# Лекція 5. 19.09.22

**Потенціометричні перетворювачі ТЗА**

## Схеми ввімкнення ПП ТЗА

Найширше застосовуються схеми ввімкнення кільцевих ПП, зображені на рис. 3.9, а – г. Вони мають лінійну залежність приросту опору від переміщення за всім ходом щітки, тобто є лінійними (схема на рис. 3.9, г нелінійна в статичному режимі).

Схема на рис. 3.9, а називається схемою з виведенням середньої точки. Вона має деякі недоліки:

– на навантаженні падає напруга, яка знімається з середньої точки і з щітки;

– виведення середньої точки вносить додаткові технологічні труднощі під час виготовлення ПП.

Рис. 3.9. Схеми ввімкнення кільцевих ПП: а – з виведенням середньої точки; б – кільцева мостова схема; в – з штучною середньою точкою; г – обернена з штучною середньою точкою

Схему, показану на рис. 3.9, б, називають кільцевою мостовою схемою з чотирма змінними плечами.

Переваги цієї схеми:

– має чутливість удвічі вищу, ніж попередня схема;

– кут повороту (360°) більший, ніж у попередньої схеми.

Щоб уникнути перелічених недоліків схеми з виведенням середньої точки, використовують схему з штучною середньою точкою (рис. 3.9, в), яка не потребує реального струмовідведення від середньої точки ПП.

Зображена на рис. 3.9, г схема називається оберненою схемою зі штучною середньою точкою. Вона відрізняється від схеми, показаної на рис. 3.9, в, лише взаємною заміною місць подання до схеми живлення та вмикання навантаження.

Подібним чином виглядають схеми ввімкнення ПП з поступальним переміщенням повзунка.

Існує багато різновидів інших схем ввімкнення ПП.

## Рівняння статичної характеристики ПП ТЗА

Динамічні характеристики навантаженого ПП будуть відрізнятися від статичних характеристик за умови значних швидкостей переміщень движка лише в разі реактивного характеру опору навантаження, оскільки власний опір ПП чисто активний навіть на підвищених частотах.

Статичні характеристики ПП, які ввімкнені за схемами 3.9, а – в і працюють в умовах холостого ходу, являють собою лінійні залежності. Це визначається тим, що в даному разі ПП працює як ідеальний подільник напруги. Відступ від лінійної залежності зумовлений лише ступінчастістю характеристики для дротяних ПП та похибкою виготовлення.

Статична характеристика ПП, ввімкненого за схемою 3.9, г, нелінійна і в умовах холостого ходу.

В умовах, відмінних від режиму холостого ходу, характеристики ПП не є строго лінійними незалежно від схеми увімкнення, що пояснюється зміною значення вихідного опору схеми ПП залежно від положення движка.

Виведемо рівняння статичної характеристики навантаженого ПП, ввімкненого за схемою рис. 3.10, де Δ*R* – опір ділянки обмотки ПП між середньою точкою та щіткою; *R –* загальний опір ПП; *R*н – опір навантаження; *U –* напруга живлення; *U*н – вихідна напруга.

Щоб отримати статичну характеристику, потрібно знайти залежність напруги на навантаженні *U*н від приросту опору Δ*R* (або величини лінійного *х* чи кутового *α* переміщення движка) і параметрів схеми *R*, *R*н .

Скористаємося теоремою про еквівалентний генератор, згідно з якою лінійне електричне коло довільної складності для визначення струму в будь-якій з його віток можна замінити еквівалентним колом.

У даному разі напруга еквівалентного генератора дорівнює:





Рис. 3.10. До виведення рівняння статичної характеристики

Внутрішній опір еквівалентного генератора, відповідно до схеми, дорівнює:



де *R*е.г *–* опір еквівалентного генератора.

В даному випадку внутрішній опір джерела живлення схеми не враховується (в разі потреби його неважко врахувати).

Сила струму в опорі навантаження:



Напруга на опорі навантаження:



або



У здобутому виразі, який є рівнянням статичної характеристики ПП, перший множник являє собою рівняння характеристики ідеального подільника напруги, що відповідає холостому ходу ПП. Другий множник характеризує вплив опору навантаження на характеристику ПП і стає одиницею при , а практично при *R*/*R*н << 1.

Введемо такі позначення: *х –* вхідне переміщення ПП; *l* – загальна довжина обмотки ПП.

Оскільки для ПП з лінійним розподілом опору з точністю до сталого коефіцієнта *k* виконуються рівняння *x*=*k*Δ*R*, *l*=*kR,* то вираз статичної характеристики можна переписати у вигляді:



Аналогічно розглянутій схемі (див. рис. 3.10) можна скласти рівняння статичних характеристик для решти схем ввімкнення ПП.

Рівняння статичної характеристики ПП, ввімкненого за схемою, показаною на рис. 3.9, б, матиме вигляд:



за схемою на рис. 3.9, в:



за схемою на рис. 3,9, г:



Останнє рівняння при  матиме нелінійний характер.

## Похибки через нелінійність статичної характеристики ПП ТЗА

Абсолютна похибка, зумовлена нелінійністю характеристики навантаженого ПП, порівняно з характеристикою перетворювача в режимі холостого ходу виражається формулою:



Відносна похибка нелінійності



Як видно з формули, відносна похибка нелінійності дорівнюватиме нулю при *х/l*=0 і при *х/l*=1. Умова *х/l*=1 не може бути виконана, оскільки для даного ПП *.*

Неважко відшукати і максимальну відносну похибку нелінійності. Вона відповідатиме випадку *х*=0,5*l* або  (граничному відхиленню движка) і становитиме



Для прикладу визначимо, яким має бути відношення *R/R*н, щоб максимальне значення відносної похибки не перевищувало 1%. З останнього виразу маємо



Розв'язавши цю нерівність, дістанемо *R/R*н << 4/99*,* тобто опір ПП для даної схеми ввімкнення має становити трохи більше як 4% опору навантаження, щоб максимальне значення відносної похибки нелінійності не перевищувало 1%.

Вирази відносної похибки і відповідні їм максимальні та мінімальні значення можна отримати і для інших схем.

Так, для схеми на рис. 3.9, б:



Для схеми на рис. 3.9, в:



Для схеми, зображеної на рис. 3.9, г, існують більш складні вирази.

## Методи зменшення похибок нелінійності навантажених ПП

Усунути або зменшити похибки нелінійності ПП можна за допомогою таких методів:

1) Використати навантаження з досить великим опором порівняно з опором ПП. В разі роботи ПП на змінному струмі можна використовувати розв'язувальний трансформатор або катодний емітерний повторювач.

2) Раціонально вибрати схему ввімкнення.

3) Звужувати діапазон змінювання Δ*R/R* або *х/l.* При цьому не слід значно збільшувати довжину обмотки потенціометра за межі його робочого кута. Значення Δ*R/R* простіше знизити ввімкненням послідовно з ПП сталих опорів.

4) Оптимально добирати значення крутості характеристики ПП.

5) Застосовувати функціональні ПП з нелінійним розподілом опору вздовж каркаса.

6) Використовувати ексцентричне розміщення осі движка відносно осі каркаса. Цей метод можливий лише для порівняно невеликих кутових переміщень движка. На практиці він незручний і поширення не набув.

Суть четвертого методу полягає в тому, що за номінальне значення крутості характеристики береться не те її значення, яке відповідає характеристиці ідеального подільника, а деяке інше значення, при якому похибка нелінійності має в межах робочої ділянки різні знаки. Абсолютні значення похибок при цьому значно знижуються. Найвигідніше з точки зору мінімуму похибок нелінійності номінальне значення крутості характеристики легко вибрати графічно.

Метод можна пояснити графіком, зображеним на рис. 3.11, де 1 – нелінійна характеристика навантаженого ПП, яка відповідає схемі рис. 3.9, а; 2 – характеристика ідеального подільника напруги; 3 – деяка пряма, крутість якої взято за номінальне значення характеристики ПП. Як видно з рис. 3.11, крутість характеристики ПП є змінною через нелінійність характеристики. За цих умов номінальне (паспортне) значення крутості характеристики відповідає крутості деякої спрямленої характеристики, яка замінює реальну нелінійну характеристику.

Різниця між спрямленою та реальною характеристиками і становить похибку нелінійності. Як випливає з рис. 3.11, за номінальне значення крутості характеристики найкраще (з точки зору зменшення похибки) брати не крутість характеристики холостого ходу (пряма 2), а крутість деякої іншої прямої (пряма 3). При цьому похибка нелінійності, яка визначатиметься різницею ординат прямої 3 і характеристики ПП (показана штриховкою), зменшується. Величину нахилу прямої 3 неважко підібрати для будь-якого відомого опору навантаження безпосередньо за графіком, виходячи з мінімуму похибки нелінійності або з бажаного характеру зміни цієї похибки. Ту саму задачу можна розв'язати і аналітичне з меншою наочністю, але з більшою точністю.



Рис. 3.11. Графіки змінювання статичної характеристики ПП

## Контрольні питання

1. Потенціометричний перетворювач (ПП) ТЗА. Чутливість ПП.
2. Основні конструктивні різновиди потенціометричних перетворювачів ТЗА. Класифікація ПП. Способи компоновки ПП.
3. Розрахунок лінійних потенціометричних перетворювачів. Чутливість ПП.
4. Статична характеристика потенціометричного перетворювача. Похибки не лінійності потенціометричних перетворювачів. Методи усунення похибок не лінійності.
5. Визначення температурних і початкових напруг, виникаючих у потенціометричних перетворювачах. Визначення зносу щітки.
6. Синусно-косинусні потенціометричні перетворювачі.
7. Різновиди ПП. Переваги та недоліки. Застосування.
8. Схеми включення потенціометричних перетворювачів. Переваги і недоліки.
9. Основні характеристики потенціометричних перетворювачів.
10. Основні конструктивні різновиди потенціометричних перетворювачів у залежності від способу переміщення повзуна. Приклади.
11. Метод розрахунку функціонального потенціометричного перетворювача з шунтуючими опорами. Розрахунок.
12. Функціональні потенціометричні перетворювачі. Визначення. Застосування. Способи здійснення функціональної залежності.
13. Розрахунок функціонального потенціометричного перетворювача зі змінною довжиною витка за рахунок змінного периметра поперечного перерізу каркасу.