-1);
grvch(x)=grnch(x)+2*0.020;
% біркелкі ораманың индуктивтілігі
Lravn=ybez*(dlil-2*20)*wr^2+ysch*2*20*wr^2;
% берілген орналасу координаттарындағы статор
тістерінің магниттік өткізгіштігі
%шунт x
for p=1:n
if grnzst(p)<=grnch(x)& grvzst(p)>grnch(x)
y(p)=(grnch(x)-grnzst(p))*ybez+(grvzst(p)-
grnch(x))*ysch;
elseif grvzst(p)<=grnch(x)
y(p)=(grvzst(p)-grnzst(p))*ybez;
elseif grnzst(p)>=grvch(x)
y(p)=(grvzst(p)-grnzst(p))*ybez;
elseif grnzst(p)>=grnch(x)& grvzst(p)<grvch(x)
y(p)=(grvzst(p)-grnzst(p))*ysch;
else grnzst(p)<grvch(x)& grvzst(p)>=grvch(x)

```

```

y(p)=(grvzst(p)-grvch(x))*ybez+(grvch(x)-
grnzst(p))*ysch;
end
end

```

```

for p=1:n
Lsin= Lsin+y(p)*wsr(p)^2;
Lcos= Lcos+y(p)*wcr(p)^2;
Mrs= Mrs+ y(p)*wsr(p)*wr;
Mrc= Mrc+ y(p)* wcr(p)*wr;
Msc= Msc+ y(p)*wsr(p)*wcr(p);
end

```

% а матрицасы-токтарды есептеуге арналған тендеулер жүйесінің коэффициенттері

```

ma(1,1)=rpr+rnrr+omega*Lrawn*i; ma(1,2)=omega*Mrs*i;
ma(1,3)=omega*Mrc*i;
ma(2,1)=omega*Mrs*i; ma(2,2)=rs+rns+omega*Lsin*i;
ma(2,3)=omega*Msc*i;
ma(3,1)=omega*Mrc*i; ma(3,2)=omega*Msc*i;
ma(3,3)=rc+rnc+omega*Lcos*i;

```

% b-коэффициент матрицасы

```

b(1,1)=err; b(2,1)=esr; b(3,1)=ecr;

```

%матрица күрделі. токтардың мәні а-CAF матрицасының матрицаға қатынасына тең

% мәні бойынша

```

mi=ma\b;

```

% ротордың әр позициясы үшін орамдық токтар, векторлар.

```

tokravn(x)=mi(1,1);

```

```

toksin(x)=mi(2,1);

```

```

tokcos(x)=mi(3,1);

```

```

tokvyh(x)=tokcos(x)+j*toksin(x);

```

% орамалар токтарының модульдері мен фазалары

```

tokravnmod(x)=abs(tokravn(x));

```

```

tokravnphaz(x)=angle(tokravn(x));

```

```

toksinmod(x)=abs(toksin(x));

```

```
toksinphaz(x)=angle(toksin(x));
tokcosmod(x)=abs(tokcos(x));
tokcosphaz(x)=angle(tokcos(x));
tokvyhmod(x)=abs(tokvyh(x));
tokvyhphaz(x)=angle(tokvyh(x));
end
```

```
for x=1:20*n/2
    if tokvyhphaz(x)>=tokvyhphaz(1)
        tokvyhphaz(x)=tokvyhphaz(1);
    else
        tokvyhphaz(x)=tokvyhphaz(x)+2*pi;
    end
end
```

```
for x=1:20*n/2
    phaz(x)= tokvyhphaz(x)-tokvyhphaz(1);
end
```

% бұрыштардағы қозғалыс көрсеткішінің коэффициенті
миллиметрдегі қозғалыс көрсеткіші

```
k=dlil*1000/(4*pi);
```

% бұрыштардағы қозғалысты миллиметрдегі қозғалыс
көрсеткішіне түрлендіру

```
for x=1:20*n/2
    pokazl(x)=k*phaz(x);
end
for x=1:20*n/2
    otklon(x)=pokazl(x)-pokaz(x);
    k=otklon(x);
end
```

% ең кіші квадраттар әдісімен алынған түзудің коэффи-
циенттерін есептеу

```
a1=0; a2=0; a3=0; a4=0;
```

```

% x нүктелер саны
m=20*n/2;
for x=1:m
    a1=a1+pokaz(x);          a2=a2+x^2;          a3=a3+x;
a4=a4+pokaz(x)*x;
end
a6=(m*a4-a3*a1)/(m*a2-a3^2);
a5=(a1-a6*a3)/m;

% абсолютті қателер векторын есептеу
for x=1:m
    absotklon(x)=pokaz(x)-a5-a6*x;
    l(x)=a5+a6*x;
    y(x)=absotklon(x);
end

% абсолютті қателіктердің графигін құру

% қатені есептеу
d=0; sumkvadr=0;
for x=1:m
    sumkvadr=sumkvadr+absotklon(x)^2;
end
%дисперсия
d=sumkvadr/m;
% орташа квадраттық ауытқу
srqwadr=sqrt(d);
% ауытқу
pogr=srqwadr/m;

```

Қосымша В Өзара әрекеттесуші факторлардың коэффициенттерін анықтау программасы

```
amp=zeros(2,17);
phaz=zeros(2,17);
diskzub=zeros(2,17);
diskvit=zeros(2,17);
frec=zeros(2,17);
balansrez=zeros(2,17);
balansind=zeros(2,17);
dlinapmp=zeros(2,17);
amp(1,3)=-0.127; amp(1,17)=0.0001; amp(2,1)=0.0097;
phaz(1,3)=-0.041; phaz(1,5)=-0.784; phaz(1,1)=-
0.399; phaz(1,3)=0.1999;
diskzub(1,17)=-0.000025; diskzub(2,1)=-
0.00078; diskzub(2,17)=0.000012;
diskvit(1,5)=-0.017; diskvit(1,9)=-0.0002; dis-
kvit(2,1)=0.0034;
frec(2,1)=-0.28*10^-5; frec(2,17)=0.2*10^-5;
balansrez(1,3)=-0.127; balansrez(2,1)=0.0222; bal-
ansrez(2,3)=-0.0063;
balansind(1,3)=-0.0637; balansind(2,1)=-0.0014; balan-
sind(2,3)=0.0031;
dlinapmp(1,2)= -0.127; dlinapmp(1,3)= -0.06; dlin-
apmp(1,4)= -0.04; dlinapmp(1,5)= -0.03; dlinapmp(1,6)= -0.025;
dlinapmp(1,7)= -0.02; dlinapmp(1,8)= -0.0182; dlin-
apmp(1,9)= -0.016; dlinapmp(1,10)= -0.014; dlinapmp(1,11)= -
0.013;
dlinapmp(1,12)= -0.012; dlinapmp(1,13)= -0.011; dlin-
apmp(1,14)= -0.01; dlinapmp(1,15)= -0.01; dlinapmp(1,16)= -
0.008;
dlinapmp(1,17)= -0.007; dlinapmp(2,2)= 0.3958;
kvamp=amp.^2;
kvphaz=phaz.^2;
kvdiskzub=diskzub.^2;
kvdiskvit=diskvit.^2;
kvfrec=frec.^2;
```

```

kvbalansrez=balansrez.^2;
kvbalansind=balansind.^2;
kvdlinampmp=dlinampmp.^2;
dzkvamp=kvamp./2;
dzkvphaz=kvphaz./2;
dzkvdiskzub=kvdiskzub./2;
dzkvdiskvit=kvdiskvit./2;
dzkvfrec=kvfrec./2;
dzkvbalansrez=kvbalansrez./2;
dzkvbalansind=kvbalansind./2;
dzkvdlinampmp=kvdlinampmp./2;
ps1=amp(1,1)+amp(2,1)+phaz(1,1)+phaz(2,1)+diskzub(1,1)
+diskzub(2,1)+diskvit(1,1)+diskvit(2,1)+frec(1,1)+frec(2,1);
ps2=balansrez(1,1)+balansrez(2,1)+balansind(1,1)+balan-
sind(2,1)+dlinampmp(1,1)+dlinampmp(2,1);
ps=ps1+ps2;
Damp=0; Dphaz=0; Ddiskzub=0; Ddiskvit=0; Dfrec=0;
Dbalansrez=0; Dbalansind=0; Ddlinampmp=0;
pvamp=zeros(2,16);
pvphaz=zeros(2,16);
pvdiskzub=zeros(2,16);
pvdiskvit=zeros(2,16);
pvfrec=zeros(2,16);
pvbalansrez=zeros(2,16);
pvbalansind=zeros(2,16);
pvdlinampmp=zeros(2,16);
for p=1:2
    for k=1:16
        Damp=Damp+dzkvamp(p,(k+1));
        pvamp(p,k)=dzkvamp(p,(k+1));
        Dphaz=Dphaz+dzkvphaz(p,(k+1));
        pvphaz(p,k)=dzkvphaz(p,(k+1));
        Ddiskzub=Ddiskzub+dzkvdiskzub(p,(k+1));
        pvdiskzub(p,k)=dzkvdiskzub(p,(k+1));
        Ddiskvit=Ddiskvit+dzkvdiskvit(p,(k+1));
        pvdiskvit(p,k)=dzkvdiskvit(p,(k+1));
        Dfrec=Dfrec+dzkvfrec(p,(k+1));
    end
end

```

```

pvfrec(p,k)=dzkvfrec(p,(k+1));
Dbalansrez=Dbalansrez+dzkvbalansrez(p,(k+1));
pvbalansrez(p,k)=dzkvbalansrez(p,(k+1));
Dbalansind=Dbalansind+dzkvbalansind(p,(k+1));
pvbalansind(p,k)=dzkvbalansind(p,(k+1));
Ddlinapmp=Ddlinapmp+dzkvdlinapmp(p,(k+1));
pvdlinapmp(p,k)=dzkvdlinapmp(p,(k+1));
end
end
vamp=pvamp./Damp;
vphaz=pvphaz./Dphaz;
vdiskzub=pvdiskzub./Ddiskzub;
vdiskvit=pvdiskvit./Ddiskvit;
vfrec=pvfrec./Dfrec;
vbalansrez=pvbalansrez./Dbalansrez;
vbalansind=pvbalansind./Dbalansind;
vdlinapmp=pvdlinapmp./Ddlinapmp;

mp12=vamp.*vphaz;          mp13=vamp.*vdiskzub;
mp14=vamp.*vdiskvit; mp15=vamp.*vfrec;
mp16=vamp.*vbalansrez;    mp17=vamp.*vbalansind;
mp18=vamp.*vdlinapmp;

mp23=vphaz.*vdiskzub;    mp24=vphaz.*vdiskvit;
mp25=vphaz.*vfrec;
mp26=vphaz.*vbalansrez;  mp27=vphaz.*vbalansind;
mp28=vphaz.*vdlinapmp;

mp34=vdiskzub.*vdiskvit;  mp35=vdiskzub.*vfrec;
mp36=vdiskzub.*vbalansrez;
mp37=vdiskzub.*vbalansind; mp38=vdiskzub.*vdlinapmp;

mp45=vdiskvit.*vfrec;    mp46=vdiskvit.*vbalansrez;
mp47=vdiskvit.*vbalansind;
mp48=vdiskvit.*vdlinapmp;

```

mp56=vfrec.*vbalansrez; mp57=vfrec.*vbalansind;
mp58=vfrec.*vdlinapmp;

mp67=vbalansrez.*vbalansind; mp68=vbalansrez.*vdlin-
apmp;

mp78=vbalansind.*vdlinapmp;

kk12=mp12.^0.5; kk13=mp13.^0.5; kk14=mp14.^0.5;
kk15=mp15.^0.5;

kk16=mp16.^0.5; kk17=mp17.^0.5; kk18=mp18.^0.5;

kk23=mp23.^0.5; kk24=mp24.^0.5; kk25=mp25.^0.5;
kk26=mp26.^0.5;

kk27=mp27.^0.5; kk28=mp28.^0.5;

kk34=mp34.^0.5; kk35=mp35.^0.5; kk36=mp36.^0.5;
kk37=mp37.^0.5;

kk38=mp38.^0.5;

kk45=mp45.^0.5; kk46=mp46.^0.5; kk47=mp47.^0.5;
kk48=mp48.^0.5;

kk56=mp56.^0.5; kk57=mp57.^0.5; kk58=mp58.^0.5;

kk67=mp67.^0.5; kk68=mp68.^0.5;

kk78=mp78.^0.5;

k=zeros(8,8);

k(1,1)=1; k(1,2)=sum(sum(kk12));k(2,1)=k(1,2);

k(1,3)=sum(sum(kk13));k(3,1)=k(1,3);

k(1,4)=sum(sum(kk14));k(4,1)=k(1,4);

k(1,5)=sum(sum(kk15));k(5,1)=k(1,5);

k(1,6)=sum(sum(kk16));k(6,1)=k(1,6);k(1,7)=sum(sum(kk1
7));k(7,1)=k(1,7);

k(1,8)=sum(sum(kk18));k(8,1)=k(1,8);

k(2,2)=1;

k(2,3)=sum(sum(kk23));k(3,2)=k(2,3);

k(2,4)=sum(sum(kk24));k(4,2)=k(2,4);

$k(2,5)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}25));k(5,2)=k(2,5);$
 $k(2,6)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}26));k(6,2)=k(2,6);$
 $k(2,7)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}27));k(7,2)=k(2,7);k(2,8)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}28));k(8,2)=k(2,8);$

$k(3,3)=1;$ $k(3,4)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}34));k(4,3)=k(3,4);$
 $k(3,5)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}35));k(5,3)=k(3,5);$
 $k(3,6)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}36));k(6,3)=k(3,6);$
 $k(3,7)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}37));k(7,3)=k(3,7);$
 $k(3,8)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}38));k(8,3)=k(3,8);$

$k(4,4)=1;$ $k(4,5)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}45));k(5,4)=k(4,5);$
 $k(4,6)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}46));k(6,4)=k(4,6);$
 $k(4,7)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}47));k(7,4)=k(4,7);$
 $k(4,8)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}48));k(8,4)=k(4,8);$

$k(5,5)=1;$ $k(5,6)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}56));k(6,5)=k(5,6);$
 $k(5,7)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}57));k(7,5)=k(5,7);$
 $k(5,8)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}58));k(8,5)=k(5,8);$

$k(6,6)=1;$ $k(6,7)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}67));k(7,6)=k(6,7);$
 $k(6,8)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}68));k(8,6)=k(6,8);$

$k(7,7)=1; k(7,8)=\text{sum}(\text{sum}(\text{kk}78));k(8,7)=k(7,8);$

$k(8,8)=1;$

Әбдірашев Ө.К., Калманова Д.М.

**ЭЛЕКТР ӨЛШЕГІШ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІ БАР
АҚПАРАТТЫҚ-ӨЛШЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ
СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫ ӨЛШЕУДІҢ
ЖҮЙЕЛІК ҚАТЕЛІКТЕРІ**

Монография

ISBN 978-601-361-696-4



Басылуға 07.11.2024. қол қойылды.

Пішіні 60x84 1/16.

Көлемі 16,3 б.т.

Таралымы 500 дана.

Тапсырыс № 05698

ЖШС "ЛАНТАР BOOKS"

Тел.: +7 702 251 02 17

e-mail: lantar2018@mail.ru