

ДВНЗ УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Електронна система стеження

Студента(ки) 6 курсу ЕС групи

напряму підготовки:

6.050802 – електронні пристрої та системи

Юрій БЕНЗДО

(прізвище та ініціали)

Керівник Тарас ЗАЯЦЬ

(прізвище та ініціали)

доцент, к.ф.-м. наук

(посада, вч. звання, наук. ступінь)

Національна оцінка _____

Кількість балів: _____

Оцінка ECTS _____

Члени комісії:

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
Ужгородський національний університет
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

на магістерську кваліфікаційну роботу

на тему:

ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ

Студента групи ЕС: БЕНДЗО Юрія Вікторовича ()

Керівник проекту: доц. ЗАЯЦЬ Тарас Михайлович ()

Ужгород 2021

РЕФЕРАТ

Дана магістерська кваліфікаційна робота містить: 106 сторінок, 37 рисунків, 27 таблиць, 17 посилань, 6 додатки.

Об'єкт розробки: електронна система стеження.

Мета дослідження: розробити відповідну документацію та провести розрахунки згідно вимог до дипломних проектів. Спроекувати схеми електронної системи стеження з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Загальний опис пророблених робіт: робота включає літературний огляд і аналіз пристроїв даного типу та загальні принципи побудови. На основі цих даних і вимог технічного завдання, а також з урахуванням даного методу дослідження розроблено структурну та принципову схему. Проектно-конструкторський розділ містить критерії до вибору елементної бази, детальну розробку принципової електронної схеми, розрахунок функціональних блоків. Конструкторсько-технологічний розділ містить розрахунок теплових режимів роботи пристрою, а також розрахунок імовірність безвідмовної роботи пристрою в зазначений термін. Техніко-економічний розділ містить розрахунок ціни пристрою.

Ключові слова: електронна система стеження, потенціометричний датчик, вимірювання розузгодження, операційний підсилювач, мультівібратор.

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет
Кафедра Електронних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень «МАГІСТР»
Напрямок підготовки 6.050802 – електронні пристрої та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

д.ф.-м.н., Тарас ЗАЯЦЬ

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студенту _____ БЕНДЗО Юрію Вікторовичу _____
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема МКР: Електронна система стеження керівник роботи ЗАЯЦЬ Тарас Михайлович к.ф.-м. наук доцент, (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання) затвердженні наказом по університету від «__» _____ 20__ року №__.
2. Термін подання студентом роботи: «__» _____ 20__ року.
3. Вихідні дані до роботи: Провести пошук Електронних систем стеження. Провести порівняльний аналіз переваг та недоліків аналогів об'єкту дослідження. Розробити технічну пропозицію з наступними параметрами: живлення системи від джерел живлення ± 15 В та $+27$ В; тип вхідного та вихідного сигналу механічне лінійне або кутове переміщення (в залежності від призначення системи); потужність споживання електродвигуна не більше 15-20 Вт; частота імпульсів генератора імпульсів (мультивібратора) 2 МГц.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ

1. Огляд та аналіз прототипу
2. Огляд аналогів об'єкту досліджень
3. Проектно-конструкторський розділ

3.1 Опис структурної та принципової схем пристрою

3.2 Розрахунок окремих блоків пристрою

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Структурна (функціональна) схема пристрою

2. Електрична принципова схема пристрою

6. Консультанти проекту, вказати з яких розділів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
3	Тарас ЗАЯЦЬ		
Нормоконтроль	Олександр СПЕСИВИХ		

7. Дата видачі завдання: «__» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ з/п	Найменування етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітки
1	Пошук аналогів об'єкта проектування		
2	Огляд та аналіз аналогів		
3	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції		
4	Синтез структурної та принципової схем, друкованої плати їх розрахунок		
5	Виготовлення конструкторської документації		
6	Конструкторська-технологічна розробка плати		
7	Техніко-економічне обґрунтування		
8	Оформлення магістерської кваліфікаційної роботи		

Студент _____ (Юрій БЕНДЗО)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Тарас ЗАЯЦЬ)
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОНОЇ СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ	9
1.1. Основні елементи електронної системи стеження	11
1.2. Загальна характеристика електронної системи стеження	12
1.3. Застосування електронної системи стеження	14
1.4. Класифікація електронної системи стеження	15
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	17
2.1. Датчики	17
2.1.1. Лінійні диференціальні трансформатори	17
2.1.2. Магнітні датчики на основі ефекту Холла	20
2.1.3. Оптичні кодувальники	23
2.1.4. Сельсини і синус-косинусні обертові трансформатори	25
2.1.5. Індуктосини	31
2.1.6. Потенціометричні датчики	35
2.1.6.1. Призначення. Принцип дії	35
2.1.6.2. Конструкції датчиків	36
2.1.6.3. Характеристики лінійного потенціометричного датчика	39
2.2. Електродвигуни (виконуючі елементи)	44
2.2.1. Двигуни ДПМ	47
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	51
3.1. Синтез структурної схеми	51
3.2. Синтез принципової схеми	52
3.3. Розрахунок вузлів та елементів принципової схеми	53
3.3.1. Вибір датчика	53

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електронна система стеження Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрюшів</i>	
<i>Розроб.</i>		<i>Юрій Бендзо</i>					<i>6</i>	<i>102</i>	
<i>Перевір.</i>		<i>Тарас Заяць</i>							
<i>Керівн.</i>									
<i>Н. Контр.</i>									
<i>Затв.</i>		<i>Тарас Заяць</i>				УжНУ, ІТФ, гр. ЕС			

3.3.2. Вибір операційного підсилювача і розрахунок вхідного подільника напруги	55
3.3.3. Вибір цифро-аналогового перетворювача	62
3.3.4. Вибір мікросхеми лічильника	66
3.3.5. Вибір мікросхеми логічних елементів та розрахунок мультівібратора	69
3.3.6. Вибір електродвигуна та розрахунок підсилюючого каскаду	72
4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА РОЗРОБКА ПЛАТИ	77
4.1 Проектування та розрахунок друкованої плати	77
4.1.2 Визначення контактних площадок, розмірів друкованих провідників	80
4.1.3. Вибір варіантів встановлення елементів РЕА	82
4.2. Теплові характеристики пристрою	83
4.3. Розрахунок характеристик надійності пристрою	87
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	93
5.1. Розрахунок собівартості приладу	93
ВИСНОВКИ	100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	101

Додаток 1: МКР.ЕС.160178.01.000 Е1 Схема електрична структурна

Додаток 2: МКР.ЕС.160178.01.000 Е3 Схема електрична принципова

Додаток 3: МКР.ЕС.160178.01.000 Е4 Схема електрична складальна

Додаток 4: МКР.ЕС.160178.01.000 ПЕЗ Друкована плата

Додаток 5: МКР.ЕС.160178.01.000 ПЕЗ Перелік елементів

					МКР.ЕС. 20055033.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В основних напрямках економічного і соціального розвитку стає завдання розвивати виробництво електронних пристроїв регулювання і телемеханіки, виконавчих механізмів, приладів і датчиків систем комплексної автоматизації складних технологічних процесів, агрегатів, машин і устаткування.

Досвід накопичений при створенні автоматизованих і автоматичних систем управління, показує, що управління різними процесами ґрунтується на ряду правил і законів, частина з яких виявляється загальною для технічних пристроїв, живих організмів і суспільних явищ.

Вивчення процесів управління, отримання, перетворення інформації в технічних, живих і суспільних системах складає предмет кібернетики, важливим розділом якого є технічна кібернетика, включаючи аналіз інформаційних процесів управління технічними об'єктами, синтез алгоритмів управління і створення систем управління, що реалізують ці алгоритми.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Док.
Змн.	Док.	№ докum.	Підпис	Дата		8

1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ [1,2,3,4,5]

На мал. 1.1. показана електрична схема електронної системи стеження, в якій як датчики використовуються потенціометри

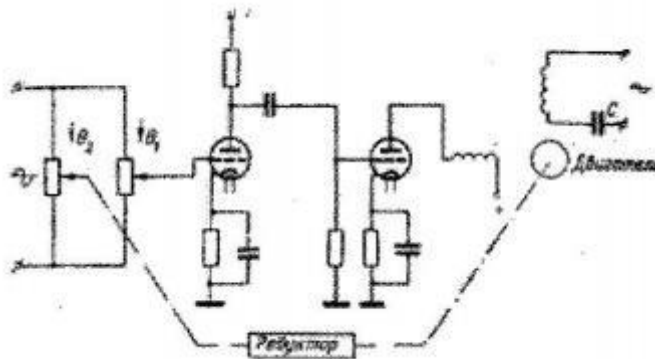


Рис. 1.1. Схема електронної системи стеження з потенціометричними датчиками [1]

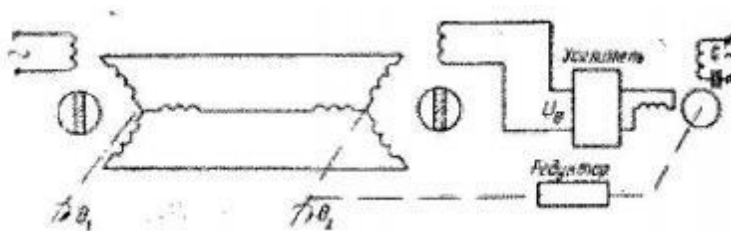


Рис. 1.2. Схема електронної системи стеження з селсынами в трансформаторному режимі [1]

А на мал. 1.2. – та ж система стеження, але в якості датчиків використовуються селсыни.

Розглянемо роботу електронної системи стеження мал. 1.2.

Вхідною величиною системи є кут повороту селсына датчика $\theta_1(t)$ або лінійне переміщення $v(t)$ пересувного контакту. Пристрої, що перетворюють механічну величину командного валу (задаючої осі) в електричну величину у вигляді напруги (або в іншу величину), у електронних системах стеження отримали назви датчики-перетворювачі.

					МКР.ЕС.160178.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		9

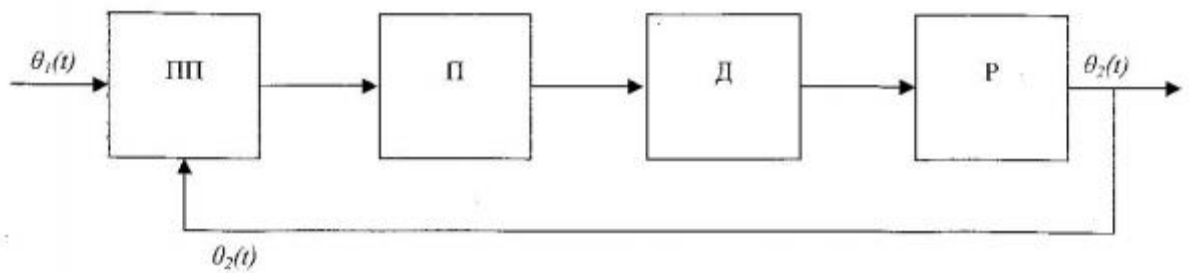


Рис.1.3. Узагальнена структурна схема електронної системи стеження [1]

Датчики, що перетворюють механічну величину (кут, лінійне переміщення) керованого валу (вихідної осі) в електричну величину, називаються приймачами.

Узгодженим положенням електронної системи стеження називається таке положення осі датчика і приймача, при якому напруга, що поступає на підсилювач, рівна нулю.

При повороті командної осі на кут θ_1 на вхід підсилювача поступає напруга $U = K_c * (\theta_1 - \theta_2)$

Де K_c – коефіцієнт перетворення, $V/рад$

θ_1 і θ_2 – в радіанах або градусах.

Сигнал розузгодження U , підсилений по потужності, поступає в обмотку управління асинхронного двигуна. Ротор двигуна через редуктор повертає приймач у бік зменшення розузгодження, тобто

$$\theta_2 \rightarrow \theta_1$$

Розглянута система є системою управління із зовнішнім зворотним зв'язком, здійсненим через орган зворотного контролю, тобто через приймач.

Принцип роботи цієї схеми полягає в прагненні стежити за вхідною величиною, тобто безперервно усувати розузгодження.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Ознайомлення з принципом роботи електронної системи стеження показує, що під електронною системою стеження розуміється така замкнута система управління, в якій використовується різниця між змінним по довільному закону задаючим сигналом і деякою функцією регульованої величини для вироблення через регулюючі елементи, дії на виконавчий пристрій.

Основне призначення електронних систем стеження – підтримка кутового або лінійного значення вихідної величини, пов'язаного з валом виконавчого двигуна, що має навантаження у вигляді моменту, у відповідності з положенням вхідної величини.

Для більшості електронних систем стеження вхідна і вихідна величини розділені дистанційно. Відстань між задаючим і приймаючим пристроєм не обумовлюється і може бути такою, яка потрібна для технологічного процесу. Нами розглянута елементарна електронна система стеження, в якій не передбачено пристрою для забезпечення необхідної стійкості і якості стеження.

1.1. Основні елементи електронної системи стеження

Будь-яка електронна система стеження має наступні основні вузли:

- 1) Елементи введення вхідної $\Theta 1$ величини і порівняння її з вихідною величиною $\Theta 2$, тобто схему вимірювання розузгодження. Потужність вхідного і вихідного сигналу незначна, тобто має низький рівень.
- 2) Після органу порівняння, що має незначну потужність, зазвичай розміщується послідовний коректуючий пристрій, який так само має незначний рівень потужності.
- 3) Наступним елементом електронної системи стеження є підсилювальний пристрій, який підсилює низький рівень потужності сигналу до необхідної величини.
- 4) Перетворювачем підсиленого сигналу розузгодження в механічне переміщення через редуктор керованого валу є двигун.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		11

5) Зворотні зв'язки.

Оскільки принцип дії електронної системи стеження полягає в прагненні стежити за вхідною величиною і безперервно усувати розузгодження, тобто виконати операцію приведення до «нуля», то очевидно, що при автоматичному порівнянні вхідної і вихідної величини θ_1 і θ_2 має місце часова затримка між ними, а це може бути причиною зниження стійкості системи. Для зменшення часової затримки між θ_1 і θ_2 , тобто для забезпечення стійкості, вводяться пристрої, що корегують: послідовні, паралельні і зворотні зв'язки.

Електронні системи стеження характеризуються величиною розузгодження, яка, як правило, є незначною. Відносно точності відробітку вхідної величини для заданого режиму роботи у електронних системах стеження пред'являються високі вимоги.

Підвищення точності вирішується в більшості випадків за рахунок підвищення коефіцієнта підсилення. З підвищенням коефіцієнта підсилення стійкість системи знижується. Таким чином, суперечність між точністю і стійкістю вирішується введенням корекції.

1.2. Загальна характеристика електронної системи стеження

Основні властивості електронної системи стеження – це підсилення потужності в прямому ланцюзі і висока точність за рахунок наявності зворотнього зв'язку.

При розрахунку електронної системи стеження ми вирішуємо два завдання:

- 1) Завдання регулювання – стеження за вхідною величиною незалежно від навантаження.
- 2) Завдання електронної системи стеження – отримання необхідних динамічних характеристик.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		12

Електронна система стеження призначається для найбільш точної підтримки рівності двох величин $\theta 1$ і $\theta 2$ незалежно від навантаження і характеру вхідної величини, а це приводить до того, що вона повинна володіти наступними трьома основними властивостями:

1) При зміні характеру вхідної величини змінюється відповідно і характер руху системи, тобто система стежить і пристосовується до зміни вхідної величини.

2) При зміні зовнішнього навантаження на вихідному валу посилення потужності відбувається автоматично, таким чином, електронна система стеження, якщо вона працює в межах розрахункових даних, практично не реагує або мало реагує на зміну навантаження, а стежить тільки за основною вхідною величиною.

3) За рахунок наявності зворотного зв'язку стежача система має високу точність.

Часто електронну систему стеження порівнюють з фільтром, але в цьому випадку потрібно враховувати:

1) У електронній системі стеження елементи мають обмежену зону лінійності, чого у фільтрі немає.

2) У фільтрі характеристики елементів стабільні, а у електронній системі стеження вони є функцією навантаження, часу, вхідної величини і т. п. Тому оптимізація тут інший раз не має сенсу.

3) У фільтрі мають місце тільки вхідні дії, тоді як у електронних системах стеження дія може мати місце в різних точках схеми (температура, зміна навантаження і т. п.).

4) Вимоги відносно частотної характеристики електронних систем стеження і фільтрів різні. У фільтрі лінійність фазової характеристики ролі не грає, тоді як у електронних систем стеження така характеристика може бути причиною втрати стійкості і зниження точності.

5)

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дата		13

1.3. Застосування електронних систем стеження

В даний час електронні системи стеження набули широкого поширення у військовій справі, промисловості, в медицині т.д. Практично немає такої галузі людської діяльності, де не упроваджено або не упроваджується автоматичне регулювання, однією з гілок якого є електронні системи стеження.

У військовій справі вони знаходять застосування в автоматах управління стрільбою, автоматичному супроводі цілі, в управлінні морськими і повітряними кораблями, в дистанційній передачі інформації і тому подібне.

Електронні системи стеження, вживані в різних галузях діяльності людини, вирішують конкретні спеціальні завдання, обумовленні даним технологічним процесом.

Точне відтворення вхідної величини в широких межах зміни її швидкості, прискорення і самої величини, як правило, не можливе, тому при розрахунку електронної системи стеження потрібно отримати інформацію про межі зміни вхідної величини, її швидкості і прискорення.

Електронні системи стеження вирішують такі завдання, які не вирішуються у разі застосування звичайних регуляторів, звичайно в цьому випадку ускладнюється керуючий пристрій.

Електронні системи стеження наближаються до систем регулювання, досліджуваних у фізіології, біології і науках, що займаються вивченням людини.

Проте не слід дуже захоплюватися аналогією, оскільки характеристика електронної системи стеження має строго визначений характер, заснований на фізичних законах, використовуваних при конструюванні цих систем, тоді як характеристики людини і тварин якісно відмінні.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Док.
Змн.	Док.	№ докum.	Підпис	Дата		14

1.4. Класифікація електронних систем стеження

Електронні системи стеження класифікуються по різних ознаках. Зупинимося на основних: за призначенням; по виконанню; по характеристиках і по схемах вимірювання розузгодження.

За призначенням електронні системи стеження можна розділити на : системи дистанційного керування, системи посилення моменту або потужності, вимірювальні системи, системи для перетворення електричних сигналів в кут повороту або кутову швидкість, системи для перетворення імпульсів в неперервну величину, системи вирішення завдань з нелінійними функціями, системи інтегрування однієї фізичної величини щодо іншої і так далі.

По виконанню електронні системи стеження поділяються на: гідравлічні, тиратронні, системи з електромашинним підсилювачем, з напівпровідниковим підсилювачем, з двигуном постійного або змінного струму і тому подібне.

Як видно вище, приведена класифікація є в деякій мірі довільною і може мати велике число ознак.

Класифікація електронних систем стеження по схемах вимірювання розузгодження наступна:

1) **Одноканальні електронні системи стеження**, які робиваються по виконанню на: схеми вимірювання розузгодження на сельсинах, на обертових трансформаторах, на потенціометрах, на фазообертачах і т.п.

Одно-канальні схеми вимірювання розузгодження для підвищення точності вимірювання можуть мати компенсуючі пристрої. Підвищення точності в цьому випадку відбувається за рахунок зменшення методичної і інструментальної похибки.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		15

2) *Багатоканальні електронні системи стеження* (число каналів схеми вимірювання розузгодження не менше двох) розбиваються на дві великі підгрупи:

- а) з механічною редукцією;
- б) з електричною редукцією.

У багатоканальних системах з механічною редукцією як датчики використовуються сельсини, обертові трансформатори, потенціометри, фазообертачі і т.п.

У кожному каналі цієї схеми є свій датчик і приймач, а зв'язок між каналами здійснюється через редуктори (механічні передачі) на підвищення від каналу низької точності до каналу вищої точності. Принцип електричної редукції полягає, в тому, що повний період зміни вихідної величини (напруга по амплітуді або фазі) датчика відбувається при малому просторовому куті повороту його ротора, а за один оберт ротора відбувається багатократне повторення періодів зміни вихідної напруги датчика. Точність виходить в цьому випадку вищою, оскільки не входить похибка механічного редуктора.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		16

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

З наведеного у вступі опису слідує, що аналіз аналогів можливо здійснювати по загальній структурній схемі (рис.1.3.), яка, в загальному випадку являється однаковою для всіх типів електронних систем стеження. В даній роботі аналіз аналогів об'єкту проектування буде здійснюватися по двом блокам: датчик, що входить до складу блоку пристроя порівняння та виконуючий блок, а саме електро двигун.

2.1 Датчики (сенсори) [6]

2.1.1. Лінійні диференціальні трансформатори

Лінійні диференціальні трансформатори (ЛДТ) є точним і надійним засобом для вимірювання лінійного переміщення. ЛДТ широко використовуються в сучасній механообробці, робототехніці, авіації і комп'ютеризованому виробництві. До кінця другої світової війни лінійні диференціальні трансформатори отримали розповсюдження як чутливий елемент в управлінні при промисловому виробництві на основі досвіду використання їх у військовій авіації, в торпедах і системах управління зброєю. Герман Шейвітц (Herman Schaevitz) опублікував в 1946 році роботу «Лінійні диференціальні трансформатори» (праці SASE? Volume IV? No.2), що ознайомило громадскість з областю застосування і можливостями ЛДТ.

ЛДТ (див. рис.2.1) є датчиками, вихідна напруга з яких пропорційна положенню магнітного сердечника, що переміщається. Сердечник переміщається по лінійному закону всередині трансформатора, що складається з центральної, первинної обмотки і двох вторинних обмоток циліндричної форми. Первинна обмотка збуджується джерелом змінної напруги (частота зазвичай складає декілька кГц), наводячи при цьому у вторинних обмотках напругу, яка мінюється із зміною положення магнітного сердечника всередині збірки. Зазвичай, сердечник забезпечується зсередини різьбленням, для того, щоб полегшити кріплення немагнітного штока, який у

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		17

свою чергу прикріплюється до об'єкту, переміщення і зсув якого вимірюватиметься.

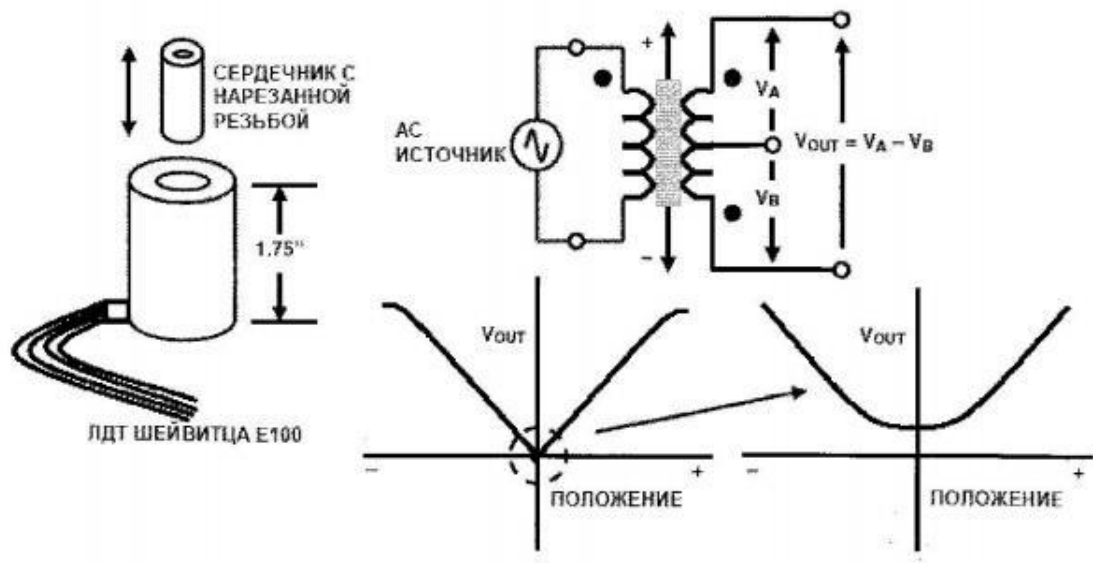


Рис.2.1. Лінійний диференціальний трансформатор (ЛДТ). [6]

Вторинні обмотки намотуються зустрічно, і коли сердечник знаходиться в центрі, напруга на вторинних обмотках рівна і протилежна по знаку, а вихідна результуюча напруга рівна нулю. Коли сердечник зміщується від центру, напруга у вторинній обмотці, у бік якої цей сердечник зміщується, зростає, тоді як напруга на протилежній обмотці зменшується. В результаті вихідна диференціальна напруга міняється лінійно в залежності від положення сердечника. Лінійність такої системи по діалазону переміщення вельми висока 0.5 % або краще. ЛДТ забезпечує хорошу точність, лінійність, чутливість і роздільну здатність, а також роботу без тертя і високу жорсткість.

ЛДТ володіє широким спектром діапазонів вимірювання переміщення, зазвичай від ± 100 мкм до ± 25 см. Типова напруга збудження лежить в області від 1 В до 24 В по середньоквадратичній величині (СКВ), і з частотами від 50 Гц до 20кГц. Основні специфікації для ЛДТ Шейвітца Е100:

- Номінальний лінійний діапазон: ± 0.1 дюйм (± 2.54 мм)
- Напруга збудження: 3 В СКВ

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

- Робочі частоти: 50 Гц до 10 кГц (2.5 кГц номінальна)
- Лінійність: 0.5% від верхньої межі
- Чутливість: 2.4 мВ/0.001 дюйм/В збудження
- Вхідний імпеданс первинної обмотки: 660.
- Вихідний імпеданс вторинної обмотки: 960.

Відзначимо, що коли сердечник знаходиться в центрі, дійсного нуля на виході не буде, унаслідок розузгодження вторинних обмоток і наявності індуктивності розсіяння. До того ж просте вимірювання вихідної напруги V_{OUT} не дасть інформації про те, по яку сторону від нульової позиції знаходиться сердечник. Ланцюг нормування, який ліквідує вказані проблеми, і в якому величини вихідної напруги віднімаються, показаний на рис. 2.2. Використання даного методу дозволяє вимірювати переміщення сердечника в додатному або від'ємному напрямі від центру конструкції.

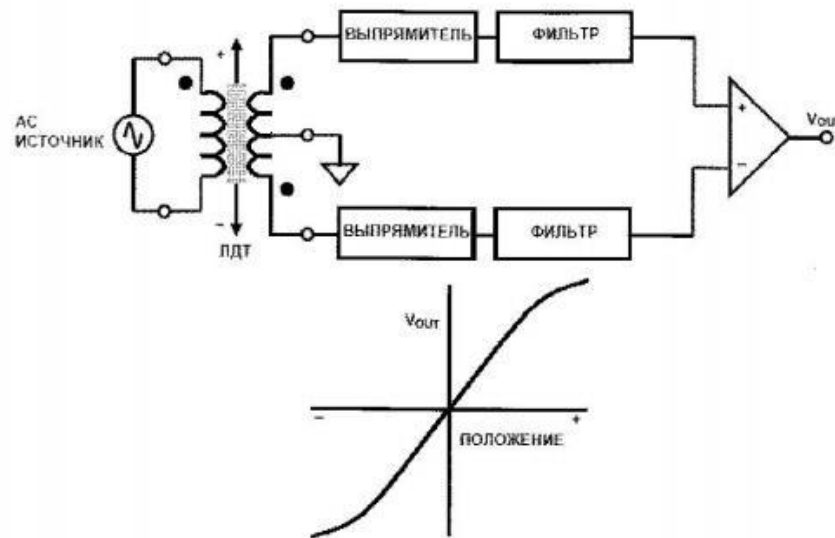


Рис.2.2. Покращена схема обробки вихідних сигналів з ЛДТ. [6]

Як ланцюг що вимірює абсолютну величину напруги можна використовувати діодно-ємнісний випрямляч, в той же час для більшої. Точності та лінійності краще використовувати прецизійний випрямляч, як продемонстровано на рис.2.3.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

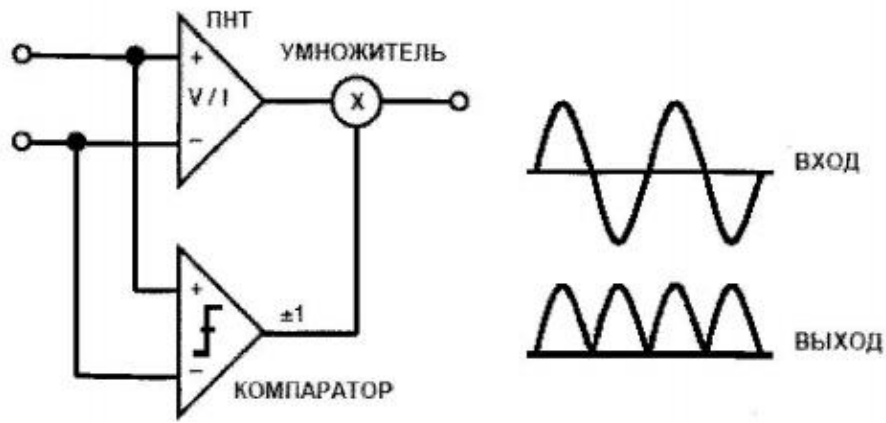


Рис.2.3 Ланцюг прецизійного виділення абсолютного значення напруги (двонапівперіодний випрямляч) [6]

Вхідний сигнал прикладається до перетворювача напруга/струм (ПНС), який, у свою чергу, подає свій вихідний сигнал на вхід аналогового перемножувача знак сигналу на диференціальному вході визначається компаратором, вихід якого змінює знак вихідного сигналу ПНС через аналоговий перемножувач. Результуюча вихідна напруга є точною копією абсолютної величини вхідної напруги. Ця схема добре відома розробникам інтегральних схем (ІС) і вона добре вписується в сучасні біполярні процеси.

2.1.2. Магнітні датчики на основі ефекту Холла

Якщо пропустити струм в провіднику (або напівпровіднику) в присутності перпендикулярного магнітного потоку, то в перпендикулярній площині буде генеруватися напруга (див. рис.2.4). Цей ефект називається ефектом Холла і був відкритий Е.Н.Холлом в 1879 році. Напруга V_H відома як напруга Холла. V_H є функцією щільності струму, магнітного поля, щільності переносимого заряду і рухливості носіїв в провіднику.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

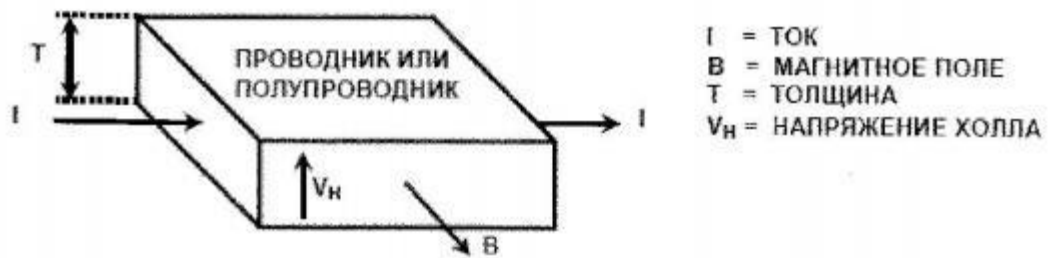


Рис.2.4. Датчик на основі ефекту Холла.

Ефект Холла можна використовувати для вимірювання магнітного поля (і отже вимірювати струм безконтактним способом), але більш загальним застосуванням є контроль переміщення, де є нерухомий датчик Холла і маленький магніт, прикріплений до рухомої частини, переміщення якої необхідно визначити, наприклад, в розподільному пристрої. Датчик Холла замінює кулачки розподільного пристрою і його електричні контакти, що в істотній мірі збільшує надійність цього пристрою (ліквідовуються: вплив зносу кулачків розподільного пристрою, іскріння і забруднення його контактів). Оскільки V_H пропорційно магнітному полю, а не швидкості зміни магнітного поля, як у разі індукційних датчиків, датчики Холла є надійнішими пристроями при низьких швидкостях переміщення в порівнянні з індукційними.

Багато матеріалів можна використовувати для створення датчиків з ефектом Холла, проте, кремній є переважаючим матеріалом, оскільки на одному і тому ж кристалі можна виготовити як датчик, так і ланцюги нормування його сигналів. КМОП-процеси є загальними для такого застосування. За допомогою датчика Холла можна зробити простий пристрій вимірювання швидкості обертання, що включає датчик, підсилювальний каскад і компаратор, як показано на рис.2.5. Цей ланцюг призначений для визначення швидкості обертання стосовно автомобіля. Датчик реагує на малу зміну магнітного поля, а компаратор має вбудований гістерезис для запобігання осциляціям. Ці пристрої широко поширені і випускаються багатьма компаніями.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

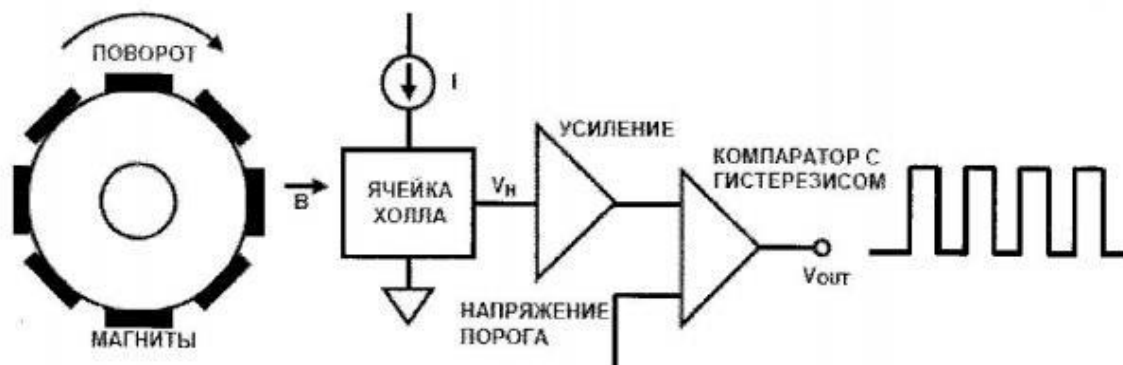


Рис.2.5. Датчик Холла, використовуваний як датчик обертання.

Існує безліч інших застосувань особливо в автомобілебудуванні, пов'язаних з вимірюванням переміщення заслінок, педалей, підвіски і для вимірювання положення клапанів. AD22151 є лінійним датчиком магнітного поля, вихідна напруга якого пропорційна магнітному полю, прикладеному перпендикулярно до верхньої частини його корпусу (див. рис.2.6). Для мінімізації температурних дрейфів характеристик ячейки Холла, об'ємний елемент Холла і нормуюча електроніка об'єднані в одному кристалі ІС AD22151.

Дана архітектура володіє достатньою універсальністю і для різних застосувань потрібна мінімальна кількість зовнішніх компонентів. Основні характеристики ІС включають компенсацію динамічного дрейфу зсуву шляхом використання операційного підсилювача стабілізованого перериванням і вбудованого датчика температури. Пристрій призначений для роботи з однополярним живленням +5 В, має низький зсув і малий температурний дрейф і допускає експлуатацію в діапазоні температур — 40°C до 150°C. Температурна компенсація (встановлювана зовнішнім резистором R1) може адаптувати ряд магнітних матеріалів, що вживаються зазвичай в позиційних датчиках. Діапазон вихідної напруги і підсилення можна з легкістю змінювати за допомогою зовнішніх резисторів. Типовий діапазон підсилення складає від 2 мВ/Гаусс до 6 мВ/Гаусс. Діапазон вихідної напруги можна налаштувати на вимірювання як біполярного (змінного)

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

потік прямокутних імпульсів, які при подальшому підрахунку, вказують на кутове положення осі датчика.

Роздільна здатність існуючих кодувальників (число прозорих і непрозорих секторів на диску) складає від 100 до 65000, при абсолютній точності близько 30 дугових секунд (1/43200 на оберт). Більшість інкрементних кодувальників містять друге джерело світла і приймач, розташовані під кутом до основних, для вказівки напрямку обертання. А багато кодувальників мають ще третє Джерело і приймач для вказівки одного повного обороту (маркер). За відсутності маркера абсолютний кут визначити надзвичайно важко. Потенційно серйозний недолік полягає в тому, що інкрементні датчики вимагають зовнішніх лічильників для визначення кута усередині даного одного обороту, якщо живлення короточасного вимкнеться, або якщо датчик втратить деякі імпульси через шуми або бруд на диску, результуюча кутова інформація буде помилковою .

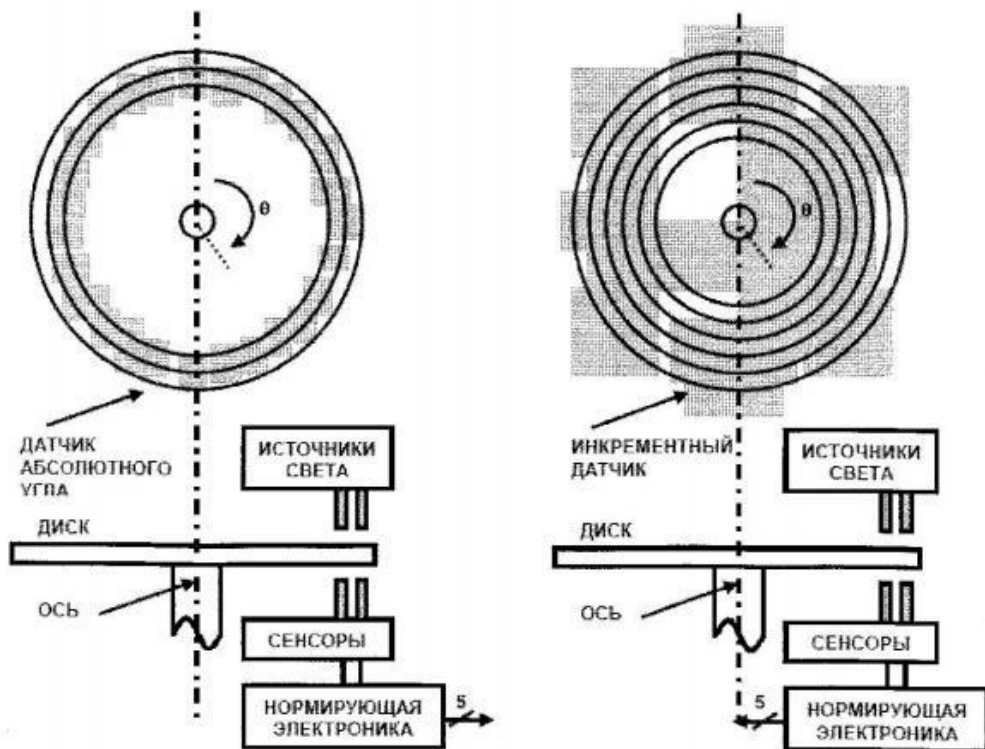


Рис.2.7. Оптичні кодувальники: інкрементний і абсолютного кута повороту.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

Оптичний кодувальник абсолютного кута повороту (зправа на рис.2.7) обходить ці недоліки, але він дорожчий. Диск оптичного кодувальника абсолютного кута повороту ділиться на N-секторів (у прикладі N=5), і кожен сектор ще ділиться радіально на непрозорі і прозорі ділянки формуючи тим самим унікальне N –бітне цифрове слово з максимальним числом відліків $2N-1$. Сформоване таким чином цифрове слово інкрементується при переході від одного сектора до іншого, зазвичай використовується код Грея. Можна було б використовувати і двійкове кодування, але воно дає великі помилки, якщо одиночний біт неправильно інтерпретується приймачами. Код Грея обходить цей дефект: максимальна помилка, що отримується з коду Грея, складає тільки один молодший значущий розряд після того, як код Грея буде перетворений на двійковий код. Набір з N світлоприймачів дає N-бітне цифрове слово, яке відповідає абсолютному куту повороту. Промислові оптичні кодувальники досягають 16-бітової роздільної здатності з абсолютною точністю близько 20 дугових секунд. В той же час оптичні кодувальники (абсолютного кута і інкрементні) схильні до небезпеки пошкодження в жорстких промислових умовах.

2.1.4. Сельсини і синус-косинусні обертові трансформатори

За отриманням точнішої інформації про кут повороту і обертання виробники систем механообробки і робототехніки в даний час звертають свою увагу у бік синус-косинусних обертових трансформаторів (СКОТ) і сельсинів. Дані пристрої зарекомендували себе вельми добре в промислових застосуваннях, що вимагають від вживаних пристроїв малих розмірів, довготривалої надійності, вимірювання абсолютного положення, високої точності і малої величини шумів.

На рис.2.8 показана структура сельсина і СКОТ. Як сельсин, так і СКОТ використовують ротори з однією обмоткою, які обертаються всередині нерухомих статорів. У разі простого сельсина, статор має три обмотки розташованих під кутом 120° одна щодо іншої і сполучених зіркою. СКОТ

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Більшість СКОТ специфікуються для роботи з напругою від 2 В до 40 В СКВ із частотами від 400 Гц до 10 кГц. Діапазон кутової точності складає від 5 кутових хвилин до 0.5 кутової хвилини (60 кутових хвилин складає 1 градус, 60 кутових секунд міститься в 1 кутовій хвилині. Отже, 1 кутова хвилина = 0.0167 градуса).

У роботі сельсина вельми схожі на обертові трансформатори. Обмотка ротора збуджується змінною опорною напругою з частотою до декількох кГц. Величина напруги наведеної на будь-яку обмотку статора пропорційна синусу кута θ між осями котушки ротора і котушки статора. У разі сельсина, напруга, що з'являється на будь-якій парі затискачів статорів буде векторною сумою напруги двох сполучених котушок. Наприклад, якщо ротор сельсина збуджується опорною напругою $V \sin \omega t$, на затискачах R1 і R2, на затискачах статора напруги будуть у вигляді:

$$S1 \text{ до } S3 = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin \theta$$

$$S3 \text{ до } S2 = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\theta + 120^\circ)$$

$$S2 \text{ до } S1 = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\theta + 240^\circ)$$

де θ — кут повороту осі ротора.

У разі ж СКОТ, при подачі на ротор опорної напруги $V \sin \omega t$, На затискачах статорів обмоток буде напруга:

$$S1 \text{ до } S3 = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin \theta$$

$$S4 \text{ до } S2 = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\theta + 90^\circ) = V \cdot \sin \omega t \cdot \cos \theta$$

Слід відмітити, що три провідний вихід сельсина можна легко перетворити в еквівалентний формат виходу СКОТ за допомогою трансформатора Скотта. Тому на далі приклади по обробці сигналів відносяться тільки СКОТ.

Типовий цифровий перетворювач з СКОТ (СКОТ ЦП) схематично зображений на рис.2.8. Обидва виходи СКОТ подаються на косинусний і

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

синусний перемножувачі. Ці перемножувачі містять в собі синусну і косинусну таблиці перетворення і працюють як помножувачі цифро-аналогові перетворювачі. Почнемо з припущення, що поточним вмістом реверсивного лічильника є число, відповідне деякому початковому куту ϕ . Перетворювач безперервно прагне підстроїти цифровий кут ϕ так, щоб він був рівний куту (θ (і відстежував його), вимірюваному аналоговим чином. Вихідна напруга статора СКОТ записується таким чином:

$$V_1 = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin \theta$$

$$V_2 = V \cdot \sin \omega t \cdot \cos \theta$$

де θ кут повороту ротора СКОТ. Код цифрового кута ϕ подається на косинусний помножувач, і косинус кута помножається на V_1 , в результаті виходить рівність:

$$V \cdot \sin \omega t \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi$$

Код цифрового кута ϕ подається на синусний помножувач і помножається на V_2 :

$$V \cdot \sin \omega t \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi$$

Дані два сигнали віднімаються один від іншого за допомогою підсилювача помилки, в результаті виходить вихідний сигнал у вигляді:

$$V \cdot \sin \omega t \cdot [\sin \theta \cdot \cos \phi - \cos \theta \cdot \sin \phi]$$

Використовуючи тригонометричні функції, скоротимо запис:

$$V \cdot \sin \omega t \cdot [\sin(\theta - \phi)]$$

Синхронний детектор демодулює цей сигнал помилки змінного струму, використовуючи напругу ротора СКОТ як опорного. Ця операція дає сигнал помилки постійного струму пропорційний величині $\sin(\theta - \phi)$.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Сигнал помилки постійного струму подається на інтегратор, вихід якого управляє ГКН (генератор керований напругою), а ГКН у свою чергу управляє напрямом рахунку реверсивного лічильника, з тим щоб:

$$\sin(\theta - \varphi) \rightarrow 0$$

З цього виходить:

$$\theta - \varphi \rightarrow 0$$

Тому $\theta = \varphi$ усередині одного відліку. Отже, цифровий вихід з лічильника (φ) представляє собою кут θ . Регістр-защелка дозволяє передати назовні ці дані не перериваючи процес стеження.

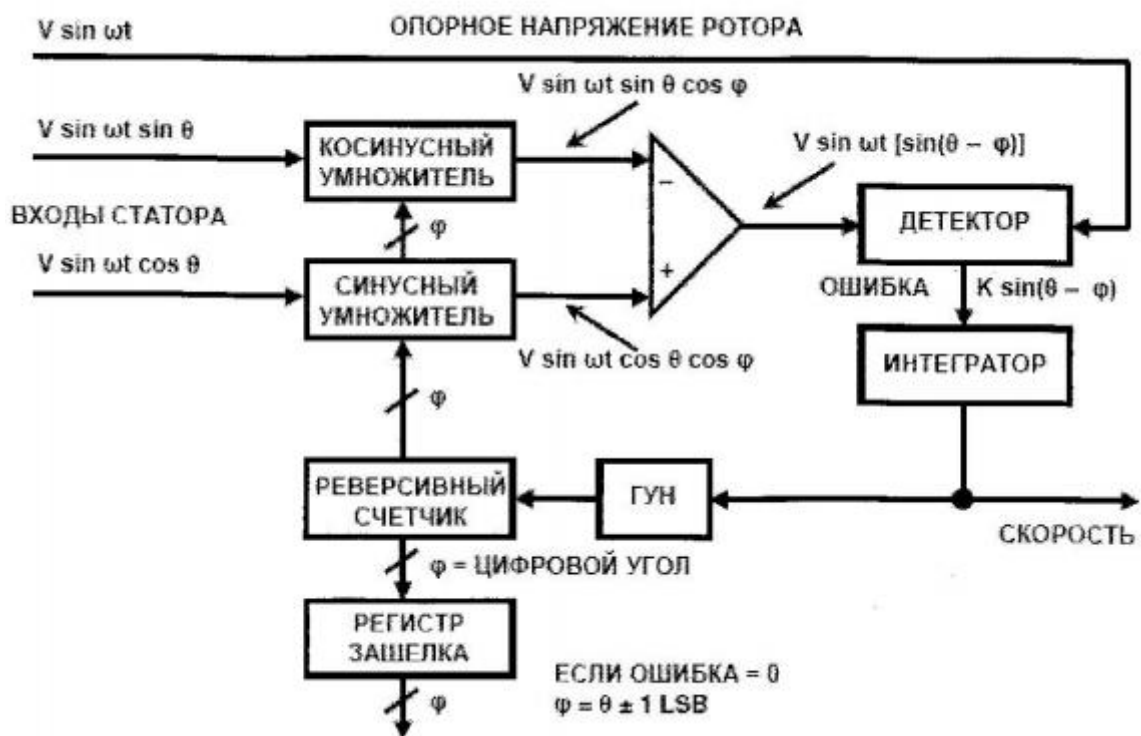


Рис.2.8. Цифровий перетворювач з СКОТ (СКОТ ЦП).

Даний ланцюг еквівалентний контуру управління (серво ланцюги) другого порядку оскільки, фактично, він містить в собі два інтегратори. Першим інтегратором є лічильник, який накопичує імпульси управління, а другим є інтегратор, на який подається вихід з синхронного детектора.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У контурі управління другого порядку з постійною швидкістю обертання на вході, вихідне цифрове слово постійно відстежує вхідну величину без додаткових зовнішніх команд на перетворення і без додаткового фазового зміщення між вихідним цифровим словом і дійсним кутом повороту осі ротора. Сигнал помилки з'являється тільки під час прискорення або уповільнення системи. Інтегральна схема (ІС), що вирішує завдання такого перетворення іноді називається коротко ротаційно цифровим перетворювачем (РЦП).

Як додатковий вигреш стежачий РЦП дає вихідну аналогову напругу постійного струму прямо пропорційну швидкості обертання осі. Це є вельми корисною якістю, якщо швидкість вимірюватиметься і використовуватиметься як стабілізуючий елемент в системі управління, при цьому, необхідність в постановці тахометра зникає.

Оскільки робота РЦП залежить тільки від відношення амплітуд вхідних сигналів, послаблення в лініях передачі істотно не впливає на роботу системи. З подібної ж причини конвертори не чутливі до спотворень форми сигналу. Фактично вони можуть працювати з вхідними сигналами, гармонійні спотворення яких можуть досягати 10 %; деякі застосування, на практиці, використовують прямокутні опорні сигнали при малих кінцевих помилках.

Стежачі АЦП з цієї причини ідеально підходять для реалізації РЦП. Інша архітектура АЦП така як, наприклад, АЦП послідовного наближення, звичайно, можна було використовувати, проте, стежачі конвертори дають найбільшу точність і ефективніші для даного застосування.

Оскільки стежачий РЦП двічі інтегрує сигнал помилки, пристрій дає високий ступінь завадостійкості (нахил характеристики складає 12 дБ/октаву). Повна площа під будь-якою імпульсною завадою дає деяку помилку. Проте типові завади, наведені індуктивним чином, мають рівні

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		30

позитивні і негативні сплески. При інтеграції таких сигналів, результуючий сигнал помилки рівний нулю. Підсумкова стійкість до перешкод, сполучена з нечутливістю конверторів до падіння напруги, дозволяють користувачеві розміщувати РЦП на значній відстані від СКОТ. Послаблення дії шумів посилюється за допомогою синхронного детектора, що послаблює будь-який сигнал неспівпадаючий по частоті з опорним, що особливо важливо у разі широкосмугового шуму.

AD2S90 один з ряду інтегральних РЦП пропонується фірмою Analog Devices. Основна архітектура ІС схожа на архітектуру, зображену на мал.6.14. Рівень вхідного сигналу повинен складати 2 В СКВ $\pm 10\%$ у діапазоні частот від 3 кГц до 20 кГц. Основні специфікації ІС:

- 12-бітова роздільна здатність ($1 \text{ МЗР} = 0.08^\circ = 5.3 \text{ кут. Хв.}$)
- Входи: 2 В СКВ $\pm 10\%$, від 3 кГц до 20 кГц
- Кутова точність: 10.6 кут. Хв. $\pm 1 \text{ МЗР}$
- Максимальна швидкість відстежування: 375 об/сек.
- Максимальна частота виходу ГУН: 1.536 МГц
- Час встановлення при збуренні:
 - o на 1° : 7 мс
 - o на 179° : 20 мс
- Наявність диференціальних входів
- Наявність послідовного вихідного інтерфейсу
- Живлення $\pm 5 \text{ В}$, розсіювана потужність 50 мВт
- Корпус PLCC 20 контактів

2.1.5. Індуктосини

Сельсини і СКОТ призначені для вимірювання положення при обертанні, але ними можна проводити і лінійні вимірювання, якщо використовувати подаючий гвинт як перетворювач виду руху. Альтернативою є

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Індуктосинити™ (термін офіційно зареєстрований фірмою Farrand Controls, Inc.), що вимірюють лінійне переміщення прямим чином. До того ж індуктосини досить точні і добре пристосовані для експлуатації у важких індустриальних умовах, і не вимагають наявності омичного контакту між їх окремими частинами.

Лінійний індуктосин складається з двох частин зв'язаних між собою магнітним полем; у роботі він нагадує багатополіусний СКОТ (див. рис.2.9). Одна частина індуктосина — масштабна лінійка, фіксується (за допомогою епоксидної смоли) до однієї з осей механізму, наприклад, до станини. Інша частина — повзунок, рухається уздовж масштабної лінійки і пов'язана з тією частиною пристрою, положення якої змінюватиметься (наприклад, супорт механізму).

Масштабна лінійка виготовляється з матеріалу станини, як сталь, нержавіюча сталь, алюміній або пружинна стрічка, які покриваються ізолюючим шаром. Друкований провідник у формі довгої прямокутної гребінки приклеюється до даного шару. Період гребінки зазвичай береться з кроком 0.1 дюйма, 0.2 дюйма або 2 мм. Повзунок, завдовжки близько 4 дюймів, також містить два друкованих провідника приклеєних до його поверхні оберненою у бік масштабної лінійки. Ці два провідники мають таку ж гребінчасту форму і з тим же кроком, як і на масштабній лінійці, але зрушені один відносно іншого на 1/4 періоду. Масштабна лінійка і повзунок розділяються повітряним зазором близько 0.007 дюйма.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		32

числа пройдених зубців полягає у використанні для цього СКОТ або сельсина, підключених через зубчасту пару колесо-рейка або за допомогою подаючого гвинта.

На відміну від СКОТ з високим коефіцієнтом трансформації 1:1 або 2:1 типовий індуктосин працює з коефіцієнтами трансформації порядку 100:1. Це приводить до того, що обидва вихідних сигнали лежать в діапазоні мілівольта і зазвичай вимагають свого підсилення.

Оскільки вихідні сигнали повзунка виходять усереднюванням з великого набору просторових циклів, малі помилки в просторовому розташуванні зубців мають вельми малий ефект. Це є важливою причиною, по якій індуктосини мають надзвичайно високу точність. У з'єднанні з 12-розрядним РЦП лінійний індуктосин зазвичай досягає роздільної здатності в 25 мікродюймів.

Можна створити індуктосин, що обертається, розміщуючи гребінку масштабної лінійки на круглому роторі, а гребінки повзунка на круглому статорі. За допомогою такого пристрою можна отримати досить високу роздільну здатність. Наприклад, типовий індуктосин, що обертається, може містити гребінку з 360 зубців на один оберт і можна використовувати 12-розрядний РЦП. Конвертер ділить кожен крок гребінки на 4096 секторів. Помножаючи їх на 360 зубців, можна сказати, що індуктосин, що обертається, ділить коло, як ціле, на 1 474 560 секторів. Це відповідає кутовій роздільній здатності менш ніж 0.9 кут.сек. Як і у разі лінійного індуктосина, повинні бути забезпечені засоби для підрахунку кількості окремих зубців по ходу обертання осі. Це може виконуватися за допомогою додаткового СКОТ, що виконує грубі вимірювання.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дата		34

2.1.6. Потенціометричні датчики [17]

2.1.6.1. Призначення. Принцип дії.

Потенціометричні датчики призначені для перетворення механічного переміщення в електричний сигнал. Основною частиною датчика є реостат, опір якого змінюється при переміщенні движка, що ковзає по дроду (схема включення потенціометричного датчика показана на рис.3.10, а).

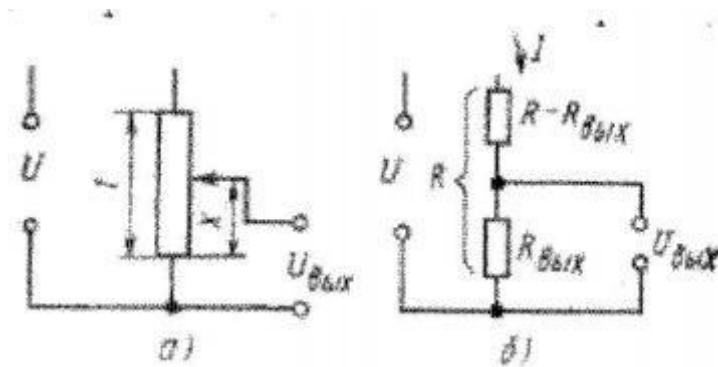


Рис.2.10. Схема включення потенціометричного датчика. [17]

Напряга живлення подається на всю обмотку реостата через нерухомі виводи цієї обмотки. Вихідна напруга, пропорційна переміщенню движка, знімається з одного з нерухомих виводів і з рухомого движка. Така схема включення в електротехніці називається потенціометром або схемою дільника напруги. Якщо опір всієї обмотки датчика позначити через R , а опір частини цієї обмотки, з якої знімається вихідна напруга, через $R_{вих}$, то схема потенціометричного включення датчика може бути представлена як послідовне з'єднання резисторів з опором $R_{вих}$ і $(R - R_{вих})$ (рис.2.10, б). Струм через обмотку датчика $I = U/R$, а прикладена напруга розподіляється (ділиться) між послідовно сполученими резисторами: $U = I R_{вих} + I(R - R_{вих})$. Якщо опір обмотки рівномірно розподілити по довжині l , а переміщення движка позначити через x , то вихідна напруга датчика:

$$U_{вих} = I R_{вих} = I \frac{x}{l}$$

Таким чином, вихідний сигнал датчика пропорційний переміщенню движка. У автоматичних системах движок може бути механічно зв'язаний з яким-небудь пристроєм (клапаном, кермом, антеною, ріжучим інструментом і т.д.), положення якого треба виміряти і передати у вигляді електричного сигналу. Зусилля, під дією якого переміщається движок, в цьому випадку досить велике. Тому для забезпечення надійного контакту між движком і обмоткою слід мати достатньо велику силу притиснення движка. У автоматичних приладах для вимірювання різних не електричних величин движок датчика з'єднується з чутливим елементом, що перетворює контрольовану величину в переміщення. Зусилля, що розвивається чутливими елементами (мембранами, біметалічними пластинами, поплавцями і т. п.), невелике. Тому не можна сильно притискувати движок до обмотки.

Наявність ковзаючого контакту знижує надійність датчика потенціометра і є його основним недоліком. Для живлення датчика може бути використана як напруга постійного струму, так і напруга змінного струму невисокої частоти. Вхідним сигналом датчика може бути не тільки лінійне, але і кутове переміщення.

Залежно від закону зміни опору обмотки розрізняють лінійні і функціональні датчики потенціометрів.

2.1.6.2. Конструкції датчиків

Конструктивно датчик (рис. 2.11) потенціометра складається з каркаса 1, на який намотана в один шар обмотка 2 з тонкого дроту. По витках обмотки ковзає движок (щітка) 3, який механічно пов'язаний з об'єктом, переміщення якого треба виміряти. Обмотка виконана з ізольованого дроту, а доріжка' по якій ковзає движок, заздалегідь очищена від ізоляції.

Каркас виконаний зазвичай плоским або у вигляді циліндра. Матеріалом каркаса може бути ізолятор (текстоліт, гетинакс, пластмаса, кераміка) або

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		36

метал, покритий шаром ізоляції. Металеві каркаси завдяки кращій теплопровідності дозволяють отримати велику потужність електричного сигналу на виході датчика. Як матеріал для такого каркаса може бути нанесений шар окисованого алюмінію завтовшки близько 10 мкм. При розгляді в лупу з 20-ти кратним збільшенням шар не повинен мати тріщин або нерівностей. Напруга пробою такого шару не менше 500 В.

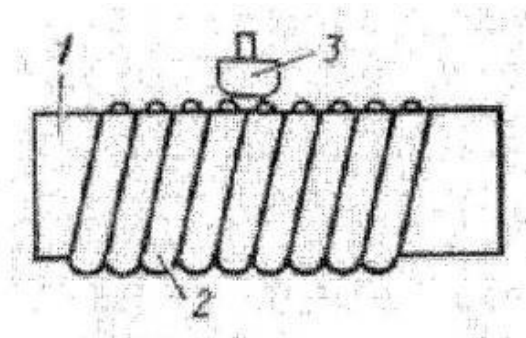


Рис.2.1 1. Конструктивна схема потенціометричного датчика [17]

Для обмотки датчика потенціометра найчастіше застосовують дріт з манганіну, константана і інших провідникових матеріалів, що мають малий температурний коефіцієнт опору. При великих зусиллях притиснення джвижка використовується дріт діаметром $0,1/0,3$ мм, при малих зусиллях притиснення – дріт із сплавів, до складу яких входять платина, срібло, іридій, рубідій, осмій і ін. Діаметр дроту d таких точних датчиків вибирається в межах $0,03/0,01$ мм. Характеристики деяких провідникових матеріалів, використовуваних для датчиків потенціометрів, приведені в табл. 2.1.

Дріт намотується на каркас з деяким натягненням. При цьому необхідно, по-перше, щоб при пониженні температури дріт не розпускався через різні температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалів дроту і каркаса; по— друге, щоб при нагріванні корпусу дріт при розтягуванні не досягав межі пружності. Товщину каркаса не рекомендується брати менш $4d$, а радіус закруглення на кутак каркаса — менш $2d$. Після намотування дроту на каркас для зміцнення витків і оберігання їх від зсуву, всю поверхню покривають тонким рівномірним шаром безкислотного лаку. Поліровка контактної

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

поверхні обмотки (доріжки руху) проводиться уздовж витків наждачним або полірувальним папером, шліфувальним диском з діамантовим пилом, а проводів з емапевою ізоляцією — фетровим диском. Ширина доріжки складає зазвичай (2-3) d .

Таблиця 2.1. Матеріали проводів, використовуваних для потенціометричних датчиків

Матеріал провoda	Питомий опір при $t=20^{\circ}\text{C}$, Ом*мм ² /м	Температурний коефіцієнт опору α , 1/ $^{\circ}\text{C}$	Допустима температура нагріву, $^{\circ}\text{C}$
Константан	0,49	$(3\div 4)*10^{-6}$	500
Манганін	0,42	$6*10^{-6}$	960
Ніхром	1,08	$(15\div 20)*10^{-5}$	110
Вольфрам	0,056	$464*10^{-5}$	3400
Платиноіридієвий сплав	0,23	$-111*10^{-5}$	1780

При $d = 0,1/0,3$ мм движок потенціометричного датчика виконується у вигляді пластинчастих щіток з срібла, срібла з паладієм або (рідше) фосфористої бронзи. Контактне зусилля при цьому приймається рівним 0,05/0,1Н, що забезпечує силу тертя не більш $3*10^{-2}$ Н. Для точних датчиків при $d < 0,1$ мм движок робиться із сплавів платини з іридієм, берилієм або сріблом у вигляді двох-п'яти тонких паралельних проводів. Контактне зусилля при цьому приймається рівним $10^{-3}/10^{-2}$ Н' тобто іноді воно досягає $2*10^{-4}$ Н (20 міліграм) на окремий контакт. Такі малі контактні зусилля необхідні для високоточних датчиків потенціометрів' використовуваних, наприклад, у відповідальних космічних об'єктах.

На рис.3.12 приведена конструкція потенціометричного датчика для вимірювання кутових переміщень. Так само як і датчик лінійних переміщень, він складається з каркаса 1 з обмоткою 2, по якій ковзає движок 3. Для знімання сигналу з движка, що переміщається, служить додаткова щітка 4, що ковзає по струмознімному кільцю 5. Вихідна напруга Датчика кутових

переміщень пропорційна куту повороту нерухомої частини первинного вимірювача, сполученого з віссю движка. У деяких автоматичних приладах як потенціометричного датчика використовують так званий реохорд (рис. 2.13).

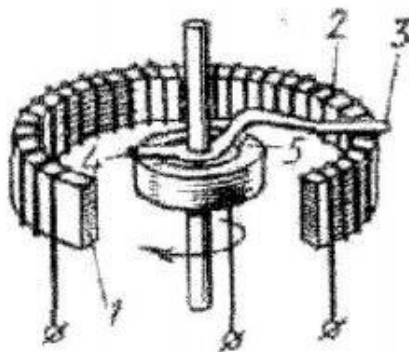


Рис.2.12. Потенціометричний датчик кутових переміщень [17]

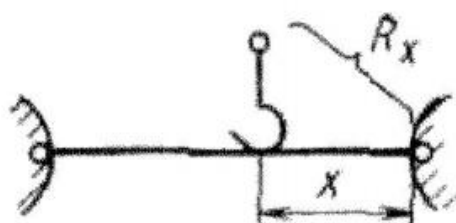


Рис. 2.13. Конструкція реохорда [17]

Він є натягнутим дротом, по якому ковзає повзунок. Опір реохорда пропорційний переміщенню повзунка. Часто реохорд використовують не в схемі потенціометра, а включають в плече мостової схеми. В цьому випадку переміщення движка перетвориться в зміну опору R_x

2.1.6.3. Характеристики лінійного потенціометричного датчика

Основною характеристикою потенціометричного датчика є: залежність вихідної напруги $U_{вих}$ від переміщення x . При рівномірному намотуванні ця залежність лінійна тільки на холостому ході, тобто за відсутності опору навантаження, підключеного до вихідних затисків датчика. У реальних

умовах до цих затисків підключаються електричні прилади, вхідний опір яких є опором навантаження для датчика (рис. 2.14).

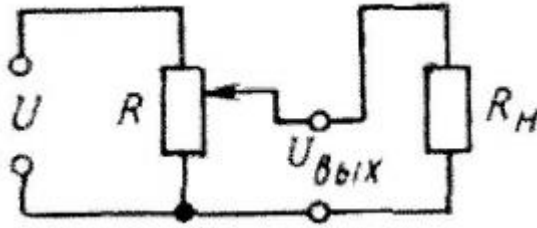


Рис.2.14. Підключення навантаження до потенціометричного датчика.

Під навантаженням зазвичай розуміється струм навантаження. Коли говорять, що «навантаження відсутнє», то мають на увазі, що саме струм навантаження рівний нулю. Опір же при цьому, природно, рівно нескінченності. Отже, в режимі холостого ходу (тобто за відсутності навантаження) опір навантаження нескінченно великий.

Для аналізу впливу опору навантаження R_H на основну характеристику датчика, повний опір обмотки якого R , введемо поняття коефіцієнта навантаження $=R_H/R$ і $\alpha=x/l$. Вихідна напруга датчика

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\alpha}}{1 + \alpha(1 - \alpha) / \beta}$$

По цьому рівнянню побудуємо залежність $U_{\text{вих}}/U=f(\alpha)$, Де U – напруга живлення датчика, для різних значень (рис. 2.15).

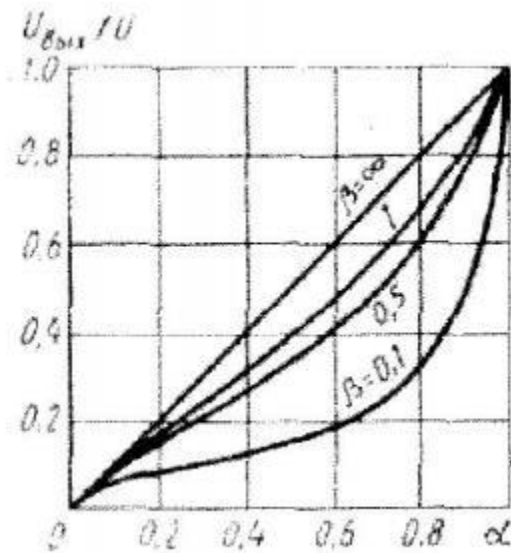


Рис. 2.15. Статичні характеристики потенціометричного датчика

Із зменшенням опору навантаження характеристика датчика стає нелінійною і зростає помилка перетворення. Відносна похибка для навантаженого датчика може бути знайдена зіставленням виразів:

$$\delta = \frac{U_{\text{вих}} - U_{\text{вих}\beta=\infty}}{U} = \frac{\alpha^2(1-\alpha)}{\beta + \alpha(1-\alpha)}$$

Відношення переміщення движка x до довжини намотування l позначаємо через $\alpha = x/l$. Якщо датчик не навантажений, тобто опір навантаження $R_H = \infty$ і $\beta = \infty$, то вихідна напруга лінійно зростає при зміні від 0 до 1; $U_{\text{вих}} = \alpha U$. Графічно ця залежність зображається прямою лінією. За наявності опору навантаження R_H , співрозмірного з опором обмотки R , ця залежність відрізняється від лінійної, оскільки частина струму, що проходить через датчик, відгалужується в навантаження. Струм, що поступає від джерела живлення

$$I = U \left[(R - \alpha R) + \frac{\alpha R R_H}{\alpha R + R_H} \right]$$

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

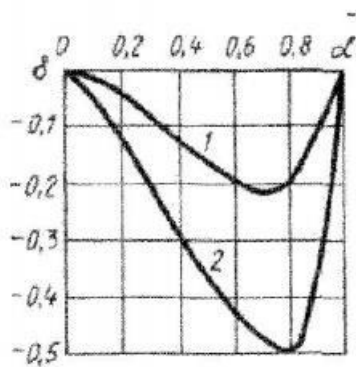


Рис 2.16 Графік відносної похибки потенціометричного датчика

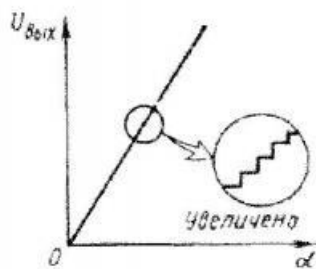


Рис 2.17 Ступінчастість статичної характеристики потенціометричного датчика

або, підставляючи $RH = R$, маємо:

$$I = U / \left[R(1-\alpha) + \frac{\alpha\beta R^2}{R(\alpha+\beta)} \right] = U / \left[R \frac{(1-\alpha)(\alpha+\beta) + \beta\alpha}{\alpha+\beta} \right] = \frac{U}{R} \frac{\alpha + \beta - \alpha^2 - \alpha\beta + \alpha\beta}{\alpha + \beta} =$$

$$= \frac{U}{R} \frac{\alpha + \beta - \alpha^2}{\alpha + \beta}$$

На рис. 2.16 побудовані криві 1, 2, що характеризують відносну погрішність датчика при $\beta = 1; 0,5$ відповідно. При великих абсолютна величина максимальної похибки $\delta_{max} = (4/27)\beta$ при $\alpha = 2/3$.

Важливою характеристикою якості потенціометричного датчика є плавність зміни вихідної напруги. При переміщенні движка по обмотці потенціометра відбувається стрибкоподібна зміна опору, оскільки движок як би перескакує з одного витка на інший. Це приводить до того, що залежність вихідної напруги від переміщення має ступінчастий вигляд (рис. 2.17). Число ступенів пропорційне, а їх висота обернено пропорційна числу витків

обмотки. Реальна вихідна характеристика має відхилення від ідеальної (плавної, безступінчатої) як вгору, так і вниз. Отже, похибка викликана ступінчастістю, може бути як позитивною, так і негативною і складає половину напруги U_w , що приводиться на один виток намотування. Якщо позначити через w загальне число витків потенціометра, то $U_w = U/w$ і похибка ступінчастості $\Delta \leq UI/(2w)$. Для кількісної оцінки похибки, обумовленою ступінчастістю, вводять поняття електричної роздільної здатності потенціометра δp . Роздільна здатність визначає максимально можливу точність роботи потенціометричного датчика. Поліпшити її можна збільшуючи число витків w . Для цього можна або подовжити намотану частину потенціометра l (при заданому діаметрі дроту), або зменшити поперечний переріз дроту. Зменшення діаметру дроту приводить до технологічних труднощів виготовлення обмотки, але, найголовніше, знижує надійність потенціометра, оскільки погіршується механічна міцність обмотки і вона швидше стирається.

Збільшення довжини обмотки, природно, приводить до збільшення розмірів всього потенціометра. Для усунення цього недоліку були розроблені багатооборотні потенціометри.

Для поліпшення роздільної здатності можна також застосовувати движки з декількома струмознімними контактами. На рис. 2.18 показаний движок з двома контактами 1 і 2, які контактують з обмоткою 3 в двох діаметрально протилежних точках. Наявність двох паралельних контактів підвищує і надійність потенціометра.

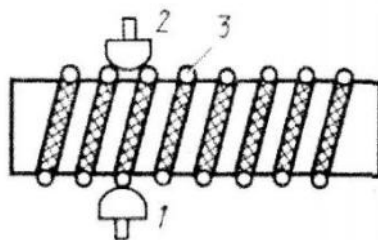


Рис. 2.18. Потенціометричний датчик з двома струмознімними контактами

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		43

Принципово відсутня похибка, обумовлена ступінчастістю у датчиків типу реохорда, де движок ковзає уздовж натягнутого дроту. Ці датчики мають малий опір і вихідну напругу, тобто низьку чутливість, тому в схемах потенціометрів включення вони не знайшли практичного застосування. Чутливість датчика може бути визначена як перша похідна вихідної напруги по переміщенню движка. Для ненавантаженого потенціометра чутливість пропорційна напрузі живлення датчика і обернено пропорційна довжині намотування.

2.2. Електродвигуни (виконуючі елементи) [9]

Електричний двигун — це електрична машина, в якій електрична енергія перетворюється в механічну, побічним ефектом є виділення тепла.

Класифікація електродвигунів:

1. Двигун постійного струму – електричний двигун, живлення якого здійснюється постійним струмом;

2. Колекторні двигуни постійного струму. Різновиди:

- Із збудженням постійними магнітами;
- З паралельним з'єднанням обмоток збудження і якоря;
- З послідовним з'єднанням обмоток збудження і якоря;
- Із змішаним з'єднанням обмоток збудження і якоря;

3. Безколекторні двигуни постійного струму (вентильні двигуни) — електродвигуни, виконані у вигляді замкнутої системи з використанням датчика положення ротора (ДПР), системи управління (перетворювача координат) і силового напівпровідникового перетворювача (інвертора).

4. Двигун змінного струму — електричний двигун, живлення якого здійснюється змінним струмом, має два різновиди:

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		44

- Синхронний електродвигун — електродвигун змінного струму, ротор якого обертається синхронно з магнітним полем живлячої напруги;
- Асинхронний електродвигун — електродвигун змінного струму, в якому частота обертання ротора відрізняється від частоти магнітного поля, що обертає, створюється живлячою напругою.
- Однофазні — запускаються вручну, або мають пускову обмотку, або мають фазозсувний ланцюг;
- Двофазні і зокрема конденсаторні;
- Трифазні;
- Багатофазні;

5. Крокові двигуни — Електродвигуни, які мають кінцеве число положень ротора. Задане положення ротора фіксується подачею живлення на відповідні обмотки. Перехід в інше положення здійснюється шляхом зняття напруги живлення з одних обмоток і передачі його на інших.

У пристроях автоматики, зокрема у електронних системах стеження, широке застосування знайшли двигуни постійного струму, а саме колекторні. Тому для нашої системи ми використаємо цей тип двигунів.

Основною перевагою колекторних двигунів постійного струму є можливість регулювання частоти обертання в широкому діапазоні, лінійність механічної і, в більшості випадків, регульовальної характеристики, великий пусковий момент, висока швидкодія, мала маса і об'єм на одиницю корисної потужності і вищий ККД в порівнянні з двигунами змінного струму тієї ж потужності.

Недоліком колекторних двигунів постійного струму є наявність щітково-колекторного вузла, що обмежує їх довговічність і є джерелом радіозавад.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Док.
Змн.	Док.	№ доквм.	Підпис	Дата		45

Внаслідок іскріння на ковзаючому контакті ці двигуни не придатні для експлуатації у вибухонебезпечних середовищах.

По функціональному призначенню колекторні двигуни постійного струму підрозділяються на силові і керовані. У свою чергу, силові електродвигуни виконуються із стабілізацією і без стабілізації частоти обертання.

Двигуни з відцентрово-вібраційними регуляторами частоти обертання мають стабільність в межах $\pm(2\div 5)$ %. Точність стабілізації частоти обертання двигунів з електронними регуляторами залежить від прийнятої системи стабілізації. Статична система стабілізації забезпечує стабільність частоти обертання до $\pm 0,5\%$, астатична система — з точністю, визначуваною стабільністю частоти еталонного джерела.

Важливою функціональною властивістю двигунів є швидкодія, яка визначається в основному конструктивного виконання і виду збудження. Двигуни із зубцевим якорем мають постійну часу $30\div 100$ мс, з порожнистим якорем $15\div 20$ мс, з гладким і друкарським якорями $5\div 10$ мс.

Колекторні двигуни постійного струму розрізняються також по добротності пуску. Найкращу добротність пуску (Відношення пускового моменту до пускового струму) мають двигуни послідовного збудження, а для двигунів із збудженням від постійних магнітів і з паралельним збудженням добротність в $1,5\div 3$ рази нижче.

Коефіцієнт корисної дії двигунів постійного струму різної потужності лежить в межах $10\div 85\%$ і залежить від функціонального призначення двигуна, режиму роботи, ступеня використання, способу збудження, конструктивного виконання. Найбільший ККД мають двигуни з порожнистим якорем і збудженням від постійних магнітів, найменший — двигуни з електромагнітним збудженням.

Колекторні двигуни постійного струму залежно від способу їх збудження мають різну жорсткість механічної характеристики. Двигуни з послідовним

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		46

збудженням забезпечують найменшу стабільність частоти обертання, оскільки вони мають м'яку механічну характеристику. Двигуни з паралельним збудженням і із збудженням від постійних магнітів унаслідок підвищеної жорсткості механічної характеристики мають стабільнішу частоту обертання, а із застосуванням спеціальних пристроїв — регуляторів швидкості (відцентрово-вібраційних або електронних) досягається стабільність частоти обертання від 5 до 0'5% і вище.

Для регулювання частоти обертання двигунів з паралельним збудженням і із збудженням від постійних магнітів застосовується в основному якірне управління, тобто зміна напруги живлення якірного ланцюга, при цьому механічна характеристика, не змінюючи жорсткості, зміщується паралельно своєму положенню при $U = U_{ном}$.

Практичні межі регулювання частоти обертання двигунів постійного струму складають від 1 : 5 до 1 : 20.

2.2.1. Двигуни ДПМ

Двигуни ДПМ із збудженням від постійних магнітів з пазовим якорем мають наступні конструктивні виконання:

Н1 (1Т)— з одним вихідним кінцем валу (з трибкою на валу);

Н2 — з двома вихідними кінцями валу (розміри кінців валу однакові);

Н3 (3Т) — з одним вихідним кінцем валу і вбудованим відцентровим контактним регулятором частоти обертання;

Н6 — з одним вихідним кінцем валу, таходатчиком, вимірювальним органом в системі стабілізації частоти обертання, що є, і електронним регулятором частоти обертання (швидкості — РС), виконаним у вигляді окремого блоку.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дата		47

Кріплення двигунів всіх виконань здійснюється за корпус (магніт) за допомогою немагнітних металевих деталей. Двигуни виконань Н1, Н2 призначені для роботи при обох напрямках обертання, причому зміна напрямку обертання на ходу, без попередньої зупинки двигуна, не допускається, за винятком двигунів ДПМ—20-Н1-08Т, ДПМ-25-Н1-07Т, ДПМ-35-Н1-08Т.

Двигуни одного типу виконань Н1 і Н2 мають аналогічні параметри, за винятком двигуна ДПМ-30-Н1-01, аналогом якого є двигун ДПМ-30-Н2-02, і двигуна ДПМ-30-Н1-02, аналог якого ДПМ-30-Н2-01. Двигуни ДПМ-20-Н1-08Т, ДПМ-25-Н1-07Т, ДПМ-25-Н1Т-01, ДПМ-30-Н1-03Т і ДПМ-35-Н1-03 мають один вихідний кінець валу.

По точності стабілізації частоти обертання двигунів виконання Н6 регулятори частоти обертання підрозділяються на статичних (РС-3) і астатичних (РС-0). Статичні регулятори підтримують частоту обертання двигуна постійною в межах статичної похибки, а астатичні забезпечують стабільність частоти обертання валу двигуна з точністю, що визначається стабільністю частоти еталонного джерела синхронізації. Для двигунів з астатичними регуляторами напруга зовнішньої синхронізації (40 ± 3) В частотою ($1000 \pm 0,25$) Гц синусоїдальної або прямокутної форми.

Не допускається включення РС на зворотну полярність, оскільки це може привести до виходу їх з ладу.

Режим роботи двигунів:

ДПМ-20-Н1-08Т, ДПМ-25-Н1-07Т, ДПМ-30-Н1-03Т — робота 3 хв при безперервній зміні напрямку обертання на ходу через кожних 10 с, перерва 5 хв (1 цикл);

ДПМ-25-Н3-01, ДПМ-25-Н3-03 — робота 30 хв, перерва 5 хв;

ДПМ-25-Н3-02А — робота 100 хв, перерва 20 хв;

ДПМ-25-Н3-02Б — робота 4 с, перерва 4 с (1 цикл);

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

ДПМ-25-НЗ-02Г' ДПМ-25-НЗТ-01Б — работа 120 хв, перерва 5 хв;

ДПМ-25-НЗ-04 — работа 60 хв, перерва 5 хв;

у решти типів двигунів — тривалий.

Основні технічні дані двигунів ДПМ-Н1, Н2 приведені в таб. 2.2, двигунів ДПМ-НЗ — таб. 2.3, двигунів ДПМ-Н6 — таб. 2.4.

Таблиця 2.2. Технічні дані двигунів ДПМ-Н1, Н2

Тип двигуна	U, В	P ₂ ном Вт	n _{ном} об/хв	M _{ном} мН*м	M _n мН*м	I _{ном} А	I _{сп} А	ККД %	t _г год
ДПМ-20-Н1, Н2-01	29	0,46	9000	0,49	4,9	0,1	0,7	16	200
ДПМ-20-Н1, Н2-02	27	0,41	4000	0,98	1,96	0,11	0,3	14	250
ДПМ-20-Н1, Н2-04	6	0,04	2000	0,196	0,59	0,1	0,3	7	500
ДПМ-20-Н1, Н2-05	14	0,04	2000	0,196	0,98	0,07	0,15	4	500
ДПМ-20-Н1, Н2-08	27	0,92	4500	1,96	3,92	0,2	0,5	17	250
ДПМ-20-Н1-08Т	27	0,92	4500	1,96	3,43	0,25	0,5	14	3000
ДПМ-20-Н1, Н2-12	12	1,23	6000	1,96	4,9	0,4	1,5	26	300
ДПМ-20-Н1, Н2-12а	14	1,1	6000	1,76	4,9	0,3	1	26	300
ДПМ-20-Н1, Н2-13	12	0,69	4500	1,47	3,92	0,28	0,8	21	250
ДПМ-20-Н1, Н2-16	6	0,92	9000	0,98	5,9	0,65	4,5	24	250
ДПМ-20-Н1, Н2-17	6	0,92	6000	1,47	5,9	0,65	2,5	24	350
ДПМ-25-Н1, Н2-01	29	3,22	9000	3,43	5,9	0,4	2,5	28	100
ДПМ-25-Н1, Н2-02	27	0,46	3800	2,94	9,8	0,13	0,6	13	500
ДПМ-25-Н1, Н2-02а	27	0,46	4500	0,98	4,9	0,1	0,6	17	500
ДПМ-25-Н1, Н2-03	12	2,77	6000	4,41	9,8	0,85	3,5	27	300
ДПМ-25-Н1, Н2-04	27	1,28	2500	4,9	7,85	0,22	0,5	22	1000
ДПМ-25-Н1, Н2-05	15	1,28	2500	4,9	7,85	0,28	0,8	30	800
ДПМ-25-Н1, Н2-07	27	2,31	4500	4,9	11,8	0,28	1	30	500
ДПМ-25-Н1-07Т	27	2,54	4500	5,39	12,3	0,35	1	27	3000
ДПМ-25-Н1, Н2-10а	14	2,31	4500	4,9	11,8	0,55	2	30	500
ДПМ-25-Н1Т-01	27	1,85	9000	1,96	11,8	0,38	2,3	18	100
ДПМ-30-Н1, Н2-01/02	29	6,47	9000	6,86	34,3	0,75	5	30	100
ДПМ-30-Н1, Н2-02/01	27	2,67	2600	9,8	19,6	0,3	1	33	800
ДПМ-30-Н1, Н2-03	27	4,62	4500	9,8	29,4	0,6	2,5	29	500
ДПМ-30-Н1-03Т	27	6	4500	12,74	24,6	0,85	2,5	26	2000
ДПМ-30-Н1, Н2-04	26	5,65	5500	9,8	24,6	0,7	3,0	31	300
ДПМ-30-Н1, Н2-05	27	4,31	6000	6,86	24,6	0,5	3,5	32	300
ДПМ-30-Н1, Н2-09	12	6,16	6000	9,8	34,3	1,4	9	37	200
ДПМ-20-Н1, Н2-10а	14	4,62	4500	9,8	27,5	1	5	33	500
ДПМ-30-Н1, Н2-19	12	2,57	2500	9,8	19,6	0,75	2,5	29	600
ДПМ-35-Н1, Н2-01	27	13,87	9000	14,7	68,6	1,5	11	34	100
ДПМ-35-Н1, Н2-02	27	5,39	3500	14,7	49	0,65	2,5	31	500
ДПМ-35-Н1-03	6	4,25	1800	22,6	34,3	2,5	8,5	28	1000
ДПМ-35-Н1, Н2-04	27	12,32	6000	19,6	68,6	1,3	6	35	200

Таблиця 2.3. Технічні дані двигунів ДПМ-НЗ

Тип двигуна	U, В	P _{2 ном} Вт	n _{ном} об/хв	M _{ном} мН*м	Mn, мН*м	I _{ном} А	I _{сп} А	ККД %	t _Г год
ДПМ-20-НЗ-01	27	0,92	9000	0,98	4,9	0,24	1,5	14	50
ДПМ-20-НЗ-09	12	0,92	4500	1,96	3,92	0,55	1,5	14	100
ДПМ-25-НЗ-01	27	0,62	6000	0,98	11,8	0,37	2,5	6	150
ДПМ-25-НЗ-02А	28	2	9000	2,16	11,8	0,8	5	9	50
ДПМ-25-НЗ-02Б	27	3,7	9000	3,92	9,8	0,75	5	18	30000
ДПМ-25-НЗ-02Г	28	2	9000	2,16	11,8	0,6	5	12	50
ДПМ-25-НЗ-03	12	0,62	6000	0,98	11,8	0,6	5	9	150
ДПМ-25-НЗ-03А	14	1,85	6000	2,94	9,8	0,9	6,8	15	150
ДПМ-25-НЗ-04	28	2,47	12000	1,96	11,8	0,65	5	14	30
ДПМ-25-НЗ-05	24	0,92	4500	1,96	9,8	0,4	1,5	10	50
ДПМ-25-НЗ-09	24	1,23	6000	1,96	9,8	0,45	3	11	50
ДПМ-25-НЗ-16	27	3	5200	5,49	9,8	0,7	3	16	100
ДПМ-25-НЗТ-01Б	28	2	9000	2,16	11,8	0,6	5	12	50
ДПМ-30-НЗ-01	27	6,47	9000	6,86	39,2	1	6,5	24	50
ДПМ-30-НЗ-01А	23	6,47	9000	6,86	29,4	1,25	8,5	23	50
ДПМ-30-НЗ-02	28	2,47	12000	1,96	19,6	1	8	9	30

Таблиця 2.4. Технічні дані двигунів ДПМ-Н6

Тип двигуна	Регулятор швидкості	I _{ном} , А	M _{ном} , мН*м	ККД Д %	δn, %	t _Г , год	Напрямок обертання	Вібра-ційні наванта-ження	
								Діапазон частот, Гц	Приск орення м/с ²
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-04А	0,6	14,7	19	0,5	150	Правий	1-2500	150
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-05	0,85	9,8	26	1	150	Правий	1-2500	300
							Лівий		
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-04	0,6	9,8	19	1	150	Той самий	1-2500	300
ДПМ-30-Н6-02	РС-3-02Д	0,75	24,5	15	0,7	100	Правий	1-2500	150
ДПМ-30-Н6-02	РС-3-02	0,75	34,3	15	0,5	300	Правий	1-4000	150
И									
ДПМ-30-Н6-02	РС-0-02	0,75	34,3	15	—	300	Правий	1-4000	130
И									

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ

Арк.

50

3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Синтез структурної схеми

Загальна структурна схема електронної системи стеження, яка використовувалася для аналізу аналогів (рис.1.3) не є єдиним варіантом виконання, і може бути модифікована. Оскільки, загальна структурна схема в своєму складі має лише основні і необхідні структурні елементи, модифікація носитиме доповняльний характер.

Доповнимо нашу схему додатково схемою точного виміру напруги розузгодження і вироблення керуючого сигналу, яка складається з двох структурних блоків: генератора пилоподібної напруги (надалі ГПН) і компаратора. Розглянемо принцип роботи модифікованої схеми. Вимірювач розузгодження (пристрій порівняння) виробляє напругу постійного струму UBP , величина якої пропорційна куту розузгодження, а полярність залежить від напрямку обертання командної осі. Ця напруга подається на один вхід компаратора, а на інший його вхід подається напруга пилоподібної форми і стабільної частоти з виходу ГПН ($UGPN$). В момент рівності напруг UBP і $UGPN$ на виході компаратора формується широтно-імпульсно-модульована (ш.і.м.) напруга, скважність якої залежить від рівня напруги розузгодження. В підсилювачі потужності ш.і.м. напруга підсилюється і подається в якірне коло електродвигуна постійного струму, де відбувається виділення її середнього значення за період. Середнє значення напруги, прикладеної до якоря двигуна, визначається виразом:

$$U_{\text{ясер}} = KU_0 \frac{t_i - t_n}{T} \quad (3.1)$$

де, K — передаточний коефіцієнт підсилення потужності по нарузі; U_0 — напруга живлення підсилювача потужності; t_i — тривалість імпульса, а t_n —

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалість паузи в періоді ш.і.м.-коливань; T — тривалість періода ш.і.м.-коливань. В узгодженому стані, тобто при $U_{BP} = 0$, значення сквапності

$$S = \frac{T}{t_i} = 2 \quad (3.2)$$

При цьому $U_{ясер} = 0$ за період ш.і.м.-коливань. Поява напруги розузгодження викличе зміну значення сквапності, і двигун через понижаючий редуктор буде переміщувати об'єкт управління і по ланці головного від'ємного зворотнього зв'язку компенсувати розузгодження.

Таким чином основною особливістю синтезованої електронної системи стеження являється застосування аналогових вимірювачів розузгодження, а вироблення регулюючого впливу на електродвигун здійснюється в дискретній формі.

Схема електрична структурна електронної системи стеження приведена в додатку 1 .

3.2 Синтез принципової схеми

Згідно зі синтезованою структурною схемою синтезуємо принципову схему електронної системи стеження. Вимірювач розузгодження виконаний на лінійних потенціометрах R3 і R4. Напряга розузгодження поступає на вхід диференціального підсилювача DA1 через обмежувач R5, R6, R10, R11, VD1, VD3 і далі на вхід компаратора DA3.

Генератор пилкоподібної напруги містить мультівібратор на логічних елементах DD1:1, DD1:2, двійковий 11-розрядний лічильник DD2÷DD4 і цифро-аналоговий перетворювач DD5. На рахунковий вхід двійкового лічильника з мультівібратора поступають імпульси частотою ~ 2 МГц.

Виходи двійкового лічильника підключені до цифрових Входів DD5, і з вихода операційного підсилювача DA2 (включеного згідно з рекомендацією

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

до цифро-аналогового перетворювача) знімається пилкоподібна напруга з амплітудою $\sim 8,5$ В, яка подається на інвертуючий вхід компаратора DA3. Для узгодження вихідної напруги DA3 з рівнем напруги логічних мікросхем включено стабілітрон VD8. При досягненні пилкоподібною напругою значення напруги розузгодження на виході компаратора формується перепад широтно-імпульсно-модульованої напруги. За допомогою логічних елементів 21-НІ DD1:3 і DD1 :4 формуються 53а фазні широтно-імпульсно-модульовані коливання.

Підсилювач потужності виконано по мостовій схемі, силові транзистори VT2, VT3, VT4, VT5 працюють в економічному ключовому режимі.

Схема електрична принципова електронної системи стеження приведена в податку 2

3.3. Розрахунок вузлів та елементів

3.3.1. Вибір датчика

На основі аналізу аналогів — датчиків різної конструкції і принципів роботи, а також, беручи до уваги той факт, що синтезована схема не призначається для використання у високоточних пристроях автоматики і управління, можна виділити декілька основних вимог (параметрів), які висуваються до використовуваного сенсора. До них віднесемо:

- простота конструкції;
- малі габарити і маса;
- висока степінь лінійності статичних характеристик;
- стабільність характеристик;

Саме цим вимогам відповідають потенціометричні датчики (потенціометричні сенсори), які на додачу володіють ще однією важливою перевагою — низькою ціною, яка є одним з визначальних факторів як у масовому серійному виробництві, так і при індивідуальному використанні.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		53

Виходячи з вище зазначених вимог, в якості потенціометра було вибрано продукцію фірми CONTELEC серії PD 84[8]. По відомостям виробника данна серія спеціально адаптована і призначена для використання у конструкціях серво машин (сервоприводів), які являють собою частковий випадок електронної системи стеження. Технічні характеристики PD 84 наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики потенціометра PD 84[8]

Електричні параметри	
Номинальний опір	0.1.10 кОм
Відхилення від номінального опору	±10 %
Лінійність	±1.0 % від діапазону вимірювань
Електричний кут	295 °
Температурний коефіцієнт діляника напруги	40 ppm/°C
Рекомендований максимальний струм движка потенціометра	10 мкА
Максимальний струм движка потенціометра у разі несправності	100 мА
Споживана потужність	0.75 Вт/40°C
Зносостійкість (електрична)	20'000 циклів
Механічні параметри	
Механічний кут	300 °
Обертний момент	1 Н*см
Зносостійкість (механічна)	20'000 циклів
Робоча температура	-55 ... +150 °C
Робоча температура в закритому об'ємі	-55 ... +150 °C
Клас захисту	IP67
Інші параметри	
Опір ізоляції	10 Гом
Діелектрична міцність	900 В
Вібраційні навантаження	10 g
Струсові навантаження	50 g

3.3.2. Вибір операційного підсилювача і розрахунок вхідного подільника напруги

Оскільки до операційних підсилювачів в синтезованій схемі не висуваються вимоги високої точності, температурної стабільності, то доречним буде використання операційних підсилювачів загального призначення.

Операційні підсилювачі загального призначення, призначені для використання в тих випадках, коли середні значення їх характеристик можуть задовільняти пред'явленим вимогам. Вони дозволяють будувати вузли апаратури, що мають сумарну похибку на рівні 1 %. Цим ОП властиві низька вартість, мала кількість або повна відсутність додаткових зовнішніх компонентів, середній рівень параметрів (напруга зсуву — одиниці мВ, температурний дрейф — десятки мкВ/°С, коефіцієнт підсилення — десятки тисяч, частота одиничного підсилення — близько 1 МГц, швидкість наростання і від десятих долей до одиниць В/мкс).

До операційних підсилювачів загального призначення можна віднести 153УД201, 153УД201А, Р153УД2А, 153УД601, Н153УД6, К153УД201, К153УД601, К553УД2, К553УД201, К553УД6, К553УД601, які виготовляються для застосування як в спеціальній апаратурі, так і в апаратурі широкого застосування. ОУ 153УД201, 153УД601, Н153УД6 підвищеної надійності додатково маркуються індексом ОСМ[12].

Коротко розглянемо основні параметри цих серій операційних підсилювачів.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		55

Таблиця 3.2 Типи корпусів відповідних серій та робочі температури[12]

Тип виробу	Номер ТУ	Тип корпусу	Діапазон робочих температур
153УД201	6К0.347.010ТУ1	3101.8-1	-60°Сдо+125°С
153УД201А	6К0.347.010ТУ1	3101.8-1	-60°Сдо+125°С
Р153УД2А	6К0.347.010ТУ1	2101.8-1	-60°Сдо+100°С
153УД601	6К0.347.010ТУ2	3101.8-1	-60°Сдо+125°С
Н153УД6	6К0.347.010ТУ2	Н04.16-2В	-60°Сдо+125°С
К153УД201	6К0.348.030ТУ	3101.8-1	-45°С до +85°С
К153УД601	6К0.348.030ТУ	3101.8-1	-45°С до +85°С
К553УД2	6К0.348.260-02ТУ	201.14-1	-45°С до +85°С
К553УД201	6К0.348.260-02ТУ	2101.8-1	-45°С до +85°С
К553УД6	6К0.348.260-03ТУ	201.14-1	-45°С до +85°С
К553УД601	6К0.348.260-03ТУ	2101.8-1	-45°С до +85°С

Таблиця 3.3 Призначення виводів[12]

Номер виводу Тип корпусу				Позначення виводу	Призначення виводу
3101.8-1	Н04.16-2В	2101.8-1	201.14-1		
1	3	1	3	NC	Балансування, корекція
2	4	2	4	U _{IN-}	Інвертуючий вхід
3	5	3	5	U _{IN+}	Неінвертуючий вхід
4	8	4	6	U ₂	Живлення U _{CC2} (мінус)
5	9	5	9	NC	Балансування
6	13	6	10	OUT	Вихід
7	16	7	11	U ₁	Живлення U _{CC1} (плюс)
8	1	8	12	FC	Корекція
К553УД601		6К0.348.260-03ТУ		2101.8-1	-45°С до +85°С

Таблиця 3.4. Основні електричні параметри [12].

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Буквенне позначення	Норма										Температура, °С
		153УД201		153УД201 А P153УД2 А		153УД601 H153УД6		K153УД20 1 K553УД2 K553УД20 1		K153УД60 1 K553УД6 K553УД60 1		
		не менше	не більше	не менше	не більше	не менше	не більше	не менше	не більше	не менше	не більше	
Напруга зміщення нуля, мВ	U_0		5 6 6		5 6 6		2 3 3		7,5 10 10		2 5 5	25 125(100), 85* -60, -45*
Максимальна вихідна напруга, В	U_{0MAX}	±11 ±10 ±10		±11 ±10 ±10		±10 ±10 ±10		±10 ±10 ±10		±10 ±10 ±10		25 125,(100), 85* -60.45*
Середній вхідний струм, нА	I_{IAU}		500 1500 1500		500 1500 1500		75 100 100		1500 2000 2000		75 100 130	25 125,(100), 85* -60,45*
Різниця вхідних струмів, нА	I_{IU}		200 500 500		200 500 500		10 20 20		500 400 750		10 20 40	25 125,(100), 85* -60.45*
Струм споживання, мА	I_{CC}		3 3 4		3 3 4		3 3 4		6** - -		3 3 4	25 125,(100), 85* -60.45
Коефіцієнт підсилення напруги	A_U	50к 25к 25к		50к 25к 25к		50к 25к 25к		20к 15к 15к		50к 25к 25к		25 125,(100), 85* -60.45
Коефіцієнт послаблення синфазної вхідної напруги, дБ	CMR	70		70		80		-		80		25
Середній температурний дрейф напруги зміщення нуля, мкВ/°С	α_{IU}		20 30		- -		15 15		- -		15 15	25-125 (25-85)*** 25-60 (25-45)***

4. Вказані в дужках значення розповсюджуються на вироби 153УД201, 153УД201А, Р153УД2А.

5. Граничні режими експлуатації для виробів тих, що починаються з букви “К” не обмовляються.

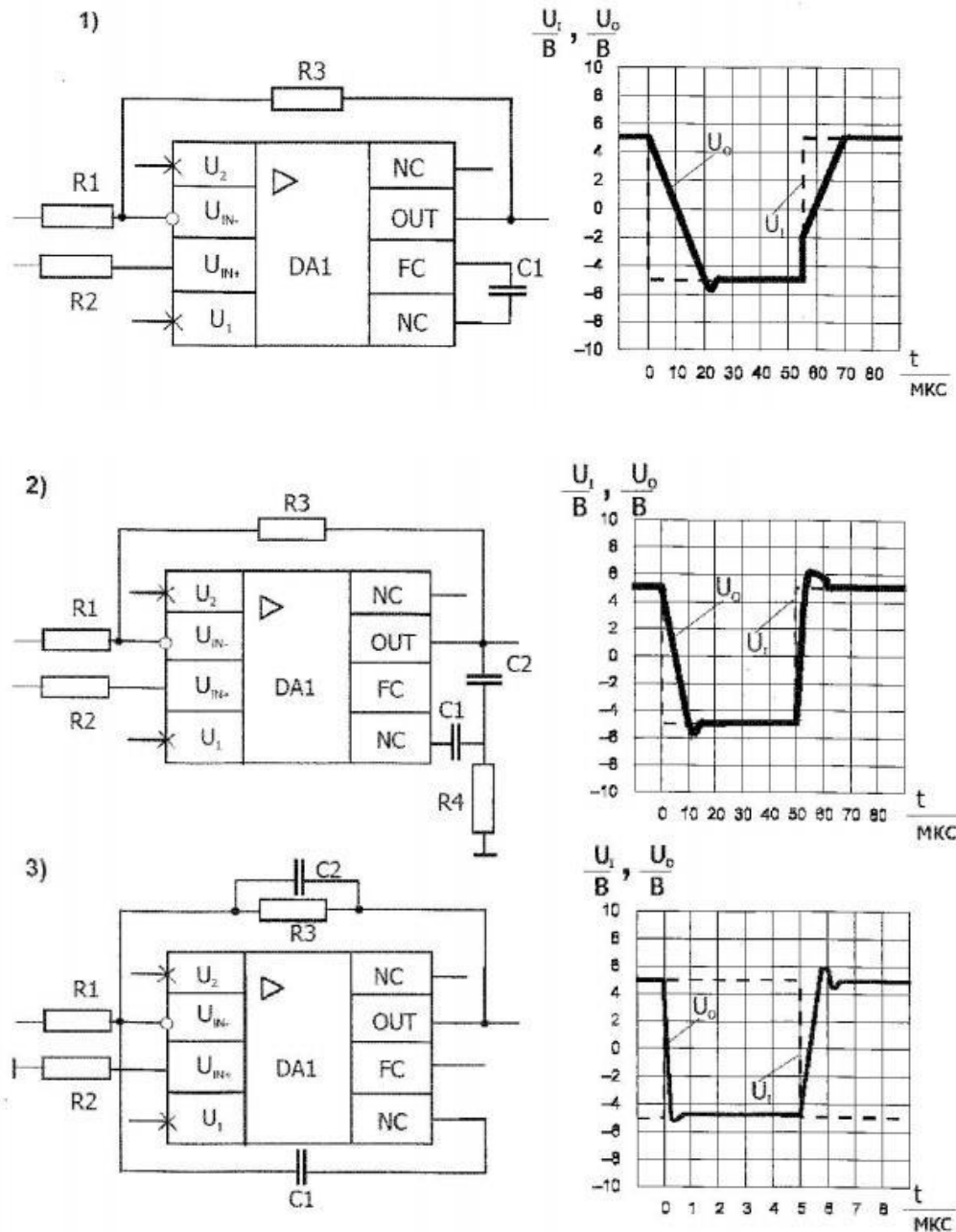


Рис.3.1. Основні схеми компенсації [12].

1 – Однополюсний спосіб компенсації:

$$C1 \approx (R1 * C) / (R1 + R3); C = 30 \text{ пФ.}$$

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

2 – Двополюсний спосіб компенсації:

$$C1e(R1 * C)/(R1 + R3); C = 30 \text{ пФ}; C2 = 10 \text{ с1}; R4 = 10 \text{ кОм}.$$

3 – Компенсація прямим зв'язком:

$$C1 = 150 \text{ пФ}; C2 = 1/2 \text{ pfor3}; fO = 3 \text{ МГц}$$

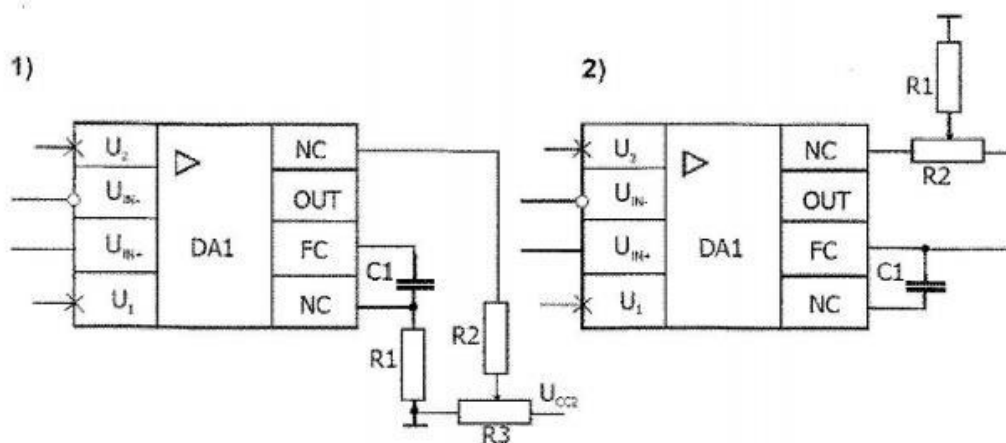


Рис.3.2. Основні схеми балансування напруги зміщення нуля[12].

DA1 – вимірювана мікросхема

1) R1= 10 МОм; R2= 5 МОм; R3= 20 кОм.

2) R1= 5 МОм; R2= 5 МОм.

В обраній схемі електронної системи стеження операційні підсилювачі відіграють роль трьох пристроїв: звичайного операційного підсилювача, диференціального підсилювача і компаратора. При чому ці пристрої знаходяться у безпосередній взаємодії, тому для їхнього найкращого узгодження слід обрати ОП однієї серії. З наведених даних обираємо операційний підсилювач серії К553УД2, з однополюсним способом компенсації.

Розрахунок вхідного подільника напруги. Згідно з додатком 2 (схема електрична принципова електронної системи стеження) вхідний подільник являє собою два симетричних плеча (по одному на кожен потенціометр).

Перший подільник складається з послідовно з'єднаних резисторів $R5$, $R10$ та діода $VD3$. Другий подільник — з резисторів $R6$, $R11$ та діода $VD2$. Також у вхідному колі присутні опір зворотнього зв'язку $R15$ та $R14$ — опір синфазного входу диференціального операційного підсилювача $DA1$. Діоди $VD2$ та $VD3$ відіграють роль обмежувачів вхідної різницевої напруги, щоб запобігти виходу з ладу ОП. Їх обирають з умови, щоб пряма напруга через діод була приблизно рівною максимальній різницевій напрузі між інвертуючим та синфазним входами ОП. Для операційних підсилювачів серії К553УД2 ця напруга складає $\sim 1 \div 1,5$ В. Тому якості обмежуючого діода можна використати вітчизняний діод Д223А, пряма напруга через який складає $1 \div 1,25$ В.

Розглянемо другий подільник. На параметри вхідних сигналів окрім опорів подільника також буде впливати і опір синфазного входу диференціального підсилювача, причому цей вплив буде визначальним. Тому при розрахунках необхідно враховувати і опір $R14$.

Загальний опір вхідного кола, при положенні движка потенціометра у верхній частині діапазону вимірювання, тобто при максимальному падінні напруги джерела живлення (1,5 В) на опорі $R4$, буде складати:

$$\frac{U_{\text{джс}}}{I_{\text{д}}} = R_6 + R_{11} + R_{14} \quad (3.3)$$

оскільки $R14 \gg R6$ і $R11$, то (3.3) матиме вигляд:

$$\frac{U_{\text{джс}}}{I_{\text{д}}} \approx R_{14} \quad (3.4)$$

де, $I_{\text{д}}$ — струм діляника, $U_{\text{джс}}$ — напруга живлення потенціометра.

Струм подільника прийmemo з урахуванням робочого струму I_p операційного підсилювача:

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\partial} \approx 20 \cdot I_p \quad (3.5)$$

Для серії К553УД2 робочий струм складає $I_p = 2$ мкА. Звідси $I_{\partial} = 4 \cdot 10^{-5}$ А. У відповідності з формулою (4.4) $R_{14} = 375$ кОм. Номінал опору R_{14} приймемо рівним 330 кОм. Опори R_6 і R_{11} розрахуємо задавшись величиною їхньої малості в порівнянні з величиною опору R_{14} . Ця умова матиме наступний вигляд:

$$R_6 = R_{11} \approx 0,03 R_{14} \quad (3.6)$$

Тоді у відповідності з (3.6) $R_6 = R_{11} \approx 1$ кОм.

Так як, обидва плеча подільника симетричні, а опір зворотнього зв'язку вибирають рівним опору синфазного входу операційного підсилювача, то справедливим є наступні співвідношення опорів $R_5 = R_{10} = R_6 = R_{11} \approx 1$ кОм, $R_{14} = R_{15} = 330$ кОм.

Виходячи з того що величина струму вхідного подільника є порівняно не велика - 40 мкА, то і потужності, які будуть виділятися на опорах також будуть малими і складатимуть доли міліватт. Тому оберемо резистори МЛТ з найменшою розсіюваною потужністю 0,125 Вт.

3.3.3. Вибір цифро-аналогового перетворювача

Вітчизняною промисловістю випускається серія цифро-аналогових перетворювачів у вигляді однокристальних (монолітних) ВІС. Як приклад можна привести ЦАП типів 572ПА1, 572ПА2, 1108ПА1, 594ПА1. Перший з них перетворює 10-розрядний код без буферизації в сигнал напруги постійного струму 0-10 В; -10...0...+10 В з часом перетворення 3 мкс. ЦАП типу 572ПА2 містить вхідну буферну пам'ять, перетворює 12-розрядний код в напругу постійного струму з часом встановлення 5 мкс. Два інших 12-розрядних ЦАП відрізняються високою швидкістю: час перетворення у них

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

складає 0,2 мкс. ЦАП типу 1108ПА1 має вхідний буфер; у ЦАП типу 594ПА1 він відсутній.

Таблиця 3.6 Призначення виводів[12]

Тип виробу	Номер ТУ	Тип корпусу	Діапазон робочих температур
572ПА1А-В	6К0.347.182 ТУ1	201.16-8	-60°C до +85°C
Н572ПА1А-В	6К0.347.182 ТУ1	Н04.16-1в	-60°C до +85°C
Б572ПА1А-2 - В-2	6К0.347.455 ТУ	б/к	-60°C до +85°C
Р572ПА1А-В	6К0.347.182 ТУ1	238.16-1	-60°C до +85°C
ДО 572ПА1А-Б	6К0.348.432 -01ТУ	201.16-8	-10°C до +70°C
КР572ПА1А-Б	6К0.348.432 -01ТУ	238.16-1	-10°C до +70°C

Таблиця 3.7 Призначення виводів[12]

Номер виведення корпусу				Призначення виводу
201.16-8	Н04.16-1в	238.16-8	Тара Безвивідна	
1	6	1	1	Аналоговий вихід 1
2	7	2	2	Аналоговий вихід 2
3	8	3	3	Загальний
4	9	4	4	Цифровий вхід 1
5	10	5	5	Цифровий вхід 2
6	11	6	6	Цифровий вхід 3
7	12	7	7	Цифровий вхід 4
8	13	8	8	Цифровий вхід 5
9	14	9	9	Цифровий вхід 6
10	15	10	10	Цифровий вхід 7
11	16	11	11	Цифровий вхід 8
12	1	12	12	Цифровий вхід 9
13	2	13	13	Цифровий вхід 10
14	3	14	14	Живлення UCC (плюс)
15	4	15	15	Опорна напруга UREF
16	5	16	16	Виведення резистора зворотного зв'язку
К553УД601	6К0.348.260-03ТУ	2101.8-1		-45°C до +85°C

Таблиця 3.8. Основні електричні параметри [12]

Найменування параметра, одиниця виміру	Буквенне позначення.	Норма						U_{CC} В	U_{REF} В	Температура. °С
		572ПА1А Н572ПА1А Р572ПА1А Б572ПА1А-2		572ПА1Б Н572ПА1Б Р572ПА1Б Б572ПА1Б-2		572ПА1В Н572ПА1В Р572ПА1В Б572ПА1В-2				
		не менш	не більш	не менш	не більш	не менш	не більш			
Струм споживання, мА	I_{CC}	-	2	-	2	-	2	15	10,2 4	25 85 -60
		-	3	-	3	-	3			
		-	3	-	3	-	3			
Вихідний струм зсуву нуля, нА	I_{OO}	-	100	-	100	-	100	15	10,2 4	25 85 -60
		-	500	-	500	-	500			
		-	200	-	200	-	200			
Час встановлення вихідного струму, мкс	t_{SI}	-	5	-	5	-	5	15	10,2 4	25 85 -60
		-	7,5	-	7,5	-	7,5			
		-	5	-	5	-	5			
Диференціальна нелінійність, % від повної шкали	δ_{LD}	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	15	10,2 4	25 85 -60
		-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5			
		-0,143	0,143	0,24	0,24	0,44	0,44			
Абсолютна похибка претворення в кінцевій точці шкали, % від повної шкали	δ_{FS}	-3	0,5	-3	0,5	-3	0,5	15	10,2 4	25 85 -60
		-3,2	0,7	-3,2	0,7	-3,2	0,7			
		-3,17	0,7	-3,17	0,7	-3,17	0,7			
Число розрядів	В	10	-	10	-	10	-	13, 5	10,2 4	25 85 -60
		10	-	10	-	10	-			
		10	-	10	-	10	-			
Нелінійність % від повної шкали	δ_L	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	15	10,2 4	25 85 -60
		-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5			
		-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5			

Примітки:

1. Похибка задання підтримки U_{CC} не більш $\pm 1\%$
2. Похибка задання підтримки U_{REF} не більш $\pm 0,25\%$
3. Імовірність знаходження похибки в заданих межах $P=0,95$
4. Вимірювання всіх параметрів (окрім t_{SI}) проводиться при $U_{IL} = (0 - 0,8)$; $U_{IH} = (3,6 - U_{CC})$.

Вимірювання параметра t_{SI} проводиться при $U_{IL} = (0 - 0,8)$; $U_{IH} = (5 - U_{CC})$.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Док.
Змн.	Док.	№ доквм.	Підпис	Дата		

1. Параметр “нелінійність” для виробів Б572ПА1-2 не контролюється.

Таблиця 3.9 Основні електричні параметри[12]

Найменування параметра, одиниця виміру	Буквенне позначенн я.	Норма				Температура. °C
		К572ПА1А КР572ПА1А		К572ПА1Б КР572ПА1Б		
		не менше	не більше	не менше	не більше	
Струм споживання, мА	I_{cc}	-	2 3 3	-	2 3 3	25 70 -10
Час встановлення вихідного струму, мкс	t_{s1}	-	5	-	5	25 70 -10
Диференціальна нелінійність, % від повної шкали	$\delta_{L,D}$	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	25
		-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	70
		-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-10
Абсолютна похибка претворення в кінцевій точці шкали, % від повної шкали	δ_{FS}	-3	3	-3	3	25
		-4	4	-4	4	70
		-4,5	4,5	-4,5	4,5	-10
Число розрядів	B	10	-	10	-	25

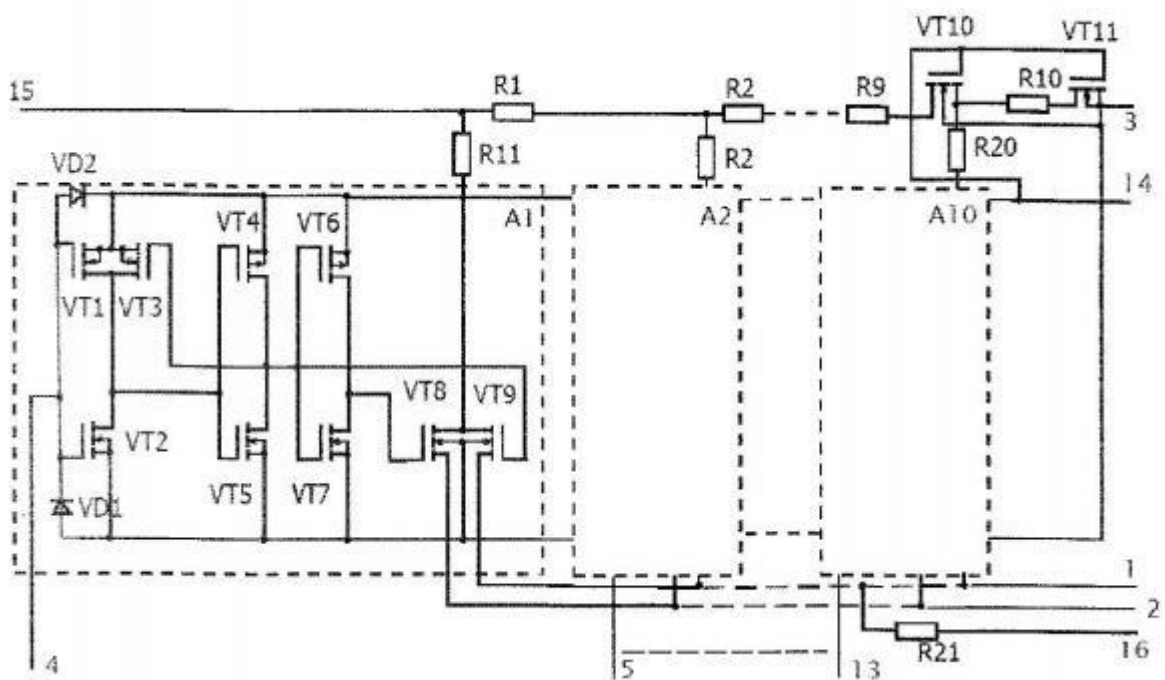


Рис. 3.3. Схема електрична принципова [12]

Примітка: Нумерація виводів дана для корпусу 201.16-8.

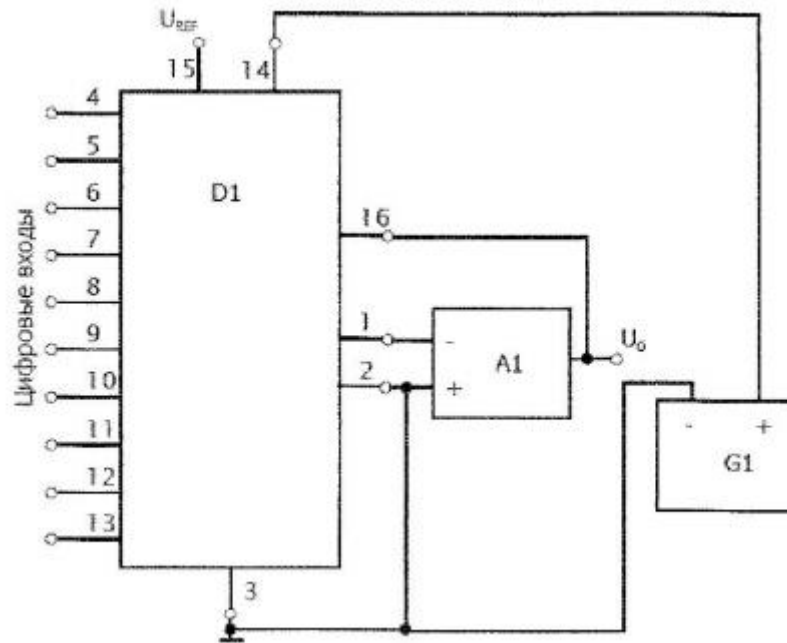


Рис.3.4. Основна схема включення з операційним підсилювачем [12]

D1 – мікросхема; A1 – операційний підсилювач

Примітка: Нумерація виводів дана для корпусу 201.16-8.

Для генератора пилкоподібної напруги було обрано ЦАП типу 572ПА1.

3.3.4. Вибір мікросхеми лічильника

Для забезпечення необхідної швидкодії і працездатності в якості лічильника було запропоновано лічильник SN74LS93 з діодами Шотткі, що виготовляється фірмою Texas Instruments. Основні електричні параметри приведені у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Основні електричні параметри SN74LS93[10, 11]

		SN54LS90 SN54LS92 SN54LS93			SN74LS90 SN74LS92 SN74LS93			Одиниця виміру
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Напруга живлення, U_{cc}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	В
Вихідний струм високого рівня, I_{OH}		-400			-400			мА
Вихідний струм низького рівня, I_{OL}		4			8			мА
Частота рахунку, f_{count}	А вхід	0 32			0 32			МГц
	В вхід	0 16			0 16			
Ширина імпульса, t_w	А вхід	15			15			нс
	В вхід	30			30			
	Скидання вхідних значень	30			30			
Час підготовки скидання пасивного стану (reset inactive-state setup time), t_{so}		25			25			нс
Робоча температура на відкритому повітрі, T_A		-55 125			0 70			°C

SN5493A, SN54LS93 . . . J OR W PACKAGE
 SN7493 . . . N PACKAGE
 SN74LS93 . . . D OR N PACKAGE
 (TOP VIEW)

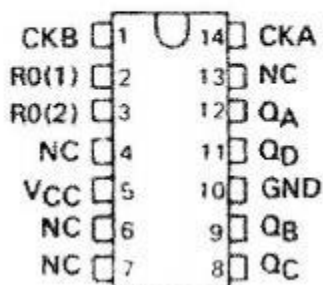


Рис. 3.5. Зовнішній вигляд та призначення виводів [10,11]

Таблиця 3.10 Гранично-допустимі електричні параметри SN74LS93 [10,11]

Параметр	Випробувальні умови**	SN54LS93		SN74LS93		Одиниці виміру	
		MIN	TYP	MAX	MIN		TYP
U_{IH} вхідна напруга високого рівня		2			2		В
U_{IL} вхідна напруга низького рівня		0,7			0,8		В
U_{IK} вхідна напруга на затискачах	$U_{CC} = \text{MIN}, I_I = -18 \text{ мА}$	-1,5			-1,5		В
U_{OH} вихідна напруга високого рівня	$U_{CC} = \text{MIN}, U_{IH} = 2 \text{ В}$ $U_{IL} = U_{IL, \text{max}}, I_{OH} = -400 \text{ мкА}$	2,5	3,4		2,7	3,4	В
U_{OL} вихідна напруга низького рівня	$U_{CC} = \text{MIN}, U_{IH} = 2 \text{ В},$ $U_{IL} = U_{IL, \text{max}}$	$I_{OL} = 4 \text{ мА}$		0,25	0,4	0,25	0,4
		$I_{OL} = 8 \text{ мА}$				0,35	0,5
I_I вхідний струм при максимальній вхідній напрузі	Будь-яке скидання	$U_{CC} = \text{MAX}, U_I = 7 \text{ В}$		0,1		0,1	мА
	СКА or СКВ	$U_{CC} = \text{MAX}, U_I = 5,5 \text{ В}$		0,2		0,2	
I_{IH} вхідний струм високого рівня	Будь-яке скидання	$U_{CC} = \text{MAX}, U_I = 2,7 \text{ В}$		20		20	мкА
	СКА or СКВ			40		80	
I_{IL} вхідний струм низького рівня	Будь-яке скидання	$U_{CC} = \text{MAX}, U_I = 0,4 \text{ В}$		-0,4		-0,4	мА
	СКА			2		-2,4	
	СКВ			-1,6		-1,6	
I_{OS} вихідний струм короткого замикання	$U_{CC} = \text{MAX}$	-20	-100	-20		-100	мА
I_{SS} струм живлення		9	15	9	15		мА

Таблиця 3.11 Таблиця істинності SN74LS93[10,11]

Рахунок	Вихід			
	Q_B	Q_C	Q_D	Q_A
0	П	П	П	Н
1	Н	Н	Н	В
2	Н	П	В	Н
3	П	П	В	В
4	Н	В	П	Н
5	Н	В	Н	В
6	П	В	В	Н
7	Н	В	В	В
8	В	Н	Н	П
9	В	Н	Н	В
10	В	Н	В	Н
11	В	Н	В	В
12	В	В	П	Н
13	В	В	Н	В
14	В	В	В	Н
15	В	В	В	В

3.3.5. Вибір мікросхеми логічних елементів та розрахунок

мультивібратора

Серія ТТЛ 7400 мікросхем є промисловим стандартом, вироблена компанією Texas instruments. Оскільки біполярні інтегральні серії ІМС 74 фірми Texas Instruments є найбільш поширеними їх функціонально і параметрично повторює продукція інших фірм (Advanced Micro Devices, серія 90/9N/9L/9H/9S Fairchild, Harris, Intel, Intersil, Motorola, National і т.д).

ТТЛШ—логіка відрізняється від ТТЛ наявністю діодів Шоттки в ланцюгах база-колектор, що виключає насичення транзистора, а також наявністю демпфуючих діодів Шоттки на входах (рідко на виходах) для придушення імпульсних перешкод, що утворюються через віддзеркалення в довгих лініях зв'язку.

Серія 741LS — покращена з діодами Шоттки і зниженим енергоспоживанням (Advanced LOW Power Schottky) ($T_{pd} = 4$ нс, $P_d = 1,2$ мВт). Ці пристрої містять чотири логічні елементи 2І-НІ. Тому дана мікросхема підходить для наших цілей. Основні електричні параметри наведені нижче.

SN5400 . . . J PACKAGE
SN54LS00, SN54S00 . . . J OR W PACKAGE
SN7400, SN74S00 . . . D, N, OR NS PACKAGE
SN74LS00 . . . D, DB, N, OR NS PACKAGE
(TOP VIEW)

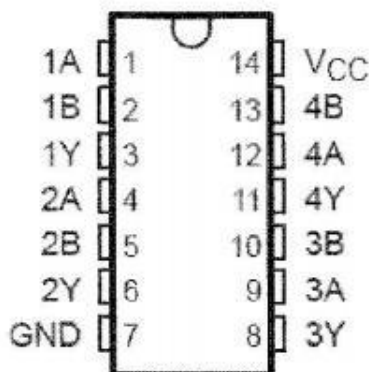


Рис. 3.6. Зовнішній вигляд і призначення виводів SN74LS00 [10,11]

Таблиця істинності SN74LS00 [10,11]

Входи		Вихід Y
A	B	
H	H	L
L	X	H
X	L	H

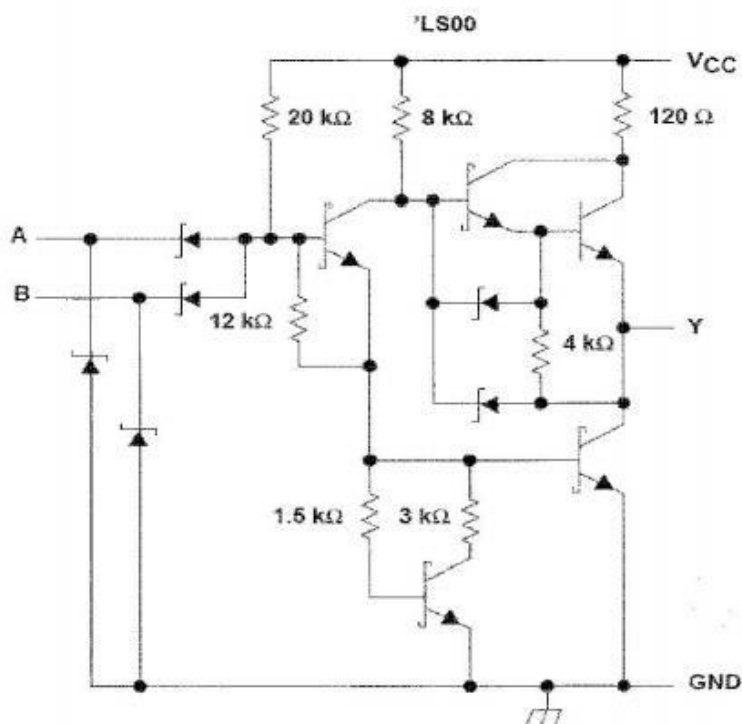


Рис. 3.7. Принципова схема [10,11]

Таблиця 3.13 Рекомендовані робочі режими [10,11]

	SN54LS00			SN74LS00			Одиниці виміру
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
U_{CC} напруга живлення	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	B
U_{IH} вхідна напруга високого рівня			2			2	B
U_{IL} вхідна напруга низького рівня			0.7			0.8	B
I_{OH} вихідний струм високого рівня			-0.4			-0.4	мА
I_{OL} вихідний струм низького рівня			4			8	мА
T_A робоча температура на відкритому повітрі	-55		125	0		70	°C

Примітка: всі невикористані входи пристрою повинні під'єднуватися до V_{CC} (джерела) або GND (землі), щоб гарантувати належну роботу пристрою.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Таблиця 3.14 Граничні електричні параметри, при роботі на відкритому повітрі[10,11]

Параметр	Випробувальні умови**	SN54LS00			SN74LS00			Одиниці виміру
		MIN	TYP*	MAX	MIN	TYP*	MAX	
U_{IK}	$U_{CC}=\text{MIN}, I_I=-18\text{mA}$	-1.5			-1.5			В
U_{OH}	$U_{CC}=\text{MIN}, U_L=\text{MAX}, I_{OH}=-0,4\text{mA}$	2.5	3.4		2.7	3.4		В
U_{OL}	$U_{CC}=\text{MIN}, U_{IH}=2\text{В}$	$I_{OH}=4\text{ма}$			0.25	0.4		В
		$I_{OH}=8\text{MA}$				0.35	0.5	
I_I	$U_{CC}=\text{MAX}, U_I=7\text{В}$	0.1			0.1			мА
I_{IH}	$U_{CC}=\text{MAX}, U_I=2.7\text{В}$	20			20			мкА
I_{IL}	$U_{CC}=\text{MAX}, U_I=0.4\text{В}$	-0.4			-0.4			мА
$I_{OHS}\S$	$U_{CC}=\text{MAX}$	-20		-100	-20		-100	мА
I_{CCH}	$U_{CC}=\text{MAX}, U_I=0\text{В}$	0.8	1.6		0.8	1.6		мА
I_{CCL}	$U_{CC}=\text{MAX}, U_I=4.5\text{В}$	2.4	4.4		2.4	4.4		мА

** Для умов, показаних як MIN або МАКС, використовують відповідне значення, вказані таблиці 3.13.

* Всі типові значення при $U_{CC} = 5 \text{ В}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Не більш ніж один вихід повинен бути закороченим одночасно.

Розрахунок мультивібратора на основі логічних елементів 2І—НІ. Технічним завданням була задана частота генерування імпульсів мультивібратором, яка становить 2 МГц. Згідно з додатком 2, мультивібратор складається з логічних елементів 2І—НІ і задаючих пар резисторів і конденсаторів. Використовуючи відому формулу співвідношення періоду коливань мультивібратора і значень ємностей і опорів, а також задавши значення опорів рівними 1 кОм, можемо розрахувати значення ємностей. Для цього спочатку знайдемо період коливань через задану нам частоту:

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.7)$$

де, T – період коливань мультівібратора, f – частота коливань. Звідси отримаємо, що період коливань $T = 0,5 \cdot 10^{-6}$ с.

$$T = 1,41RC \quad (3.8)$$

З (3.8) випливає що:

$$C = \frac{T}{1,41R} \approx 0,35 \cdot 10^{-9} \Phi \approx 3,5n\Phi \quad (3.9)$$

В якості резисторів оберемо, з тих самих міркувань які описані у розділі 3.3.1., резистори МЛТ з найменшою розсіюваною потужністю МЛТ-0,125.

3.3.6. Вибір електродвигуна та розрахунок

підсилюючого каскаду

З наведених у розділі 2.2 даних, в якості виконуючого елемента оберемо електродвигун типу ДПМ-20-Н1, Н2-12, оскільки співвідношення його параметрів є найбільш оптимальними. Основні параметри цього типу приведені у таблиці 3.15.

Таблиця 3.15. Основні технічні параметри двигуна типу ДПМ-20-Н1

Тип двигуна	U , В	P_2 ном Вт	$n_{ном}$ об/хв	$M_{ном}$ мН*м	M_n , мН*м	$I_{ном}$ А	$I_{сп}$ А	ККД %	t_f год
ДПМ-20-Н1, Н2-12	12	1,23	6000	1,96	4,9	0,4	1,5	26	300

Невелика потужність споживання разом з досить високим ККД роблять цей двигун підходящим для нашого пристрою, напруга живлення підходить для живлення від джерела +27 В. Порівняно з іншими типами двигунів того ж ряду ККД, номінальний та струм споживання ДПМ-20-Н1 мають середні значення, що задовільняє нашим вимогам.

Розрахунок підсилюючого каскаду. Підсилюючий каскад виконано по мостовій схемі. В якості потужних (силових) транзисторів оберемо вітчизняні

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

транзистори серії КТ816Б — VT_2, VT_4 , та серії КТ817Б — VT_3, VT_5 , які працюють в ключовому режимі. Транзистори VT_1, VT_6 призначені для формування напруги для транзисторів VT_2, VT_4 відповідного знаку. В якості транзисторів VT_1 і VT_6 приймемо вітчизняні транзистори серії КТ315А.

Підсилюючий каскад являє собою два симетричних плеча, перше плече складається з транзисторів VT_1, VT_2 і VT_5 , резисторів $R_7, R_8, R_{12}, R_{13}, R_{18}$, діодів VD_2, VD_4, VD_7 . Друге — з транзисторів VT_6, VD_4 і VT_3 , резисторів $R_{20}, R_{19}, R_{17}, R_{16}, R_9$, діодів VD_9, VD_6, VD_5 . Так як вони симетричні, то можна обмежитись розрахунком тільки одного плеча.

Розглянемо роботу першого плеча підсилюючого каскаду. Вхідний сигнал для транзистора VT_1 формується з виходу логічного елемента $DD1:3$.

Вхідний струм логічної одиниці логічного елемента $DD1:3$ складає $\approx 0,4$ мА. Даний струм являється струмом бази і задає робочу точку на вхідній вольт-амперній характеристиці транзистора VT_1 , якій відповідає значення напруги база-емітер рівне $\approx 0,6$ В. Для підтримання робочої точки вхідної характеристики, опір R_8 в колі база-емітер повинен відповідати умові:

$$R_8 = \frac{U_{eб}}{I_б} \quad (3.10)$$

де, $U_{eб}$ - напруга емітер-база $\approx 0,6$ В, $I_б$ — струм бази $\approx 0,4$ мА.

Тоді з урахуванням (3.10) $R_8 = 0,6 \text{ В} / 0,4 \text{ мА} = 1,5 \text{ кОм}$. Оберемо номінал опору R_8 1,5 кОм.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		73

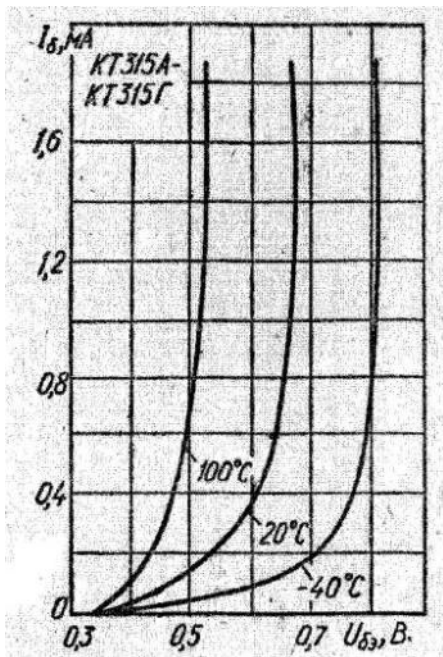


Рис.3.8. Вхідні ВАХ
транзистора КТ315А [16]

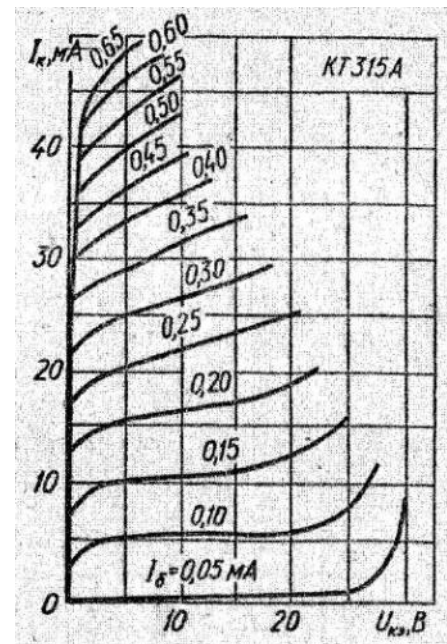


Рис.3.9. Вихідні ВАХ
транзистора КТ315А[16]

Виходячи з отриманих даних можемо задати робочу точку на вихідній ВАХ транзистора $VT1$. Робоча точка визначається струмом бази, який в нашому випадку рівний 0,4 мА, тому з рис.3.9. видно що шукана робоча точка буде:

$$I_k \approx 36 \text{ мА, при } U_{ке} = 10 \text{ В.}$$

Для того, щоб отримати необхідні для двигуна вихідні струми транзистора $VT2$, необхідно відповідно задатися опорами $R12$ і $R13$, які задають робочу точку на вхідній ВАХ транзистора. Для цього зробимо зворотню задачу, тобто задавши робочу точку на вихідній ВАХ, згідно з потребами двигуна, визначимо робочу точку на вхідній ВАХ транзистора $VT2$. Спочатку з таблиці 3.15 отримаємо струм колектора, який являє собою номінальний струм двигуна ДПМ-20-Н1, і рівний 0,4 А. Напруга колектор-емітер визначається з умови:

$$U_{ке} = \frac{U_{джс} - U_{дв}}{2}, \quad (3.11)$$

Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата

де, $U_{дж}$ — напруга джерела живлення, яка рівна 27 В, $U_{об}$ — напруга споживання двигуна, яка рівна 12 В. Тоді $U_{ке} = 7,5$ В.

З рис.3.10 та отриманих результатів видно, що наша робоча точка: $I_k = 0,4$ А, при $U_{ке} = 7,5$ В. З рисунка також видно що для забезпечення необхідної робочої точки струм бази повинен бути рівний 5 мА. Маючи струм баз можна

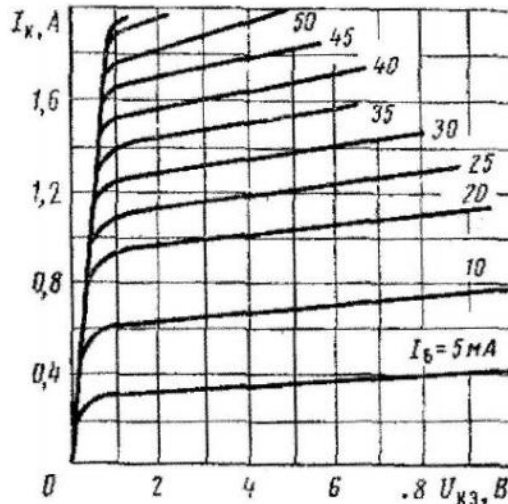


Рис.3.10. Вихідні ВАХ транзистора КТ816Б[16]

легко відшукати необхідну напругу емітер-база по вхідній характеристиці, приведений на рис.3.11. З нього видно, що напруга емітер-база, при струмі бази рівному 5 мА, повинна бути рівна $\sim 0,85$ В.

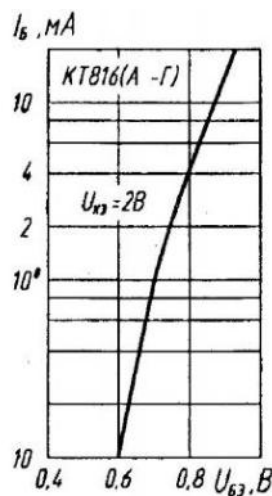


Рис.3.11. Вхідна ВАХ транзистора КТ816Б[16]

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

Отримавши вихідні данні транзистора $VT1$ та вхідні данні $VT2$ можемо розрахувати необхідні номінали опорів $R12$ і $R13$. Для цього використаємо наступні дві умови:

$$U_{eб(VT2)} = R12 \cdot (I_{к(VT1)} - I_{б(VT2)})$$

$$U_{дж} = U_{к(VT1)} + I_{к(VT1)} \cdot R13 + (I_{к(VT1)} - I_{б(VT2)}) \cdot R12 \quad (3.13)$$

З (3.12) та (3.13) отримаємо:

$$R12 = \frac{U_{eб(VT2)}}{I_{к(VT1)} - I_{б(VT2)}} = \frac{0,85B}{36mA - 5mA} \approx 0,03 \cdot 10^3 \text{ Ом} \approx 30 \text{ Ом}$$

$$R13 = \frac{U_{дж} - U_{к(VT1)} - (I_{к(VT1)} - I_{б(VT2)}) \cdot R12}{I_{к(VT1)}} \approx 0,44 \cdot 10^3 \text{ Ом} \approx 440 \text{ Ом}$$

Діоди $VD4 \div VD7$ призначені для компенсації індукційних струмів, що виникають в двигуні. Компенсація являє собою заземлення індукційних струмів на спільних провідниках. Процес компенсації відбувається внаслідок того що опір переходу діода менший за опір транзистора (перехід колектор-емітер). Опори $R7, R9, R18, R20$ служать для обмеження вхідного сигналу транзистора. Вони обираються з умови:

$$R = \frac{U^1 - U_{eб}}{I_{б}}, \quad (3.14)$$

де, U^1 — високий рівень напруги логічного елемента $DD1$, $U_{eб}$ і напруга емітер-база відповідних транзисторів, $I_{б}$ — струм бази відповідних транзисторів.

Оскільки, вхідні данні ($U_{eб}$ і $I_{б}$) транзисторів $VT1, VT3, VT6, VT5$ дуже близькі, можемо прирівняти $R7=R9=R18=R20$. Тоді, з урахуванням (3.14), отримаємо:

$$R = \frac{2,4B - 0,65B}{0,4mA} \approx 4 \text{ кОм}$$

Номінали обираємо рівними 4 кОм, тип резисторів МЛТ-0,125 Вт.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Док.
						76
Змн.	Док.	№ доквм.	Підпис	Дата		

4. Конструкторсько–технологічна розробка плати

4.1. Проектування та розрахунок друкованої плати

Розрахунок по визначенню геометричних розмірів плати проводиться у наступній послідовності. Знаходиться сумарна установочна площа $S_{мг}$, $S_{сг}$, $S_{вг}$ відповідно для мало-, середньо- та великогабаритних електрорадіоелементів (ЕРЕ).

При виконанні такого поділу необхідно враховувати, що до малогабаритних ЕРЕ відносять мініатюрні резистори (0,125 Вт), діоди і стабілітрони у скляних корпусах, деякі типоніменали керамічних конденсаторів та інші радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 1 \text{ см}^2$. До середньогабаритних ЕРЕ належать ІМС у прямокутних корпусах, резистори потужністю вище 0,5 Вт, конденсатори в циліндричних корпусах і подібні радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 2 \text{ см}^2$. До великогабаритних ЕРЕ належать потужні резистори, конденсатори в прямокутних корпусах, змінні резистори, трансформатори, напівпровідникові прилади з радіаторами та інші, індивідуальна площа встановлення яких $S_i > 2 \text{ см}^2$.

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника (квадрата), у яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої. Розраховується площа монтажної зони для середньої щільності монтажу за формулою:

$$S_m = 4S_{мг} + 3S_{сг} + 1,5S_{вг}$$

Коректуються і знаходяться розміри монтажної зони у відповідності із можливостями встановлення в корпус і стандартними лінійними розмірами друкованої плати (ДП). Під установочними площами ЕРЕ розуміють, площі прямокутників, в які вписані ЕРЕ разом із выводами та контактними площадками при встановленні їх на друковану плату.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

В даній схемі до великогабаритних ЕРЕ відносяться: DD1, DD2-DD4, DD5, DA1-DA3, M1, X1-X2 тоді

$$S_{\text{вг}}=(19.3*9.4*4)+(19*7.4)+(19*6*3)+(38)+(10.2*20*2)= 1\ 654,28\ \text{мм}^2$$

До середньо-габаритних ЕРЕ відносяться: R7, R8, R9, R12, R13, R16, R17, R18, R19, R20, R3, R4, VD1-VD7, VD9, VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6 тоді

$$S_{\text{сг}}=(4.2*10.8*10)+(16*2)+(0.4*12*8)+(7.2*3*2)+(7.8*2.8*4)= 654,56\ \text{мм}^2$$

До малогабаритних ЕРЕ відносяться: C1, C2, C3, C4, R1, R2, R5, R6, R10, R11, R14, R15, VD8 тоді

$$S_{\text{мг}}=(2.5*6.5*4)+(2.2*6*8)+(7.5*3)= 193,1\ \text{мм}^2$$

Необхідні для користування ДП, дані про елементи зведені до таблиці 5.1.1

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		78

Таблиця 4.1.1 Вихідні дані та результати розрахунку установчих площ та об'ємів

Позначення	Тип	Ø виводі в, мм	Ø конт. площад ки, мм	Габаритні розміри, мм	К-сть, шт	Установча площа, мм ²	Установчий об'єм, мм ³
DD1	SN74LS00	0.5	1.8	19.4*9.4*5	1	182.4	912
R1, R2, R5, R6, R10, R11, R14, R15	МЛТ 0.125	0.5	1.8	2.2*6*2.2	8	105.6	232.3
R7, R8, R9, R12, R13, R16, R17, R18, R19, R20	МЛТ 0.5	0,8	2.3	4.2*10.8*4.2	10	453,6	1905,1
R3, R4	PD-84-10	1	2.5	16*11*15	2	16	240
C1, C2, C3, C4	К-73-17	0.5	1.8	2.5*6.5*5	4	65	325
VD1-VD7, VD9	Д223А	0.6	1.8	0.4*12*0.4	8	38.4	15.4
VD8	КС139А	0.6	1.8	3*7.5*3	1	22.5	67.5
VT1, VT6	КТ315А	1	2.5	3*7.2*5	2	43.2	216
VT2, VT4	КТ816Б	0.5	1.8	2.8*7.8*11	2	43.7	480.5
VT3, VT5	КТ817Б	0.5	1.8	2.8*7.8*11	2	43.7	480.5
М1	ДПМ-20-Н1	1.3	2.8	38*20*20	1	760	15200
DD2-DD4	SN74LS93	0.5	1.8	19.3*9.4*5	3	544.3	2721.3
DD5	572ПА1	0.55	1.8	7.4*19*5	1	140.6	703
DA1-DA3	К553УД2	0.5	1.8	19*6*5	3	342	1710
X1, X2	DS1074	0.6	1.8	10.2*20*17.5	2	408	7140
Всього:						3209	32348.6

Площа монтажної зони:

$$S_m = 5217.5 \text{ мм}^2$$

Вибираємо для ДП розмір згідно ГОСТ 10317-79 Плати друковані. Основні розміри 85*85 [мм].

Коефіцієнт заповнення по площі рівний:

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

$$K_s = S_{yem} / S_{\partial n} = 0,6$$

Установочний об'єм: $V_{yem} = 32\,348.6 \text{ мм}^3$

Загальний об'єм плати: $V_{\partial n} = 85 * 85 * 25 = 180\,625 \text{ мм}^3$

Коефіцієнт заповнення по об'єму рівний:

$$K_v = V_{yem} / V_{\partial n} = 32348.6 / 180625 = 0,18$$

4.1.2. Визначення контактних площадок, розмірів друкованих провідників

Процес конструювання друкованої плати в загальному випадку передбачає виконання ряду взаємозв'язаних операцій: вибір типу, розміру плати, способу її кріплення, кількості шарів, розробка друкованого монтажу. При розміщенні ЕРЕ виходять частіше всього із критерію двох мінімумів і мінімуму довжини зв'язків:

- перша умова - мінімум перехідних отворів, що забезпечує технологічність по мінімальному числу шарів;
- друга умова - мінімум зв'язків між сусідніми елементами. Можливе також застосування і інших критеріїв: мінімуму числа з'єднань, довжина яких більша заданої; максимум числа схем простої конфігурації; мінімуму сумарної зваженої довжини з'єднань.

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовно координатною сіткою із взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної. Крок координатної сітки 2,5 мм. Центри монтажних отворів контактних площадок під виводи навісних ЕРЕ розташовані у вузлах координатної сітки.

Навісні елементи мають виводи прямокутного або круглого перерізу. Діаметр отвору під вивід вибирають із умови отримання зазору між виводом і стінкою отвору з врахуванням, якщо потрібно, подальшої металізації

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		80

отвору, який би забезпечував капілярні проникнення припою в процесі пайки.

Діаметр монтажного отвору d_0 вибирають із таких умов:

- якщо діаметр виводу $d_B > 1$ мм, то $d_0 = [d_B + (0,3+0,4)]$;
- якщо $d_B < 1$ мм, то $d_0 = [d_B + (0,2+0,3)]$.

Номенклатурний отвір на кресленні показують умовним знаком, що визначає його діаметр. Згідно ГОСТ 10317-79 номінальний діаметр монтажного отвору з врахуванням його металізації для виводів діаметром:

- $0,4 \div 0,6$ мм становить $0,8 + 0,1$ мм,
- $0,6 \div 0,8$ мм становить $1,0 + 0,1$ мм,
- $0,8 \div 1,3$ мм становить $1,5$ мм,
- $1,3 \div 1,7$ мм становить 2 мм,
- $1,7 \div 2,2$ мм становить $2,5$ мм.

Діаметр металізованого отвору залежить і від товщини плати. Це пов'язано з тим, що при гальванічному осадженні металу на стінках отвору малого діаметру зробленого в товстій платі, товщина шару металу вийде нерівномірною і при великому відношенні товщини плати до діаметра отвору деякі місця можуть залишитись непокритими. Діаметр металізованого отвору повинен складати не менше половини товщини плати, отже повинна виконуватись наступна умова:

$$0,4h \leq d_{min} ,$$

де h - товщина плати; d_{min} - найменшого із металізованих отворів.

З цього співвідношення можна вибрати товщину плати і для нашого випадку вона складає $1,5$ мм при діаметрі найменшого отвору $0,5$ мм. Щоб забезпечити надійне з'єднання металізованого отвору з друкованим провідником, навколо отвору робиться контактна площадка. Контактні

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		81

площадки отворів рекомендується виготовляти у вигляді кільця. Діаметр контактної площадки вибирається з таблиці 4.1.2

Таблиця 4.1.2 Рекомендовані діаметри контактних площадок

Діаметр отворів	0.6	0.8	1	1.3	1.5	2
Контактних площадок	1.8	2.3	2.5	2.8	3	3.5

Діаметр перехідних отворів залежить від товщини плати і від виду електроліту, що використовується для металізації отворів:

$$D_{пер} = H * \gamma$$

де H - товщина плати; γ - залежить від складу електроліту.

Для пірофосфатного електроліту, що використовується для металізації отворів:

$$\gamma = 0,25$$

Тому, $D_{пер} = H * \gamma = 1,5 * 0,25 = 0,3$ мм. Згідно ГОСТ 10317-79 вибирається $D_{пер}$ рівне 0,3. По ГОСТу вибирається клас густини рисунка: другий. Для цього класу ширина провідників $Ш = 0,25$ лш. Відстань між провідниками 0,25мм.

4.1.3. Вибір варіантів встановлення елементів РЕА

Між корпусами сусідніх елементів повинна бути певна відстань, яку вибирають з врахуванням умов тепловідводу та допустимої різниці потенціалів між ними. Для даного пристрою застосовано друкований та об'ємний монтаж. У промислових умовах навісні елементи кріплять до плати шляхом пайки виводів (у тому числі і незадіяних) хвилею припою ПОС-61 у металізованих і неметалізованих отворах.

Беремо кожух приблизно на 5 мм більший габаритів плати, тобто для блоку кожух буде 90x90x30 (мм*мм*мм).

Площа всієї поверхні корпусу:

$$S = 2 * (90 * 90 + 30 * 90 + 30 * 90) = 27\,000 \text{ мм}^2$$

Тепловий режим електронної апаратури характеризується залежністю температури нагріву компонентів пристрою від температури навколишнього середовища. Ця залежність визначається розсіюваною потужністю всіх електронних та електричних компонент, розміщених в об'ємі пристрою. Отже, однією з умов експлуатації електронного пристрою є температура навколишнього середовища, яка може вплинути на надійність його роботи. Такий вплив пояснюється існуванням максимально допустимих температур, при яких тривалий час можуть працювати електронні компоненти в необхідному режимі.

Розрахунок проведемо для максимальної температури навколишнього середовища +40 С, заданої технічним завданням проекту.

При аналізі теплових режимів враховують щільність розміщення компонентів в об'ємі пристрою, його геометричну форму та вид корпусу. Розрахунок теплових режимів проводять наступним чином:

- 1) Знаходять об'єм корпусу (кожуха) за формулою:

$$V_{\text{кож}} = A * B * H$$

- 2) Знаходять коефіцієнт форми:

$$S_{\phi} = H / \sqrt[3]{V}$$

- 3) Визначають коефіцієнт заповнення:

$$K_u = V_{\text{дп}} / V_{\text{кож}}$$

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 4) Робимо припущення, що плата розподіляє тепло рівномірно. Кожний елемент має свою потужність розсіювання, а сумарна потужність визначається:

$$P_{роз} = \sum_{i=1}^n p^e$$

- 5) Знаходимо питому потужність на одиницю площі:

$$Q = P_{роз} / S$$

В значення S входить як фізична площа самих РЕА, так і площа доріжок.

- 6) Використовуючи номограми Глушицького за розрахованими даними V , S , K_{ϕ} і $K_{зан}^V$ наближено знаходимо температуру навколишнього середовища і повітря.
- 7) З одержаних даних визначаємо вид корпусу, конвекції і якщо потрібно тип вентилятора.

Проводимо розрахунки теплових режимів згідно прийнятих кроків:

1. Знаходимо об'єм кожуха згідно формули:

$$V_{кож} = 90 * 90 * 30 = 243\ 000 \text{ (мм}^3\text{)}$$

2. Коефіцієнт форми визначаємо згідно формули:

$$K_{\phi} = 30 / \sqrt[3]{243000} = 30 / 62.4 = 0.5$$

3. Коефіцієнт заповнення визначаємо як:

$$K_V = V_{оп} / V_{кож} = 0.74$$

4. Сумарну потужність визначаємо як суму розсіювальної теплової некорисної потужності всіх елементів на друкованій платі. Беручи до уваги, максимальну розсіювану потужність всього пристрою в межах 15 Вт.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

5. Знаходимо питому потужність на одиницю площі з номограми : По заданій площі визначається площа умовно нагрітої зони при визначених коефіцієнтів форми та заповнення дорівнює $0,08 \text{ м}^2$.
6. Питому потужність на одиницю площі визначеної з графіків Глушицького

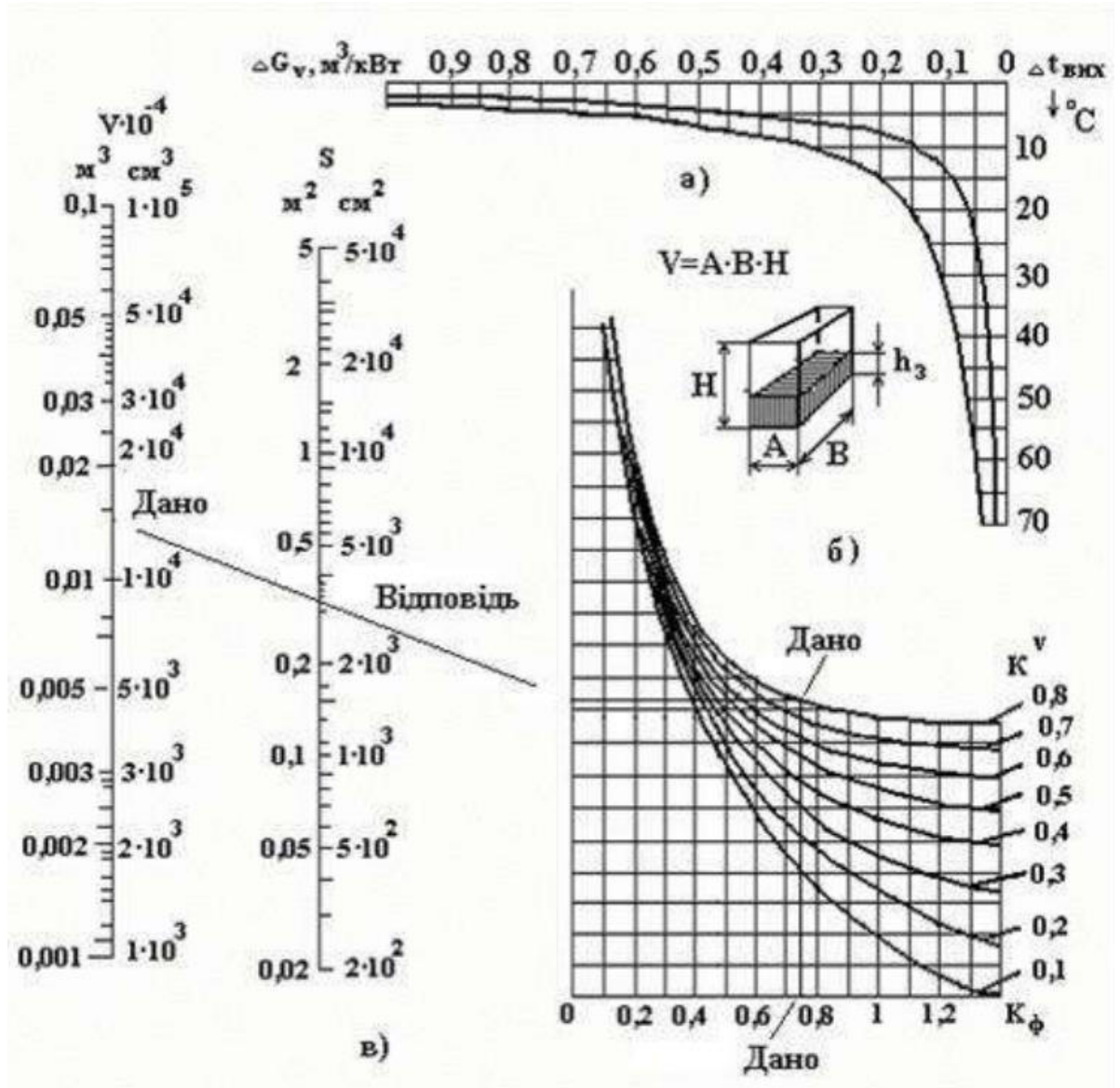


Рис. 4.2.3. Номограма для визначення поверхні нагрітої зони

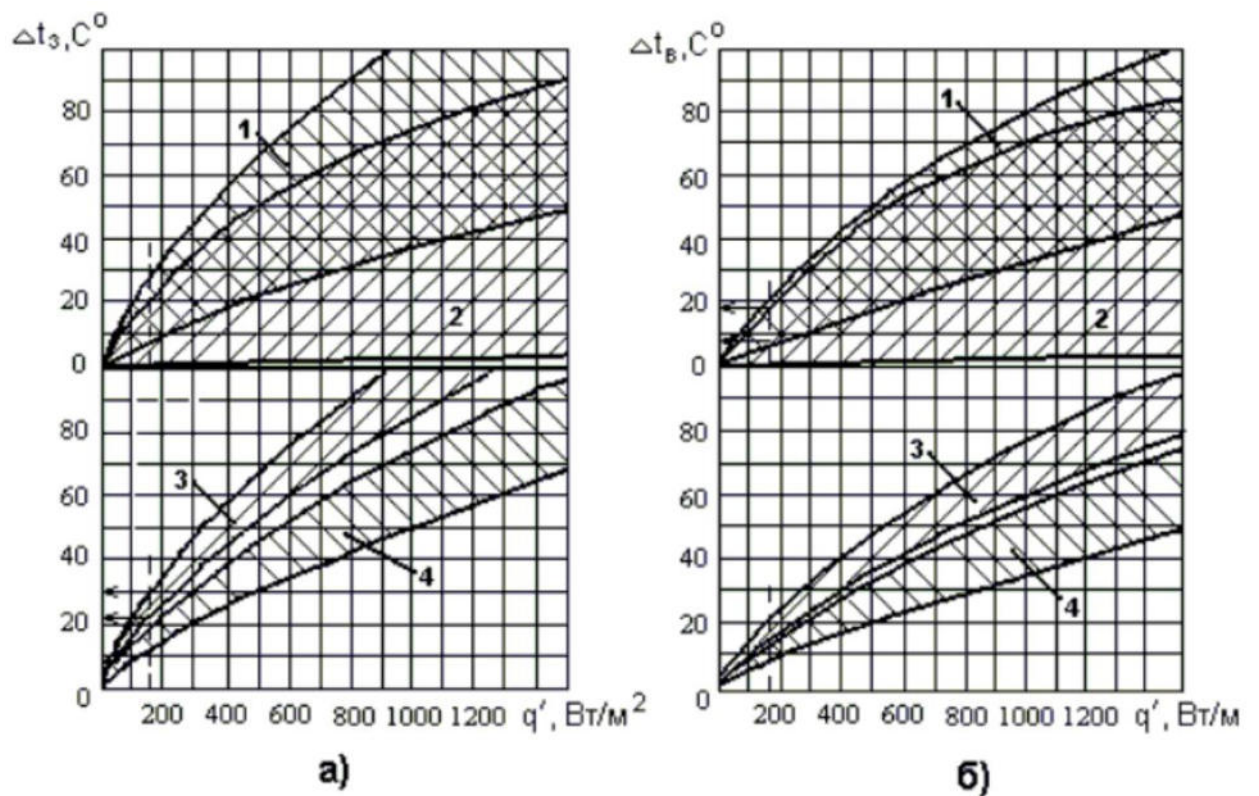


Рис. 4.2.4. Визначення перегріву Δt_3 нагрітої зони

$$q' = 15 \text{ Вт/м}^2 / 0,08$$

По визначеній питомій потужності нагрітої зони за номограмою Рис.5.2.4 визначаємо значення температури перегріву нагрітої зони $\Delta t_3 = 10\text{-}20^\circ\text{C}$. Тому при розрахунку імовірності надійності поправочні коефіцієнт будемо брати для максимальної температури $35+20=55^\circ\text{C}$, округляємо до 60°C .

4.3. Розрахунок характеристик надійності пристрою

Основною кількісною характеристикою надійності є функція надійності $P(t)$, або скорочено надійність, яка по визначенню рівна імовірності того, що в заданому інтервалі часу або в межах заданого напрацювання при заданих режимах і умовах експлуатації відмов в системі не виникає, тобто $P(t) = W\{T > t\}$, де T – час безвідмовної роботи системи, t – заданий час, $W\{A\}$ – імовірність події A , у даному випадку подія A заключається у тому, що $T > t$.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

Непередбачувані експлуатаційні відмови представляють собою непередбачувані відмови повнонадійної РЕА, які виникають в період нормальної експлуатації, коли проробка пристрою вже закінчилася, а зношування і природне старіння ще не настали. Ці відмови обумовлені лише випадковими факторами, такими як: приховані внутрішні дефекти, які не можуть бути виявлені системою технологічного контролю; рівно імовірні, і тому не передбачені схемою та конструкцію технологічні дефекти; відхилення режимів роботи; співставлення параметрів концентрації зовнішніх навантажень і внутрішніх напружень; помилки операторів у період експлуатації. У зв'язку з перерахованими причинами поява таких відмов принципово не виключена і рівно імовірна в часі: $\lambda_0 = const$.

Розрахунок характеристик надійності полягає у визначенні показників надійності виробу по відомим характеристикам надійності складових компонент і умовам експлуатації.

$$P(t) = \exp(\sum_{j=1}^m \lambda_j N_j)$$

Напрацювання системи на відмову отримуємо по формулі :

$$T_{cp.c} = 1 / \sum_{j=1}^m \lambda_j N_j$$

При уточненому розрахунку надійності враховують зовнішні дії, впливи теплових і електричних навантажень елементів пристрою. Розрахунок проводять по формулі:

$$P(t) = \exp(-k_\lambda \sum_{j=1}^m \lambda_j N_j)$$

Де $\lambda_j = \alpha_j \lambda_{0jkH}$,

$k_\lambda = k_{\lambda 1} k_{\lambda 2} k_{\lambda 3}$,

$P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи;

λ_j – інтенсивність відмов елементів j -ої рівнонадійної групи при заданих експлуатаційних даних;

λ_{0j} – інтенсивність відмов елементів j -ої рівнонадійної групи в номінальному режимі;

α_j – поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов j -ої групи, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження елемента;

k_n – коефіцієнта навантаження елемента;

k_λ – враховує умови експлуатації радіоелектронної апаратури;

$k_{\lambda 1}$ – вплив механічних факторів (вібрація, ударні навантаження);

$k_{\lambda 2}$ – вплив кліматичних факторів (температура, вологість);

$k_{\lambda 3}$ – умови роботи при пониженому тиску.

Значення поправочного коефіцієнта α_j в залежності від температури і коефіцієнта навантаження k_n знаходять в довіднику, коефіцієнти $k_{\lambda 1}$ — $k_{\lambda 3}$ також. При цьому під коефіцієнтом навантаження k_n розуміють відношення робочого навантаження, встановленого по визначеному параметру, який діє на елемент, до цього номінального навантаження, що встановлене нормативнотехнічною документацією.

Згідно ТЗ умови експлуатації приладу стаціонарні. Для стаціонарних умов характерно:

$t = +1 \dots +35 \text{ }^\circ\text{C}$;

вологість 50% – 80%;

атмосферний тиск 84 – 106 кПа.

По відповідних таблицях знаходять коефіцієнти: $K_M=1$; $k_B=1$; $k_{a.t.}=1$;

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дата		89

Отже, $k_{\epsilon}=1$.

Коефіцієнт α_j знаходять для кожної групи окремо, враховуючи більш ширший діапазон температур (+1...+50 °С) і рекомендовані значення k_n .

Далі складається таблиця згідно електричного розрахунку принципової схеми і вибраної елементної бази. Довідникові дані про λ_{oj} знаходять з відомих джерел.

Примітка: розрахунок надійності проводили без врахування монтажу. Інтенсивності відмов елементів приведено в таблиці:

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Напрацювання на відмову:

$$t = 1/\lambda_{\Sigma} = 1/215,52 * 10^{-8} [\text{год}] = 463994 [\text{год}]$$

З врахуванням часу наробітки приладу 20000 год., отримаємо:

$$P_{(20000)} = e^{-\lambda_{\Sigma} * t} \approx 1 - \lambda_{\Sigma} * t \approx 0.99$$

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		92

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1 Розрахунок собівартості приладу

Собівартість продукції — це витрати на її виробництво і реалізацію, що включають в себе вартість витрачених сировини і матеріалів, заробітну плату працівників, витрати по утриманню й експлуатації устаткування та інші поточні витрати. Проведемо розрахунок собівартості виготовлення спроектованого пристрою у вигляді калькуляції. Для цього скористаємось методом побільшеного розрахунку собівартості - методом питомої ваги, що забезпечує прийнятну похибку (~5%) прогнозування собівартості.

Цей метод полягає у пропорційному віднесенні непрямих витрат до суми витрат на основну заробітну плату виробничих робітників та витрат на утримання та експлуатацію устаткування. При розрахунках потрібно врахувати додаткові умови: затрата лаку на площу 1 см = 0,008 кг, затрата припою 1 ніжка = $3 \cdot 10^6$ кг; кількість виробів; кількість працюючих.

Провівши такий розрахунок ми можемо оцінити економічний ефект від впровадження розробленого виробу. Калькуляція собівартості спроектованого приладу таблиця 5.1.

Таблиця 5.1. Калькуляція собівартості спроектованого приладу

№п/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Основні матеріали	5,20
2	Покупні комплектуючі вироби і напівфабрикати	781,10
3	Основна заробітна плата виробничих робітників	15,42
4	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1,54
5	Відрахування ЄСВ	3,73
6	Витрати на утримання та експлуатацію устаткування	12,34
7	Цехові витрати	7,71
8	Загально заводські витрати	18,50
9	Інші виробничі витрати	3,38
Разом:	Виробнича собівартість $C_{\text{вир}}$	845,50
10	Позавиробничі витрати	33,82
Разом:	Повна собівартість $C_{\text{повн}}$	879,32

Розрахунок кількості і вартості матеріалів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Розрахунок кількості і вартості матеріалів представлений у вигляді табл. 5.2. Для визначення кількості витраченого припою, з врахуванням затрати на

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Док. 93
Змн.	Док.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Погодинна оплата праці яка діє з 01.01.2021 (Мінімальна зарплата 6000 гр.) становить 36,11 (гривень на годину). З врахуванням коефіцієнта підвищення окладу розрачуємо для кожного розряду.

$$3 \text{ розряд} = 36,11 * 1,18 = 42,60 \text{ грн. *год};$$

$$4 \text{ розряд} = 36,11 * 1,27 = 45,85 \text{ грн. *год};$$

$$5 \text{ розряд} = 36,11 * 1,36 = 49,11 \text{ грн. *год}.$$

Трудомісткість операції - встановлення і пайка залежить від кількості елементів і їх складності. Тому з врахування затрати часу на одну пайку 0,0014 год і встановлення 0,0006 год визначимо час для пайки і встановлення всіх елементів. Трудомісткість (пайка) = $82 * 0,0014 = 0,11$; Трудомісткість (встановлення) = $50 * 0,0006 + 0,05 = 0,08$, Загальна трудомісткість = $0,11 + 0,08 = 0,19$.

Таблиця 5.4. Розрахунок основної заробітної плати по складанню, монтажу, регулюванню і випробуванню спроектованого приладу

№ п/п	Зміст операції	Фах	Розряд роботи	Годинна тарифна ставка, грн	Трудомісткість робіт, нормо-год.	Сума зарплати за тарифом.
1	Встановлення і пайка	17474	4	45,85	0,19	8,71
2	Контроль	60188	5	49,11	0,05	2,45
3	Лакування і збирання	18352	3	42,60	0,1	4,26
Разом						15,42

Розрахунок додаткової заробітної плати виробничих робітників:

До додаткової заробітної плати відносять оплату відпусток, лікарняних, виплати за вислугу років, вихідну допомогу.

Величина додаткової заробітної плати визначається процентом від суми основної заробітної плати виробничих робітників (10%) і складає:

$$ЗП(\text{додаткова}) = 15,42 * 10/100 = 1,54 \text{ грн}$$

Розрахунок відрахувань ЄСВ:

Відповідно до Закону від 24.12.2015 р. №909-УІІ, єдина ставка нарахувань становить 22%. Визначається процентом від суми основної і

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дата		97

додаткової заробітної плати виробничих робітників, а саме $15,42+1,54=16,96$ грн. Процентна ставка 22% і складає 3,73грн.

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування:

До витрат на утримання та експлуатацію устаткування відносять витрати на повне відновлення основних виробничих фондів та капітальний ремонт у вигляді амортизаційних відрахувань від вартості виробничого та підйомно-транспортного устаткування, цехового транспорту та інструментів із складу основних виробничих фондів на реконструкцію, модернізацію та капітальний ремонт фондів.

Величина витрат на утримання та експлуатацію устаткування визначається процентом від суми основної заробітної плати виробничих робітників. Розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічних тому витрати на утримання та експлуатацію устаткування будуть складати 80% від 15,42 грн, а саме 12,34 грн.

Розрахунок цехових витрат:

Величина цехових витрат визначається по цехам відсотком від суми основної заробітної плати і витрат на утримання та експлуатацію устаткування Розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічних тому цехові витрати будуть складати 50% від 15,42 грн, а саме 7,71 грн.

Розрахунок загальнозаводських витрат:

Величина загальнозаводських витрат визначається процентом від суми основної заробітної плати і витрат на утримання та експлуатацію устаткування. Розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічних приладів тому цехові витрати будуть складати 80% від $15,42+7,71=23,13$ грн, а саме 18,50 грн.

Розрахунок інших виробничих витрат:

Величина інших виробничих витрат визначається процентом від суми всіх попередніх статей (0,2-0,4%). Треба знайти 0,4% від $5,2+693,3+15,42+1,54+3,73+12,34+7,71+18,50=757,74$ грн. І це буде складати 3,03 грн.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дата		98

Розрахунок позавиробничих витрат:

Величина позавиробничих витрат визначається процентом від величини виробничої собівартості (2 - 4%). Треба знайти 4% від 757,74 грн. і це буде складати 30,31 грн.

Розрахунок ціни спроектованого приладу:

Ціну спроектованого приладу можна визначити за формулою:

$$Ц = C_{\text{повн}} + П \quad (1.1)$$

де $C_{\text{повн}}$ - повна собівартість виготовлення спроектованого приладу, а П - запланований прибуток. Прибутковість підприємства характеризується таким показником як рентабельність. Величину рентабельності можна визначити за формулою:

$$P = П / C_{\text{повн}} \quad (1.2)$$

Якщо прийняти величину рентабельності 20%, тоді:

$$П = P * C_{\text{повн}} = 0,2 * C_{\text{повн}} \quad (1.3)$$

Тоді ціну спроектованого приладу можна визначити за формулою.

$$Ц = C_{\text{повн}} + 0,2 * C_{\text{повн}} = 1,2 * C_{\text{повн}} \quad (1.4)$$

Якщо підприємство є платником податку на додану вартість (ставка ПДВ 20%), то вихідна ціна на спроектований прилад буде слідуючою:

$$Ц_{\text{вих}} = 1,2 * Ц \quad (1.5)$$

Розрахунок:

Згідно формули (1.4) ціна спроектованого приладу буде.

$$Ц = 1,2 * 757,74 = 909,3 \text{ грн}$$

Із врахуванням ПДВ згідно формули (1.5) вихідна ціна:

$$Ц_{\text{вих}} = 1,2 * 909,3 = 1091,15 \text{ грн.}$$

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Дрк.
Змн.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дата		99

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи було спроектовано електронну систему стеження. Були розглянуті аналоги об'єкту проектування на основі розгляду різних типів датчиків і виконуючих двигунів, які забезпечують виконання тієї чи іншої задачі, поставленої перед електронною системою стеження. Виходячи з цього було розроблено схему з найбільш кращими параметрами і характеристиками.

В конструкторсько-технологічному розділі розглянуто основні технологічні процеси виготовлення пристрою і розрахунок та конструкцію друкованої плати. В техніко-економічному розділі міститься розрахунок кошторесу витрат та економічної ефективності.

Також спроектована система суттєво відрізняється від прототипу та аналогів наявністю в схемі генератора пилкоподібної напруги та компаратора, що забезпечило збільшення точності виміру напруги розузгодження і вироблення керуючого сигналу.

Запропонована електронна система стеження проста у виготовленні, не потребує трудомісткого налагодження і володіє порівняно високими техніко-економічними показниками.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		100

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шекня В.Л. «Конспект лекций по курсу следящие системы. Выпуск 1», МЕИ, Москва 1966 р.
2. Потапов А.М. «Основы расчёта и проектирования линейных следящих систем. Учебное пособие. Часть 1», Ленинград, 1979 р.
3. В.Е. Мінін, Е.А. Жидакова, Б.С. Френкель «Линейны вычислительные устройства на основе операционного усилителя», Гомель, 2009 р.
4. Одеський Політехнічний Університет, Кафедра автоматики і управління у технічних системах, «Проектирование цифровой следащей системы методические указания к курсовой работе по курсу “Теория автоматического управления” для студентов специальности 7.091 401», Одеса, 1999 р.
5. Бесерський В.А. «Теоретические основы технической кибернетики. Цифровые автоматические системы», издательство «Наука», Москва, 1976 р.
6. <http://www.autexspb.da.ru>
7. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
8. http://novotechnik.ru/contelec/contelec_corner/novo_contelec_corner_pd
9. Копилов И.П., Колокова Б.К., «Справочник по электрическим машинам в двух томах. Том 2», Москва, Энергоатомиздат, 1989, 688с.
10. www.ti.com
11. http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?familyId=275&family=logic&uiTemplateId=SZVI_T
12. www.alfarzpp.lv
13. І.І. Четвертакова, В.М. Терехова, «Справочник. Резисторы», Москва, «Радио и связь» 1991 р.

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		101

14. Зайцев Г.Ф. «Теория автоматического управления и регулирования», Киев, «Вища школа», 1998 р.
15. Б.М. Беляев «Современные методы проектирования следящих систем и регуляторов», Ленинград, Північно-Західний заочний інститут, 1985 р.
16. Б.Л. Перельман «Транзисторы для аппаратуры широкого применения», Москва, «Радио и связь», 1981 р.
17. <http://electricalschool.info/main/drugoe/458-potenciometriche-datchiki.html>

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Студента (-ки) ____ курсу
спеціальності _____

(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, _____
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) _____
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на
тему: _____
виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

Дата

Підпис



Ім'я користувача:
приховано налаштуваннями конфіденційності

Дата перевірки:
13.12.2021 11:39:03 EET

Дата звіту:
13.12.2021 11:52:10 EET

ID перевірки:
1009659922

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100006217

Назва документа: KMR-YuriBendzo-1

Кількість сторінок: 27 Кількість слів: 3366 Кількість символів: 21908 Розмір файлу: 3.29 MB ID файлу: 1009659859

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

7.34%
Схожість

Найбільша схожість: 5.53% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1000053739)

1.31% Джерела з Інтернету 7

Сторінка 29

6.3% Джерела з Бібліотеки 52

Сторінка 29

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Замінені символи 61

Підозріле форматування 14 сторінок

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіт

Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
	<i>Конденсатори</i>		
C1,C2	К-73-17 100В 3,5 пФ ОЖО.461.104ТУ	2	
C3,C4	К-73-17 100В 56 пФ ОЖО.461.104ТУ	2	
	<i>Резистори</i>		
R1,R2,R5, R6,R10, R11	МЛТ-0,125 1 кОм ±10%ОЖО.467.180ТУ	6	
R7,R9,R18, R20	МЛТ-0,5 4 кОм ±10%ОЖО.467.180ТУ	4	
R8,R19	МЛТ-0,5 1,5 кОм ±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
R12,R16	МЛТ-0,5 30 Ом ±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
R13,R17	МЛТ-0,5 440 Ом ±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
R14,R15	МЛТ-0,125 330кОм±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
	<i>Потенціометри</i>		
R3,R4	PD-84-10 кОм ±10%, CONTELEC	2	
	<i>Діоди</i>		
VD1- VD7,VD9	Д223А ГОСТ 14343-69	8	
VD8	КС139А СМЗ.362.812 ТУ	1	
	<i>Транзистори</i>		
VT1,VT6	КТ315А ААО.336.131 ТУ	2	
VT2,VT4	КТ816Б ААО.336.186 ТУ	2	
VT3,VT5	КТ817Б ААО.336.187 ТУ	2	
	<i>Мікросхеми</i>		
DD1	SN74LS00, Texas Instrument	1	

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЕЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електронна система стеження Перелік елементів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Юрій Бендзо</i>					<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тарас Заяць</i>						
<i>Керівн.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затв.</i>		<i>Тарас Заяць</i>				УжНУ, ІТФ, гр. ЕС		

Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
DD2-DD4	SN74LS93, Texas Instrument	3	
DD5	572ПА1 БК0.347.182 ТУ	1	
DA1-DA3	К553УД2 БК0.348.260-02 ТУ	3	
	<i>Електродвигун</i>		
М1	ДПМ-20-Н1 ОСТ 16.0.515.022-76	1	
	<i>Роз'єми</i>		
X1	MPW-4 (DS1074-4 М)	1	
X2	MPW-2 (DS1074-2 М)	1	

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЕЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		2

Форма т	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	К-ст ь	Примітк и
				Документація		
A1			МКР.ЕС.20055033.01.000 Е1	Схема електрична структурна	1	
A1			МКР.ЕС.20055033.01.000 Е3	Схема електрична принципова	1	
A1			МКР.ЕС.20055033.01.000 Е4	Схема електрична складальна	1	
A1			МКР.ЕС.20055033.01.000 ПЕЗ	Схема друкованої плати	1	
A4			МКР.ЕС.20055033.01.000	Специфікація	1	
A4			МКР.ЕС.20055033.01.000. ПЕЗ	Перелік елементів	1	
A4			МКР.ЕС.20055033.01.000. ПЗ	Пояснювальна записка	1	
				Резистори		
		1	R1,R2,R5,R6,R10,R11	МЛТ-0,125 1 кОм ±10%ОЖО.467.180ТУ	6	
		2	R7,R9,R18,R20	МЛТ-0,5 4 кОм ±10%ОЖО.467.180ТУ	4	
		3	R8,R19	МЛТ-0,5 1,5 кОм ±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
		4	R12,R16	МЛТ-0,5 30 Ом ±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
		5	R13,R17	МЛТ-0,5 440 Ом ±10%ОЖО.467.180ТУ	2	
		6	R14,R15	МЛТ-0,125 330кОм±10%ОЖО.467.180 ТУ	2	
				Потенціометри		
		7	R3,R4	PD-84-10 кОм ±10%, CONTELEC	2	
				Діоди		
		8	VD1-VD7,VD9	Д223А ГОСТ 14343-69	8	
		9	VD8	КС139А СМЗ.362.812 ТУ	1	
				Транзистори		
		10	VT1,VT6	КТ315А ААО.336.131 ТУ	2	
		11	VT2,VT4	КТ816Б ААО.336.186 ТУ	2	
		12	VT3,VT5	КТ817Б ААО.336.187 ТУ	2	
				Конденсатори		
		13	C1,C2	К-73-17 100В 3,5 пФ ОЖО.461.104ТУ	2	

					МКР.ЕС.20055033.000.ПЕЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Юрій БЕНЗО			Електронна система стеження Специфікація	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Тарас ЗАЯЦЬ					1	2
<i>Керівн.</i>						УжНУ, ІТФ, гр. ЕС		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затв.</i>		Тарас ЗАЯЦЬ						

