# Лекція 10

# Розділ 5. ПЕРЕТВОРЮВАЧІ КОНТАКТНОГО ОПОРУ (ПКО)

## 5.1. Загальна характеристика ПКО

Перетворювачі контактного опору належать до групи перетворювачів активного опору.

Вони грунтуються на залежності перехідного опору *R* контактів від зусилля їх стиску.

Конструктивно ПКО виконують у вигляді стовпчиків, набраних з вугільних або з графітових дисків або шайб (рис. 5.1), тому їх інколи називають вугільними або графітовими перетворювачами.

ПКО застосовують у приладах для вимірювання вібрацій і змінних тисків, у вимірювальних пристроях деяких типів регуляторів напруги та частоти обертання електродвигунів, як вугільні мікрофони для перетворення звукових коливань у електричні.

До числа безперечних переваг ПКО належать такі: досить висока чутливість до переміщення; дешевизна і простота конструкції; висока потужність вихідного сигналу.



Рис. 5.1. Конструкція перетворювача контактного опору

Перетворювачі контактного опору мають і деякі недоліки: залежність опору від температури та вологості навколишнього середовища; нелінійна залежність між деформацією та опором перетворювача, яка характеризується петлею гістерезису (1–2%); погана відтворюваність характеристик перетворювача від зразка до зразка.

Характеристика таких перетворювачів визначається співвідношенням



де *R –* перехідний опір ПКО, Ом; *п –* число дисків або шайб ПКО; *S*ш=(π/4)⋅(*D*2-*d*2) – площа шайби, см2; *D, d –* зовнішній та внутрішній діаметри шайби, см; *ρ –*питомий опір матеріалу (наприклад, для електродного вугілля *ρ*=(3–10/10-3 Ом⋅см); *δ –* товщина шайби (звичайно *δ*=0,05...0,35 см); *k* – сталий коефіцієнт, зумовлений якістю поверхні контактних шайб (визначається експериментально), Ом⋅кг⋅см2; *F –* зусилля стиску, кг.

Розміри стовпчика вибирають з умови тепловіддачі



де *I* –допустимий струм, який для ПКС становить [51] 0,2 А; μ=(1,12–1,5/10-3 Вт/(см2⋅К) – коефіцієнт тепловіддачі; *S*б=*πD*пб – площа бічної поверхні ПКО, см2; *t*max – максимальна допустима робоча температура ПКО (звичайно 180...230°С); *t*нmax – максимальна температура навколишнього середовища.

На рис. 5.2 показано диференціальну схему вмикання перетворювача контактного опору.



Рис. 5.2. Диференціальна схема вмикання перетворювача   
контактного опору

Початкове зусилля *F*0*,* що стискує вугільні стовпчики, вибирають набагато більшим за максимальне значення сили *F,* створюваної сприймаючим елементом. З її появою опір одного з перетворювачів зменшується, а другого збільшується, і на виході виникає напруга *U*вих знак якої залежить від знаку сили *F.*

Нехай опір перетворювача за наявності початкового стиску



де *R*0 *–* опір при початковому стиску.

Тоді напруга на виході диференціальної схеми



або



Позначивши відносне зусилля *F/F*0 через *α*, дістанемо



Тобто



Вважаючи, що деформація пропорційна до сили, робимо висновок: величина *α* дорівнює також відносному переміщенню, а саме відношенню переміщення до зміни переміщення *x*0*,* спричиненого силою *F*0*.*

Визначимо чутливість схеми вмикання ПКО до переміщень (деформацій):



Перепишемо здобутий вираз для *kx*, врахувавши, що *α* << 1:



Коефіцієнт підсилення *kx* (або чутливість схеми до переміщення) має максимум при *R/R*0*=*1, тобто коли досягається рівність опору навантаження початковому опору ПКО. Максимальна чутливість до переміщень



Оскільки початкові переміщення *x*0 звичайно не перевищують часток міліметра, тобто малі, чутливість ПКО до переміщення досить велика і багаторазово перевищує чутливість до переміщення дротяних потенціометричних перетворювачів [16, 17, 51].

Визначимо чутливість схеми вмикання ПКО до умов вимірювань:



Аналогічно розглянутому дістанемо, що чутливість до зусиль не перевищує



Враховуючи, що початкові зусилля стиску вугільних стовпчиків досягають кількох десятків кілограмів, тобто значні, очевидно, що чутливість ПКО до зусиль мала.

Основна перевага ПКО, що зумовила їх застосування, – значна потужність вихідного сигналу. Наприклад, вугільні перетворювачі авіаційних регуляторів напруги з повітряним охолодженням допускають розсіювання потужності порядку 100…200 Вт. Такий самий порядок має потужність, що виділяється у навантаженні цих перетворювачів.

## 5.2. Приклад практичного застосування ПКО

Як приклад конкретного промислового використання ПКО розглянемо застосування його в регуляторі напруги РН-180 2-ї серії, призначеному для автоматичного підтримання в заданих межах напруги генераторів постійного струму СТГ-18ТМ і ГС-24А під час змінювання їх навантаження і частоти обертання якоря в робочому діапазоні [18].

На рис. 5.3 показано схему роботи регулятора напруги, де *F*ем *–* сила електромагніту; *F*ст *–* сила реакції вугільного стовпчика; *F*пруж – сила пружини якоря; 1 – вугільний стовпчик, набраний з шайб; 2– пружина мембранного типу; 3 – якір електромагніту, жорстко зв'язаний з пружиною; 4 – осердя електромагніту; 5 – робоча обмотка електромагніту регулятора.



Рис. 5.3. Схема роботи вугільного регулятора напруги

На якір електромагніту діє три сили: сила електромагніту *F*ем, сила реакції вугільного стовпчика *F*ст і сила пружини якоря *F*пруж. Коли алгебраїчна сума сил, що діють на якір, дорівнює нулю,   
*F*ем=*F*ст – *F*пруж, якір перебуває в стані спокою і опір вугільного стовпчика не змінюється.

З підвищенням напруги генератора збільшується струм у робочій обмотці регулятора і, отже, зростає сила електромагніту. Рівновага сил, що діють на якір електромагніту, порушується, і якір переміщується в напрямі електромагніту. При цьому тиск на вугільний стовпчик зменшується, і його опір зростає, що спричинює зменшення струму збудження генератора і зниження напруги до рівня, близького до заданого.

У разі зниження напруги генератора нижче встановленого рівня сила електромагніту зменшується, рівновага сил порушується, і якір відходить від електромагніту. При цьому тиск на вугільний стовпчик зростає і його опір зменшується. У результаті струм збудження генератора збільшується, напруга генератора зростає до заданого рівня, після чого переміщення якоря припиняється.

У новому положенні якір регулятора перебуває в рівновазі, але величини сил, що діють на нього, не змінилися, і зусилля пружини якоря зменшилося за рахунок її прогину, а зусилля електромагніту зменшилося за рахунок збільшення повітряного зазору.

Характеристики електромагніту і пружини якоря вибрані так, що невелика зміна напруги на робочій обмотці регулятора спричиняє зміну опору вугільного стовпчика, яка потрібна для підтримання напруги генератора на заданому рівні.

## 5.3. Контрольні питання до розділу 5

1. Перетворювачі контактного опору. Конструкція. Принцип дії. Переваги і недоліки. Застосування. Схема підключення.
2. Основні етапи роботи КП. Матеріали.
3. Чутливість ПКО до впливу сил, переміщень
4. Диференціальна схема включення перетворювачів контактного опору.
5. Приклади застосування ПКО.