8:30-9:50 від 2.09.21р.

### Лабораторна робота № 1

# ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТЗА

**Мета роботи** – ознайомитись з основами теорії, принципом дії лінійного потенціометричного перетворювача і сучасними конструкціями дротових потенціометрів типу ПТП-5.

### Теоретичні відомості

Потенціометри широко застосовуються у різних системах автоматики, у лічильно-вирішуючих пристроях і слідкуючих системах приводу. Здебільшого вони служать для перетворення лінійних і кутових переміщень у відповідні величини напруги і використовуються як дільники напруги. У лічильно-вирішуючих пристроях ці перетворювачі використовуються для виконання різних математичних операцій.

Потенціометри характеризуються наступними параметрами:

1. **Загальний опір.** Загальний омічний опір типових дротових потенціометрів залежить від їхніх габаритних розмірів, марки і матеріалу дроту. Неточні, або підгоночні, потенціометри мають опір 5...20000 Ом, потенціометри підвищеної точності, як правило, мають загальний опір у 500...50000 Ом і рідше 100...10000 Ом, в окремих випадках – до 1000000 Ом. Розміри дротових потенціометрів залежать від загального опору, заданого значення лінійності і номінальної потужності розсіювання. Зовнішній діаметр корпусу кільцевих потенціометрів звичайно 10...80 мм, в окремих випадках він може досягати 450 мм.

2. **Закон зміни опору.** При переміщення струмоз’ємного движка по резистивному елементі потенціометрі, а залежності від його конструкції вихідна напруга змінюється по якому-небудь заданому законі: лінійному, логарифмічному, синусно-косинусному і т.п. Найчастіше в схемах автоматики і в обчислювальних пристроїв застосовують потенціометри з лінійною залежністю. Промислове виробництво їх складає 60% від загального числа виготовлених потенціометрів.

3. **Лінійність.** В ідеальному випадку лінійний потенціометр повинен мати постійну величину зміни вихідної напруги при рівних переміщеннях движка. У дійсності цього ніколи не відбувається, тобто рівні по величині переміщення движка викликають неоднакові збільшення вихідної напруги. Відхилення вихідної напруги для будь-якої крапки обмотки від прямої лінії графіка "переміщення движка – вихідна напруга" називають відхиленням від лінійності, чи не лінійністю.

4. **Допуск на загальний опір.** Обмотку потенціометра виготовляють із визначеним допуском за значенням омічного опору. Для потенціометрів широкого застосування допуск складає 5...1 % номінального значення опору, а для потенціометрів підвищеної точності – 0,1...1 %. Припустиме відхилення загального опору високоточних прецизійних потенціометрів, що працюють в обчислювальних пристроях, не повинне перевищувати 0,1 % номінального

5. **Стабільність.** Опір потенціометра, протягом усього терміну служби, не повинен істотно змінюватися. Звичайно, допуск на стабільність, тобто величину зміни опору в часі, дорівнює допуску на загальний опір, в окремих випадках - на точність характеристики.

6. **Опір ізоляції обмотки щодо корпусу.** При нормальних умовах опір ізоляції повинен бути не менш 100 Ом.

7. **Потужність розсіювання.** Максимальна робоча потужність розсіювання залежить від припустимого нагрівання обмотки потенціометра. Номінальна потужність розсіювання потенціометрів лежить у межах 0,1. ..10 Вт, а в окремих випадках – 15...20 Вт.

8. **Робочий обертаючий момент** – зусилля, необхідне для початку пересування движка з будь-якої довільної крапки на контактній доріжці потенціометра. Обертаючий момент невеликих дротових потенціометрів загального застосування 5...36 мН⋅м, а багатообертових потенціометрів – 7...25, в окремих випадках 45 мН⋅м.

9. **Швидкість обертання.** Дротові потенціометри безвідмовно працюють тільки при швидкостях обертання 100...150 об/хв. При більш високих швидкостях через удари щітки движка об витки дроту контакт частково чи цілком порушується. Збільшуючи контактний тиск і, підвищуючи чистоту поверхні контактної доріжки, можна збільшити швидкість обертання.

10. **Термін служби** потенціометра залежить від властивостей матеріалів резистивного елемента і токозємного елемента движка, контактного тиску, умов експлуатації й інших факторів. Термін служби потенціометрів широкого застосування коливається від 10 тис. до декількох мільйонів циклів (тобто подвійних переміщень движка від одного кінця до іншого); потенціометрів, застосовуваних в обчислювальних пристроях, – 100...500 тис. циклів.

### Конструкції дротових потенціометрів

Дротові потенціометри, що одержали найбільше поширення, поділяються на одно обертові і багато обертові. Закон зміни опору потенціометрів можна задати трьома способами: використовуючи фігурний каркас, застосовуючи обмотку з перемінним кроком і електричним шунтуванням окремих ділянок обмотки.

Існує два способи компонування конструкцій потенціометрів;

- потенціометри, що застосовуються в радіотехнічній апаратурі й в обчислювальній техніці, являють собою окремий прилад з великою кількістю деталей, заточених у корпус із зовнішньою контактною групою;

- потенціометри, що використовуються в гіроскопічних приладах, в приладах точної механіки, як правило, складаються з двох основних конструктивних елементів: резистора (каркас з обмоткою) і рухливої контактної групи (движок). Резистивний елемент і движок монтуються в різних блоках і стикуються лише при загальній зборці самого виробу. Загальними елементами в обох групах є резистори й движок. Саме від них залежать надійність, точність відтворення функції і вся робота потенціометра.

### Одно обертові потенціометри

Потенціометри бувають із переміщенням движка:

* прямолінійним;
* кільцеві з обмежено-круговим;
* кільцеві з необмежено-круговим;
* плоскі з необмежено-круговим.

До першої групи відносяться потенціометри, резистор яких являє собою обмотку на каркасі з подовжньою віссю у виді прямої лінії (рис. 1). Рухливий контакт 2 (щітка) движка 3 такого потенціометра переміщається по контактній доріжці резистора 1. Другий рухливий контакт 5 сковзає по нерухомому струмозємному контакті 4. Повідомити движку точно задане прямолінійне переміщення конструктивно і технологічно складніше, ніж повідомити високоточне переміщення движку в кільцевих потенціометрах. Тому потенціометри з прямолінійним переміщенням движка застосовуються головним чином у випадках, коли вихідний елемент пристрою, що сполучається, переміщається прямолінійно.

Другу групу складають потенціометри, конструкція яких принципово не відрізняється від конструкції потенціометрів першої групи. Каркас резистора 2 (рис. 2) прямокутного перетину, із листового ізоляційного матеріалу, зігнутий в кільце. Рухливий контакт 1 (гілка) движка 5 сковзає по контактній доріжці резистора в межах обмеженого упорами кута звичайно кут складає 330°. За допомогою другого рухливого контакту 4 і нерухомого струмоз’ємного кільця 3, як і в потенціометрах першої групи, здійснюється зняття вихідної напруги.

До третьої групи відносяться потенціометри, що відрізняються від другої групи тим, що їхня конструкція передбачає необмежене переміщення движка в будь-яку сторону. Резистор такого потенціометра виконаний у виді суцільного кільця.

Четверту групу складають потенціометри, вихідна напруга яких змінюється по синусоїді. Резистори таких потенціометрів (рис. 3) намотуються на каркас 1 у виді плоского квадратного листа ізоляційного матеріалу. Вісь движка проходить крізь центр каркаса і при її обертанні рухливий контакт 2 переміщується по окружності. Вихідна напруга знімається з движка і середньої крапки обмотки. Неважко довести (зробити самостійно), що вихідна напруга  пропорційно синусу кута .

З високоточних потенціометрів найбільш поширені одно обертові пластинчасті й особливо кільцеві потенціометри (досліджується у даній роботі). Вони мають підвищену точність завдяки: поліпшеній технології виготовлення деталей, використанню коригуючих пристроїв, у також намотуванні резистора на спеціальних верстатах з автоматичною корекцією по лінійності. Одно обертові потенціометри можуть бути виконані не тільки одинарними, але й у виді блоків з одинарних потенціометрів у будь-якому їх сполученні - здвоєними, строєними, зчетвереними. Момент трогання потенціометрів у залежності від їх конструкції знаходиться в межах 0,3...11 мН⋅м.



Рис. 1. Потенціометр із прямолінійним переміщенням движка

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 2. Потенціометр з круговим переміщенням движка | Рис. 3. Плоский синусний потенціометр |

### Багато обертові потенціометри

В останні роки у зв'язку з підвищенням вимог до потенціометрів, особливо до їх надійності, були створені багато обертові потенціометри, що характеризуються великою роздільною здатністю. Каркасом резистора (рис. 4) у таких потенціометрів служить мідний провід 6 діаметром 1...2.мм, звитий у спіраль з 3, 5, 10, 15, 20, 25 і 40 витками. Обмотку резистора здійснюють голим (неізольованим) дротом 5. Необхідний закон зміни опору забезпечується завдяки перемінному кроку обмотки. Конструкція багато обертових потенціометрів ускладнюється тим, що движку необхідно забезпечити можливість не тільки обертання, але й одночасно поступального переміщення вздовж осі потенціометра. Очевидно, за один оберт, щітка 1 потенціометра повинна переміститися вздовж осі на величину, рівну кроку спірального каркаса резистора. Такий складний рух здійснюється за допомогою нерухомої гвинтової направляючої 3, відомої гайки 4 і повідка 2.

Вихідна напруга знімається з потенціометра за допомогою пари токозємних контактів, рухливого 9 і нерухомого 8. Пружина 7, виготовлена з матеріалу, що добре проводить струм, забезпечує надійне електричне з'єднання щітки 3 і контакту 8.

Перевагою багато обертових потенціометрів є невеликі габаритні розміри при високій роздільній здатності, (унаслідок великого числа витків резистора) і високої точності (застосування неізольованого дроту дозволяє контролювати опір безпосередньо у процесі намотування, а відмовлення від профільованого каркаса дозволяє автоматично контролювати його, змінюючи крок намотування). Точність багато обертових потенціометрів досягає сотих часток відсотка. Вони володіють ще і тією перевагою, що величина їхньої похибки обернено пропорційна числу витків. У той же час їхній момент обертання (20...50 мН⋅м) більший, а швидкість обертання менша, ніж в одно обертових потенціометрів. Якщо для введення аргументу на одно обертових потенціометрах потрібна швидкість обертання 1 об/с, то, щоб задати те ж значення 10-оборотному потенціометру, буде потрібно швидкість обертання 10 об/с, тобто 600 об/хв, що не завжди можливо. Тому багато обертові потенціометри можна застосовувати лише в пристроях, де потрібно мала швидкість і допускається великий момент обертання.



Рис. 4. Багато обертовий потенціометр

### Способи корекції характеристик потенціометрів

Практика виготовлення високоточних потенціометрів показує, що відхилення від заданої залежності між переміщенням движка та значенням опору, викликається похибками технологічного процесу, доходять до 0,2...0,5 % для лінійних і 0,5...2% для функціональних кільцевих дротових потенціометрів. Останнім часом розроблені різні способи компенсації помилок конструктивними методами, що дозволяє створювати потенціометри з точністю характеристик до 0,5 %. Найбільше поширення одержали радіальне профілювання каркаса, електричне профілювання шунтами, механізм з ламелями, кулісний механізм, механізм з профільованою мембраною, кулачковий механізм.

### Радіальне профілювання каркаса

На обмотці резистора (рис. 5) вимірюють і відзначають ділянки, електричний опір яких відповідає визначеним значенням кута повороту движка. Каркас 5 резистора такого потенціометра виготовляють трохи більше склянки 3, на якому він кріпиться. На склянку через рівні кутові проміжки наносяться контрольні мітки 4. При зборці потенціометра відзначені ділянки опору сполучають з відповідними їм контрольними мітками склянки, притискаючи каркас резистора сухарями 2. Таким образом одержують точне сполучення опору ділянок обмотки з заданими кутовими положеннями движка 1 у всіх контрольних точках. Описаний спосіб застосовується тільки для тонких каркасів діаметром 200...400 мм. Він не одержав широкого поширення, тому що число контрольних крапок не перевищує 8-12, а його збільшення приводить до росту габаритів потенціометрів.



Рис. 5. Радіальне профілювання каркаса

### Електричне профілювання

Сутність електричного профілювання полягає в тім, що опір 1 лінійного потенціометра поділяється на ряд секцій, шунтованих додатковими "зовнішніми" опорами 2 (рис. 6), значення і число яких визначаються необхідним законом зміни опору і вимогами до точності відтворення функції. Слід зазначити, що цей спосіб застосовується для побудови функціональних потенціометрів. Таким чином, за допомогою опорів-шунтів змінюється розподіл напруги по довжині ливарного потенціометра відповідно до заданого закону. У літературі описані методи розрахунків потенціометрів із шунтами. Зазначений спосіб застосовується для відтворення всіляких аналітичних і табличних функцій і дозволяє одержати дуже високу точність апроксимацій (0,01...0,02 %). Спосіб електричного профілювання складний і трудомісткий.



Рис. 6. Електричне профілювання

### Коригувальні механізми

Принцип дії всіх механізмів компенсації похибок полягає в тому, що їхня конструкція дає можливість повідомляти струмозємному контакту движка (щітці) додаткове переміщення. Величина і напрямок додаткового переміщення залежить від величини і знака помилки для конкретного (основного) переміщення щітки, викликаного поворотом осі движка. По способу задання додаткового переміщення коригувальні механізми бувають ламельні, мембранні і кулачкові.

**Ламельний механізм** (рис. 7) містить венцеподібну регулюючу доріжку, що складається з декількох десятків ламелей 5 (одна ламель на 10 градусів повороту движка). По лемелям переміщається ролик 4, закріплений на коромислі 3, на іншому кінці якого знаходиться щітка 2. Компенсацію похибок потенціометра здійснюють, вимірюючи помилку для конкретного фіксованого положення движка 1 і підгинаючи відповідну ламель у ту чи іншу сторону в залежності від величини і знака помилки. Ролик притиснутий до ламелей пружиною 6 і таким чином підгинання ламели викликає додаткове (компенсуюче) переміщення щітки. Ламельний механізм простий при настроюванні, але його регулювання не піддається механізації. Різновидом ламельного механізму є кулісний механізм, принцип дії якого ясний з рис. 8.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 7. Ламельний механізм | Рис. 8. Кулісний механізм |

**Мембранний механізм** – один з найбільш розповсюджених видів коригувальних пристроїв (рис. 9). Движок 2 вільно посаджений на вісь потенціометра і пружиною 8 до коромисла 7. На іншому кінці коромисла знаходиться ролик 6. Коромисло може обертатися на осі повідка 1, жорстко з'єднаного з віссю потенціометра. При обертанні осі ролик котиться по мембрані 4, і у випадку, якщо поверхня мембрани рівна, обертання осі цілком передається щітці, тобто кут повороту щітки дорівнює куту повороту осі. Компенсацію похибок потенціометра роблять, деформуючи мембрану регулювальними гвинтами 5. Накочуючись на бугри і западини мембрани ролик сприяє додатковому переміщенню щітки, відповідно до величини і знака помилки даного потенціометра.

Мембранний механізм має ряд істотних недоліків:

* помилки компенсуються не безупинно по всьому куту повороту осі потенціометра, а в окремих точках, між якими похибками залишаються не скомпенсованими;
* мембрани піддаються температурним деформаціям, що вносить додаткові похибки;
* механізми набудовуються тільки вручну.

**Кулачковий механізм** – пристрій, що дозволяє безупинну компенсацію похибок потенціометра у всьому діапазоні кутів повороту. Механізм влаштований у такий спосіб (рис. 10). По кулачку 4 кільцеві форми, жорстко укріпленому в корпусі, котиться ролик 5. Ролик з'єднаний з коромислом 2, на іншому кінці якого знаходиться щітка 3. Коромисло вільно повертається на осі повідця 1, жорстко з'єднаного з віссю потенціометра. Додаткове переміщення щітки для компенсації помилки досягається відповідною зміною радіуса-вектора кулачка, тобто формою кулачка. Кулачковий механізм дозволяє компенсувати похибки характеристики за всіма значеннями заданої функції й одержувати теоретично ідеальне відтворення цієї функції з точністю, обумовленою лише роздільною здатністю потенціометра. Кожен екземпляр кулачка повинний мати профіль, що відповідає умовам компенсації індивідуальних похибок того потенціометра, для якого він призначений.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 9. Мембранний механізм | Рис. 10. Кулачковий механізм |

Задача високопродуктивної автоматичної обробки форми кулачка відповідно до помилок конкретного "виправляючого" потенціометра, що виправляється за допомогою спеціального фрезерного верстата з електромеханічною слідкуючою системою. Автоматизація коректування обумовлює широке застосування механізму при масовому виробництві прецизійних потенціометрів, наприклад, серія ПТП київського заводу "Електроприлад" . Слід зазначити, що недоліки потенціометра з кулачковим механізмом випливають з його переваги. Так, при використанні потенціометра в складних системах іноді виникає необхідність у коректуванні характеристики, обумовленої властивостями системи. Потенціометри з кулачковим механізмом не дозволяють таке настроювання, і в цьому випадку незамінні потенціометри з ламельними чи мембранними механізмами.

### Матеріали дроту резистора і контактів

Вибір дроту для обмотки потенціометрів залежить від пропонованих до них вимог, тому для її виготовлення застосовують різні сплави: константан, ніхром, платина-іридій, платина-мідь, паладій-срібло, золото-нікель і ін. Матеріал дроту для обмотки потенціометрів повинен мати високий питомий опір, малий температурний коефіцієнт опору, стабільні властивості в часі, корозійну стійкість, високу якість ізоляції, велику міцність на розрив і малу розтяжимість. У приладобудуванні для намотування потенціометрів застосовують дріт діаметром 0,03...0,3 мм. Для обмотки потенціометрів середньої точності використовують константан чи ніхром, для найбільш відповідальних високоточних потенціометрів - сплави на основі шляхетних металів.

Рухливі контакти потенціометра повинні забезпечувати стабільне невелике за значенням перехідний опір між контактом і резистором, володіти високою зносостійкістю, одночасно не викликаючи значного зносу самого резистора. Важливо, щоб робоча поверхня рухливого контакту мала обмежену ширину, так як контакт, за звичай, перекриває кілька витків. Матеріал струмозємного контакту, як і матеріал резистора, повинний бути стійкий проти електричної ерозії і корозії, що приводить до порушення чи цілковитому припиненню електричного контакту. Точність і термін служби потенціометра в значній мірі залежать від матеріалу контакту. Для виготовлення рухливого контакту використовують платину, срібло, сплави: платина-іридій, паладій-іридій, паладій-срібло-кобальт, іноді бєрилева і фосфориста бронза.

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з основами теорії лінійних потенціометричних перетворювачів ТЗА.
2. Ознайомитися з конструкціями одно обертових і багато обертових потенціометрів.

### Вимоги до змісту звіту

Звіт повинний містити в собі:

1. основи теорії роботи лінійних потенціометричних перетворювачів ТЗА (стисло);
2. опис конструкцій одно обертових і багато обертових потенціометрів (стисло).