



**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

В.Ш. Хісматулін

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

**МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ**

Харків 2007

УДК 62-50 (075-8)

ББК 32. 965

Хісматулін В.Ш. Теорія автоматичного керування: Методичний посібник до розрахунково-графічних робіт. –Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 53 с.

У методичному посібнику наведені варіанти завдань, методичні рекомендації та довідковий матеріал до розрахунково-графічних робіт "Рівняння та частотні характеристики лінійних стаціонарних систем автоматичного керування" та "Аналіз стійкості і якості в перехідному режимі лінійної стаціонарної САК частотними методами" з дисципліни "Теорія автоматичного керування".

Посібник призначений для студентів денної форми навчання за напрямом 0925 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології", спеціальність 092507 "Автоматика і автоматизація на транспорті".

Лл. 20, табл.6, бібліогр.: 6 назв.

Методичний посібник розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри "Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів" 8 лютого 2007 р., протокол № 6.

Рецензент

доц. С.В. Кошевий

В.Ш. Хісматулін

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ

Відповідальний за випуск Хісматулін В.Ш.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 13.01.07 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,25. Обл.-вид.арк. 3,5.

Замовлення № Тираж 150 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейербаха, 7

В.Ш. Хісатулін

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

**МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ**

Харків 2007

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Мета роботи

Вивчення принципу дії та основних схем увімкнення магнітних підсилювачів, дослідження їх основних характеристик.

Теоретичні відомості

Магнітні підсилювачі (МП) одержали широке розповсюдження в пристроях автоматики внаслідок ряду позитивних властивостей: простота виготовлення, висока надійність, висока чутливість до сигналів керування, значний коефіцієнт підсилення завдяки застосуванню позитивного зворотного зв'язку, можливість роботи у релейному режимі та здатність виконувати комутацію електричних кіл без їх розриву, велика вихідна потужність.

Магнітний підсилювач – це підсилювач потужності, у якому при впливі на вході слабкого сигналу керування постійного струму I_y на виході (у навантаженні Z_n) наділяється посилений сигнал змінного струму I_n . Функціональна схема МП наведена на рисунку 3.1.

Найпростіший дросельний МП складається з замкнутого феромагнітного осердя, на якому намотана робоча обмотка змінного струму W_p , у коло якої включене навантаження Z_n , і обмотка керування постійного струму W_y . Найпростіша схема МП дросельного типу наведена на рисунку 3.2.

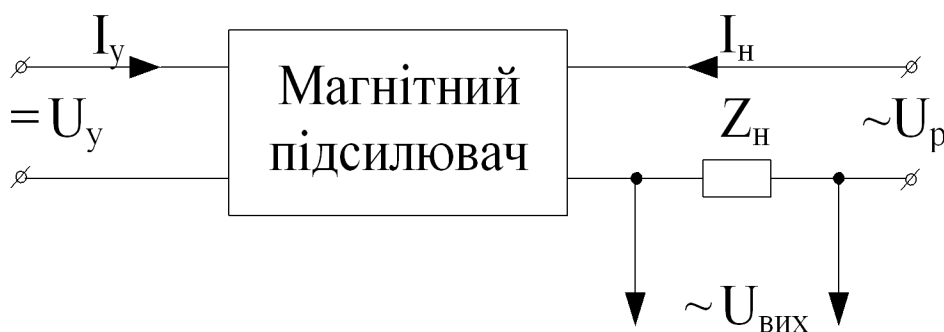


Рисунок 3.1 – Функціональна схема магнітного підсилювача

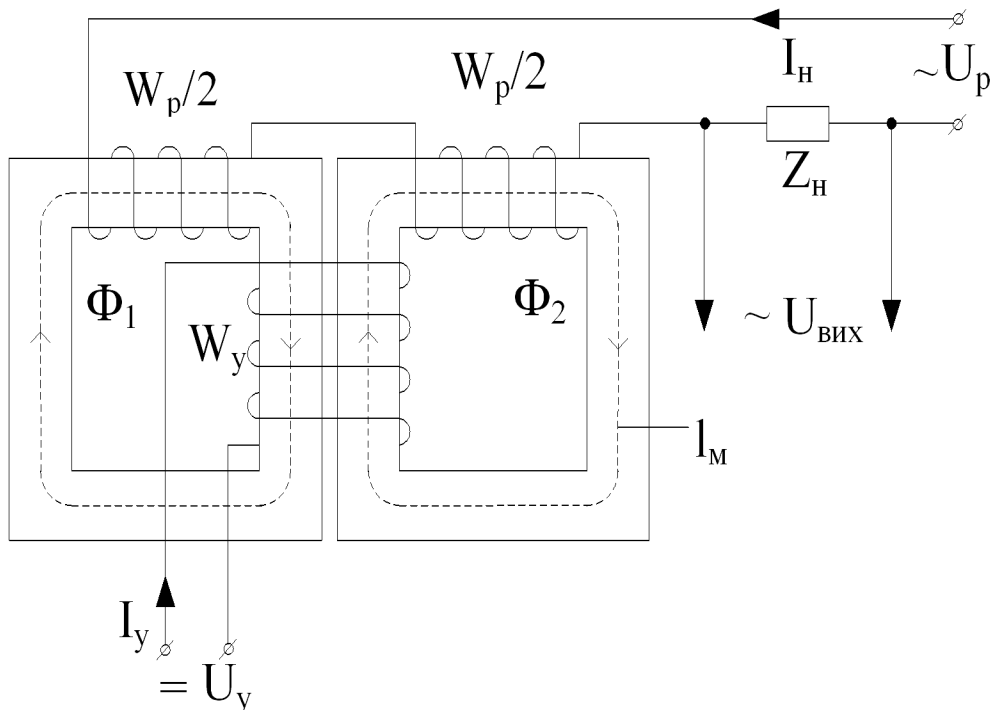


Рисунок 3.2 – Схема магнітного підсилювача дросельного типу

Магнітопровід МП звичайно складається з двох осердь. Обмотка керування охоплює обидва осердя, а робоча обмотка розділяється на дві частини з рівною кількістю витків $w_p/2$ і розміщується однаково на обох осердях. Таке розташування обмоток усуває трансформаторний зв'язок між обмотками. Зокрема електрорушійні сили e_1 і e_2 , що наводяться в обмотці керування від магнітних потоків Φ_1 і Φ_2 , викликаних струмом I_n робочих півобмоток, рівні по величині, протилежні за знаком і взаємно компенсуються.

Принцип дії магнітного підсилювача заснований на тому, що при зміні підмагнічувального струму I_y змінюється магнітна проникність μ феромагнітного матеріалу осердя.

Залежність магнітної індукції B від напруженості магнітного поля H_y для феромагнітного матеріалу осердя МП наведена на рисунку 3.3, а часові діаграми, що пояснюють принцип дії МП, – на рисунку 3.4.

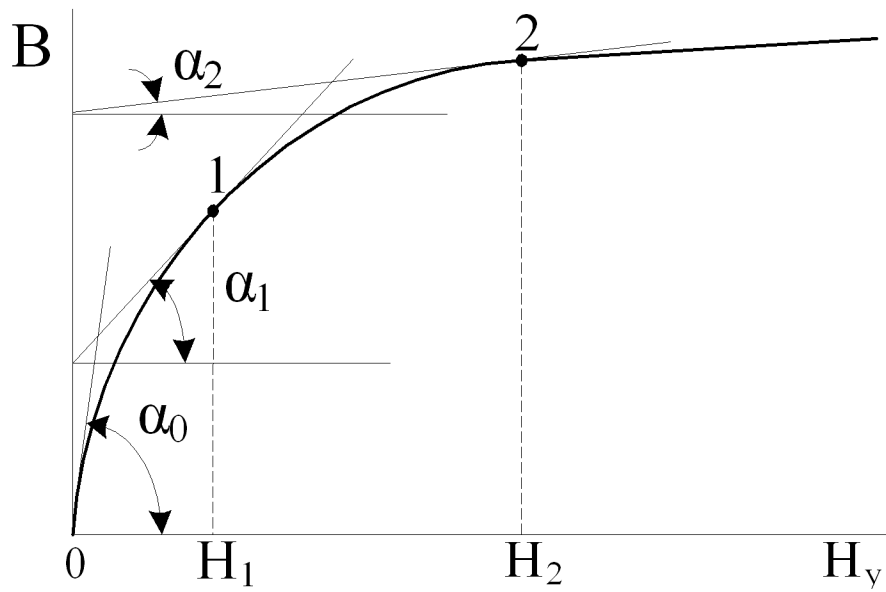


Рисунок 3.3 – Крива намагнічування осердя магнітного підсилювача

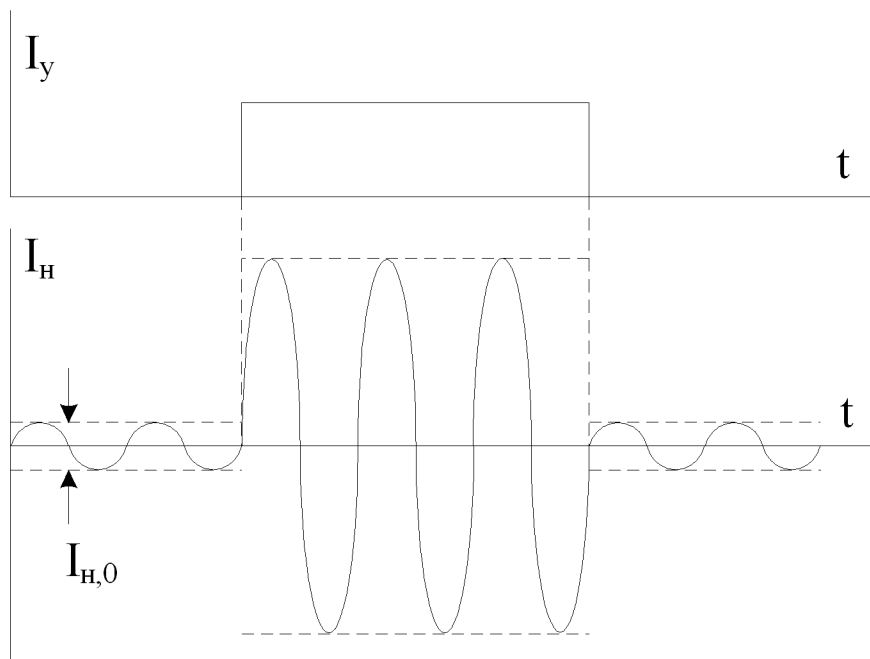


Рисунок 3.4 – Часова діаграма магнітного підсилювача

З наведеної залежності (рисунок 3.3) видно, що магнітна проникність $\mu = dB/dH$ геометрично визначається тангенсом кута нахилу α дотичної до кривої в даній точці з віссю абсцис. При $I_y = 0$ ($H_y = 0$) і $\alpha \approx 90^\circ$ осердя має велику магнітну проникність $\mu = \mu_{\max}$. Індуктивність робочої обмотки МП визначається за формулою

$$L_p = \mu \frac{w_p^2 \cdot S}{l_m}, \quad (3.1)$$

де S – площа поперечного перетину осердя;

l_m – середня довжина силової лінії для магнітного потоку Φ .

Отже, при відсутності струму керування індуктивність робочої обмотки $L_p = L_{p,\max}$, а струм навантаження мінімальний $I_{n,\min} = I_{n,o}$, який можна обчислити з виразу

$$I_{n,o} = \frac{U_p}{Z_n + Z_{p,\max}}, \quad (3.2)$$

де $Z_{p,\max} \approx \omega \cdot L_{p,\max}$ – індуктивний опір робочої обмотки (величиною активного опору робочої обмотки у більшості випадків нехтують).

При наявності сигналу управління U_y в обмотці управління з'являється струм I_y , який, відповідно до закону повного струму $H_y \cdot l_m = I_y \cdot w_y$, створює в магнітопроводі МП напруженість магнітного поля H_y . При цьому робоча точка на характеристиці (рисунок 3.3) залежно від величини I_y переміщується в точку 1 або 2; зменшується магнітна проникність і індуктивність робочої обмотки; зменшується індуктивний опір і зростає робочий струм (рисунок 3.4). Максимальний робочий струм у МП досягається при насиченні осердя. При цьому величина робочого струму або струму навантаження I_n визначається практично значенням опору навантаження Z_n . Такий режим використовується в ключових схемах при роботі МП від імпульсних сигналів. При підсиленні сигналів складної форми в МП виникають значні спотворення через нелінійність характеристики намагнічування осердя.

При активному навантаженні $Z_n = R_n$ діюче значення робочого струму розраховується за формулою

$$I_n = \frac{U_p}{\sqrt{R_n^2 + (\omega L)^2}}; \quad (3.3)$$

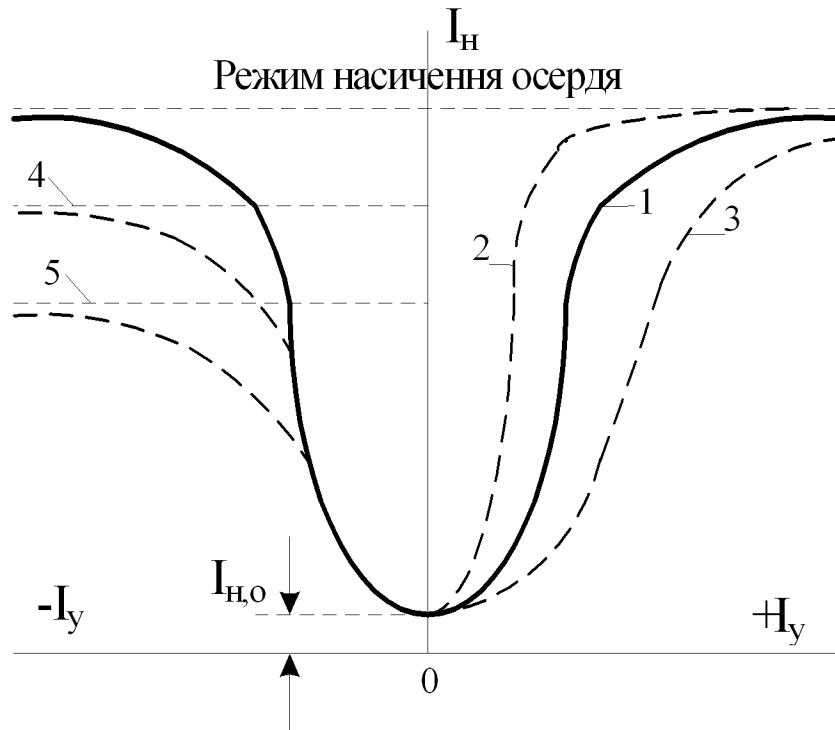
(активна складова опору робочої обмотки R_L у більшості випадків значно менша R_n і нею нехтують).

Залежність величини робочого струму від величини струму керування називається навантажувальною або статичною характеристикою МП $I_n = f(I_y)$. Коефіцієнт підсилення струму на відносно лінійній ділянці статичної характеристики дорівнює $K_n = I_n / I_y$. Враховуючи, що в МП напруженості H_y і H_p приблизно рівні ($H_y \cong H_p$), із закону повного струму коефіцієнт підсилення МП визначається як $K_n = w_y / w_p$.

Вигляд навантажувальної (статичної) характеристики $I_n = f(I_y)$ наведений на рисунку 3.5 і визначається характеристикою намагнічування осердя, коефіцієнтом підсилення (криві 1-3), опором робочої обмотки, опором навантаження (криві 1, 4, 5) і напругою джерела живлення. Навантажувальна характеристика і коефіцієнт підсилення можуть бути змінені за рахунок зворотного зв'язку або зміщення робочої точки на характеристиці намагнічування осердя.

Негативний зворотний зв'язок (НЗЗ) зменшує коефіцієнт підсилення, нелінійні спотворення і збільшує величину струму керування, при якій відбувається насичення осердя.

Позитивний зворотний зв'язок (ПЗЗ) збільшує коефіцієнт підсилення і нелінійні спотворення. Насичення осердя настає при меншому значенні струму керування. Навантажувальна (статична) характеристика МП з ПЗЗ зрушується вліво з поворотом проти годинникової стрілки, що збільшує крутизну характеристики. Кут повороту кривої та її крутизна тим більші, чим більше коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку $K_{ПЗЗ}$. При $K_{ПЗЗ} > 1$ магнітний підсилювач працює в релейному режимі і може використовуватися як безконтактне реле.



1 – базова, 2 – при $K_{п,2} > K_{п,1}$, 3 – при $K_{п,3} < K_{п,1}$, 4 – при $R_{н,4} < R_{н,1}$,
5 – при $R_{н,5} < R_{н,4}$

Рисунок 3.5 – Навантажувальні характеристики

Конструктивно зворотний зв'язок (33) у МП реалізується як внутрішній, з використанням випрямних елементів, і зовнішній, з використанням додаткової обмотки ЗЗ $W_{ЗЗ}$. У МП, як і в підсилювачах інших видів, при ПЗЗ вхідний сигнал I_y додається до сигналу, що надійшов на вхід підсилювача з кола ЗЗ $I_n \cdot K_{ПЗЗ}$. Тому для МП можна записати

$$I_n = I_y \cdot K_n + I_n \cdot K_{ПЗЗ} \cdot K_n, \quad (3.4)$$

звідки отримаємо

$$I_n = I_y \cdot K_n / (1 - K_{ПЗЗ} \cdot K_n). \quad (3.5)$$

Отже, коефіцієнт підсилення МП з ПЗЗ буде дорівнювати

$$K_{ПЗЗ} = K_n / (1 - K_{ПЗЗ} \cdot K_n), \quad (3.6)$$

де $K_{ПЗЗ} = W_{ПЗЗ} / W_p$ – коефіцієнт ПЗЗ;

$K_n = I_n / I_y = W_y / W_p$ – коефіцієнт підсилення магнітного підсилювача без ЗЗ;

$W_{ПЗЗ}$ – кількість витків обмотки ПЗЗ.

При НЗЗ коефіцієнт підсилення дорівнюватиме

$$K_{НЗЗ} = K_n / (1 + K_{НЗЗ} \cdot K_n). \quad (3.7)$$

При ПЗЗ полярність сигналу керування в обмотці W_y і сигналу ЗЗ в обмотці $W_{ЗЗ}$ однакова (узгоджена), а при НЗЗ – зустрічна.

При ПЗЗ, коли $K_n \cdot K_{ПЗЗ} = 1$, у МП виникає нестійкий режим ($K_{ПЗЗ} \rightarrow \infty$). Це означає, що струм навантаження змінюється стрибком і навантажувальна характеристика задовольняє режим релейної характеристики.

Розглянемо навантажувальну характеристику МП, що працює в релейному режимі, і тилового контакту електромагнітного реле. Для тилового контакту електромагнітного реле (рисунок 3.6, а) залежність струму навантаження від струму керування має вигляд, показаний на рисунку 3.6, б. Якщо струм в обмотці реле (негативна полярність струму управління) менше струму спрацьовування ($I_y < I_{cn}$), то реле вимкнено, тиловий контакт замкнений і в навантаженні R_n протікає струм I_n . При струмі в обмотці реле більше струму спрацьовування ($I_y > I_{cn}$) тиловий контакт розімкнений і струм у навантаженні (струм холостого ходу) дорівнює нулю, тобто $I_{xx} = 0$. Аналогічно розглядається зворотна гілка навантажувальної характеристики.

З рисунка 3.6, б також видно, що релейна характеристика $I_n = \psi(I_y)$ має особливі ділянки: на одній $dI_n/dI_y \rightarrow \infty$ (вертикальні лінії) означає, що відбувається стрибкоподібна зміна струму навантаження; на іншому $dI_n/dI_y = 0$ (горизонтальні лінії), що вказує на незмінність струму навантаження. У безконтактних приладів релейної дії струм холостого ходу не дорівнює нулю, тобто $I_{xx} \neq 0$.

При використанні МП для комутації зовнішніх кіл безконтактним способом (без механічного розмикання) повний струм керування (струм підмагнічування I_{midm}) відповідно до (3.4) буде дорівнювати $I_{midm} = I_y + I_{ПЗЗ} K_{ПЗЗ}$. Звідси рівняння $I_{ПЗЗ} = (I_{midm} - I_y) K_{ПЗЗ} = \xi(I_y)$ являє собою сімейство характеристик ПЗЗ для МП, що графічно зображуються прямими з кутовим коефіцієнтом $I/K_{ПЗЗ}$.

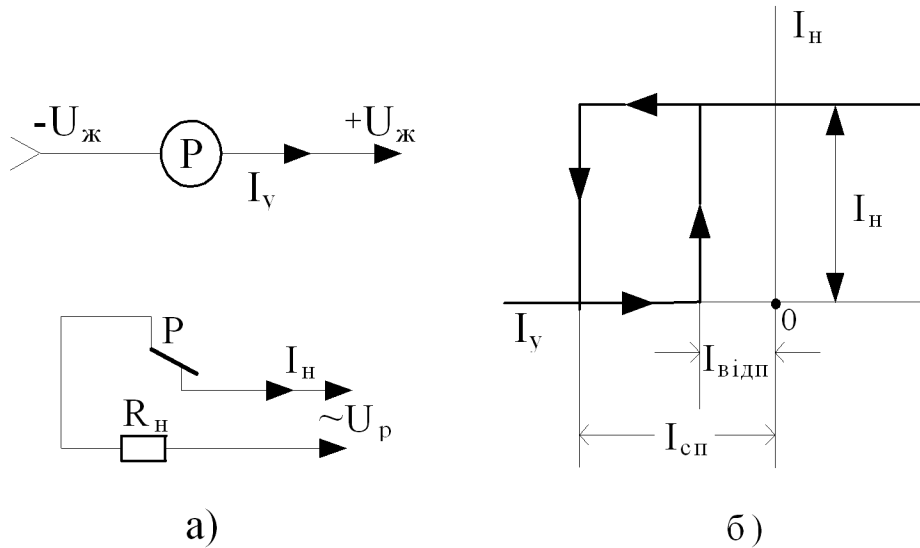


Рисунок 3.6 – Навантажувальна характеристика тилового контакту електромагнітного реле

Розглянемо графічну побудову релейної навантажувальної характеристики МП. Вона виходить з основної характеристики $I_n = \psi(I_y)$ (рисунок 3.5) при накладенні на неї сімейства характеристик ПЗЗ $I_{ПЗЗ} = \xi(I_y)$. Початкова робоча точка визначається перетинанням характеристики $I_{ПЗЗ} = \xi_1(I_y)$ при $I_y=0$ з основною навантажувальною характеристикою МП (рисунок 3.7, точка А).

При цьому струм у навантаженні буде максимальним $I_{n.max}$. При $I_y = I_{сп}$ характеристика зворотного зв'язку $I_{ПЗЗ} = \xi_2(I_y)$ є дотичною в точці перегину основної характеристики МП (рисунок 3.7, точка B_1). У цьому випадку при одному сигналі керування мають місце дві точки перетинання B_1 і B_2 . Це означає, що струм навантаження I_n стрибкоподібно зменшується від значення B_1 до значення B_2 . При подальшому збільшенні негативного сигналу I_y струм I_n буде трохи збільшуватися, а при зменшенні струму керування – зменшуватися до значення $I_{n.min}$. При $I_y = I_{відп}$ ($I_{відп}$ – струм перемикання МП, названий струмом відпускання за аналогією з контактними електромагнітними реле) характеристика $I_{ПЗЗ} = \xi_3(I_y)$ стає дотичною в точці C_1 основної характеристики і січною в точці C_2 (рисунок 3.7). При цьому струм у навантаженні різко збільшується.

Отримана залежність $I_n = \psi(I_y)$ при ПЗЗ називається навантажувальною характеристикою МП, що працює в релейному ре-

жимі із замкнутим виходом. Неважко помітити подібність цієї характеристики МП з характеристикою електромагнітного реле із замкнутим тиловим контактом (рисунок 3.6, б). Відмінність полягає в тому, що реле здійснює повне розмикання електричного кола ($I_{xx} = 0$), а МП за тих самих умов забезпечує тільки різке зниження струму в навантаженні до $I_{n, min}$

Таким чином, МП при глибокому ПЗЗ, відрегульований на релейний режим, є безконтактним магнітним реле (БМР).

Обладнавши МП обмоткою зміщення W_{zm} і подаючи на неї постійну напругу, можна зміщувати навантажувальну характеристику відносно початку координат і тим самим задавати різні режими роботи БМР. Якщо вибрати струм зміщення $I_{zm} > I_{cn}$ (звичайно $I_{zm} = (1,2 - 1,5) I_{cn}$), то характеристика БМР розташується праворуч від початку координат і буде відповідати характеристиці електромагнітного реле з нормально розімкнутим (фронтним) контактом (рисунок 3.8, а). У цьому випадку обидва параметри I_{cn} , $I_{відп}$ мають позитивну полярність. Якщо величина струму зміщення вибрана такою, що початок координат навантажувальної характеристики буде проходити посеред петлі, то МП буде працювати аналогічно контакту поляризованого реле з нейтральним регулюванням (рисунок 3.8, б). У цьому випадку для зміни струму в навантаженні від I_{xx} до $I_{n, max}$ необхідно подати в обмотку керування позитивний сигнал, більший $I_{cn, поз}$. Після вимикання позитивного сигналу керування ($I_y = 0$) струм у навантаженні зменшиться до номінального $I_{n, ном}$. Негативний сигнал в обмотці керування, більший $I_{cn, neg}$, змінює струм у навантаженні від $I_{n, ном}$ до $I_{n, min}$, а після вимикання – до I_{xx} .

Таким чином, розглянуте БМР є аналогом поляризованого реле, що працює в трьох режимах: з перевагою негативної полярності струму керування, з перевагою позитивної полярності і з нейтральним регулюванням. Однак БМР не вирішує завдання релейного трійника, тобто не може здійснювати перемикавання електричних кіл (вимикати коло з навантаженням $R_{n,1}$ і вмикати з $R_{n,2}$), а також не може одночасно керувати декількома колами.

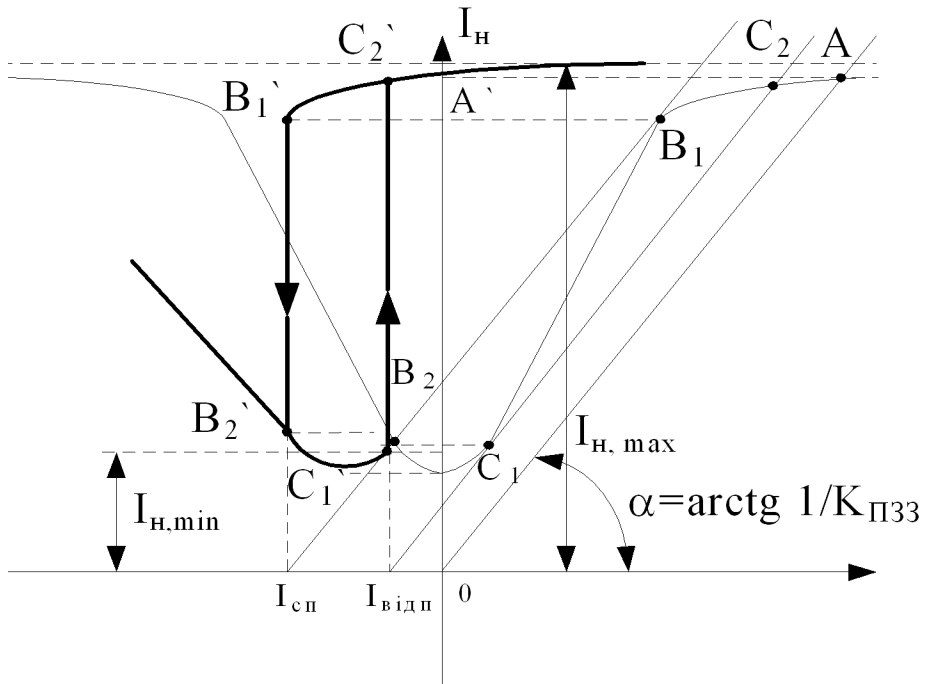
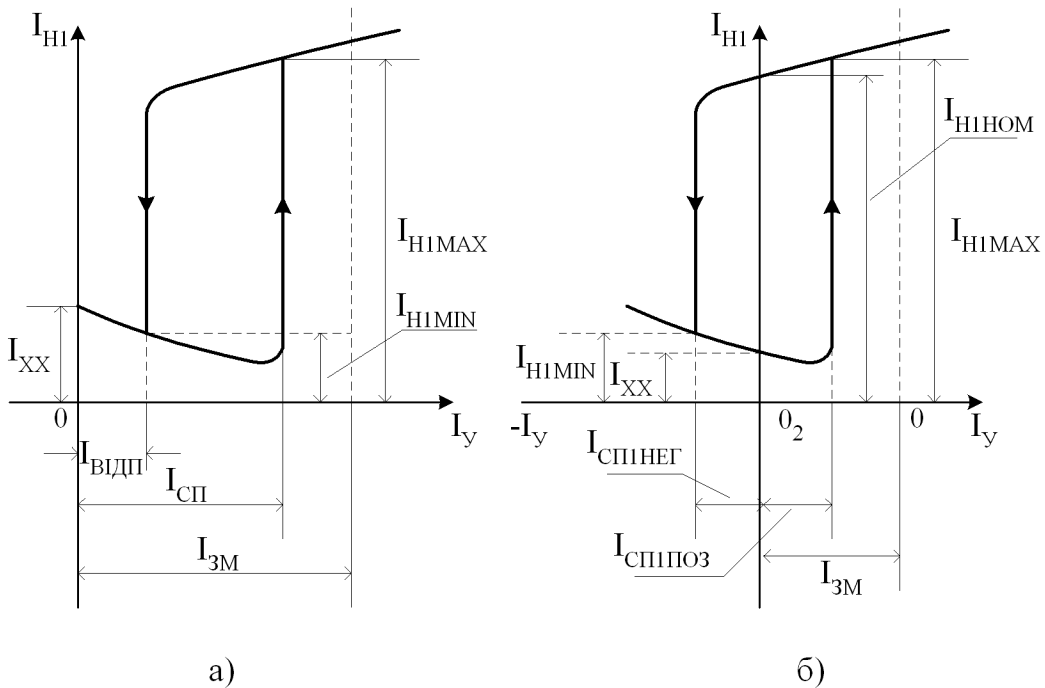


Рисунок 3.7 – Побудова релейної навантажувальної характеристики МП з ПЗЗ



а) з перевагою позитивної полярності; б) з нейтральним регулюванням

Рисунок 3.8 – Режимы работы БМР

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка являє собою макет, усередині якого розміщений МП та елементи, що дозволяють змінювати режим його роботи і характеристики, вводити різноманітні види зворотного зв'язку і зміщення. Схема МП з місцями увімкнення обмоток показана на рисунку 3.9, а способи увімкнення зворотного зв'язку – на рисунках 3.10 і 3.11. На передній панелі установки розміщені необхідні вимірювальні прилади і потенціометри для зміни відповідних напруг і струмів.

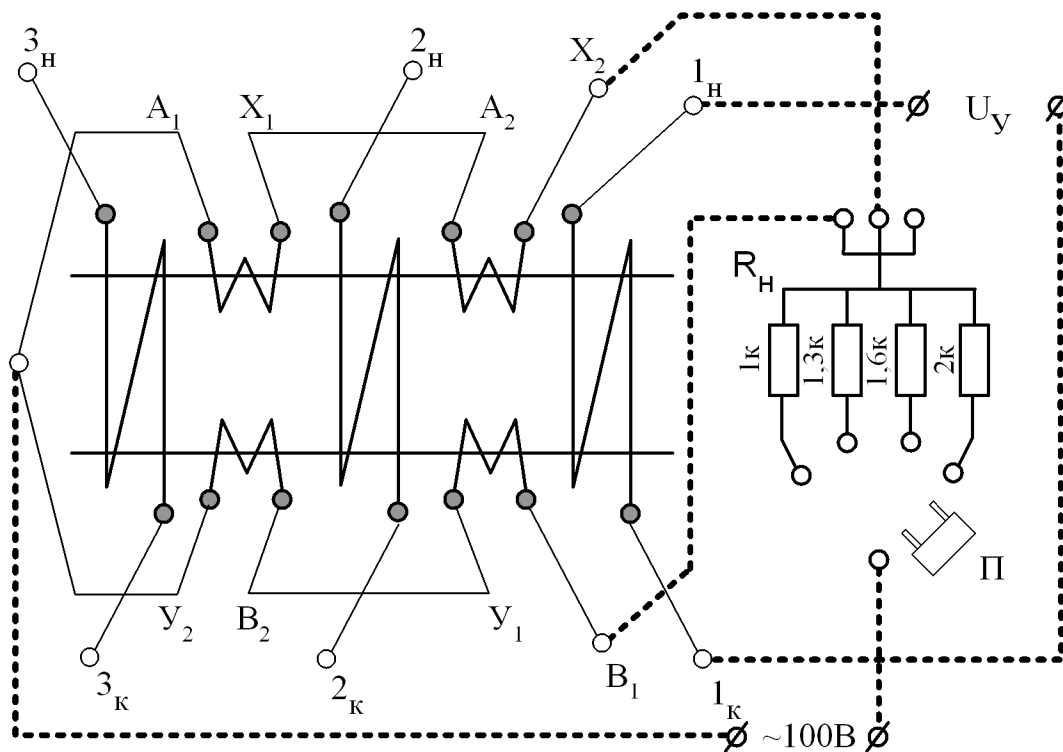


Рисунок 3.9 – Схема дослідження впливу опору навантаження на характеристики МП

Зовнішній ЗЗ (рисунок 3.10) створюється за рахунок подачі на спеціальну обмотку ЗЗ з кількістю витків $W_{ЗЗ}$ постійної напруги, що знімається з випрямляча, приєднаного до навантаження R_H . Якщо струм ЗЗ $I_{ЗЗ}$ створює в осерді МП магнітний потік узгоджено з магнітним потоком I_y , то має місце ПЗЗ. При зустрічному напрямку магнітних потоків створюється НЗЗ. Внутрішній ЗЗ створюється внаслідок увімкнення в кола робочих обмоток двох діодів D_1 і D_2 (рисунок 3.11), які створюють у них струм, що випрям-

ляється. Залежно від полярності увімкнення діодів утвориться ПЗЗ чи НЗЗ.

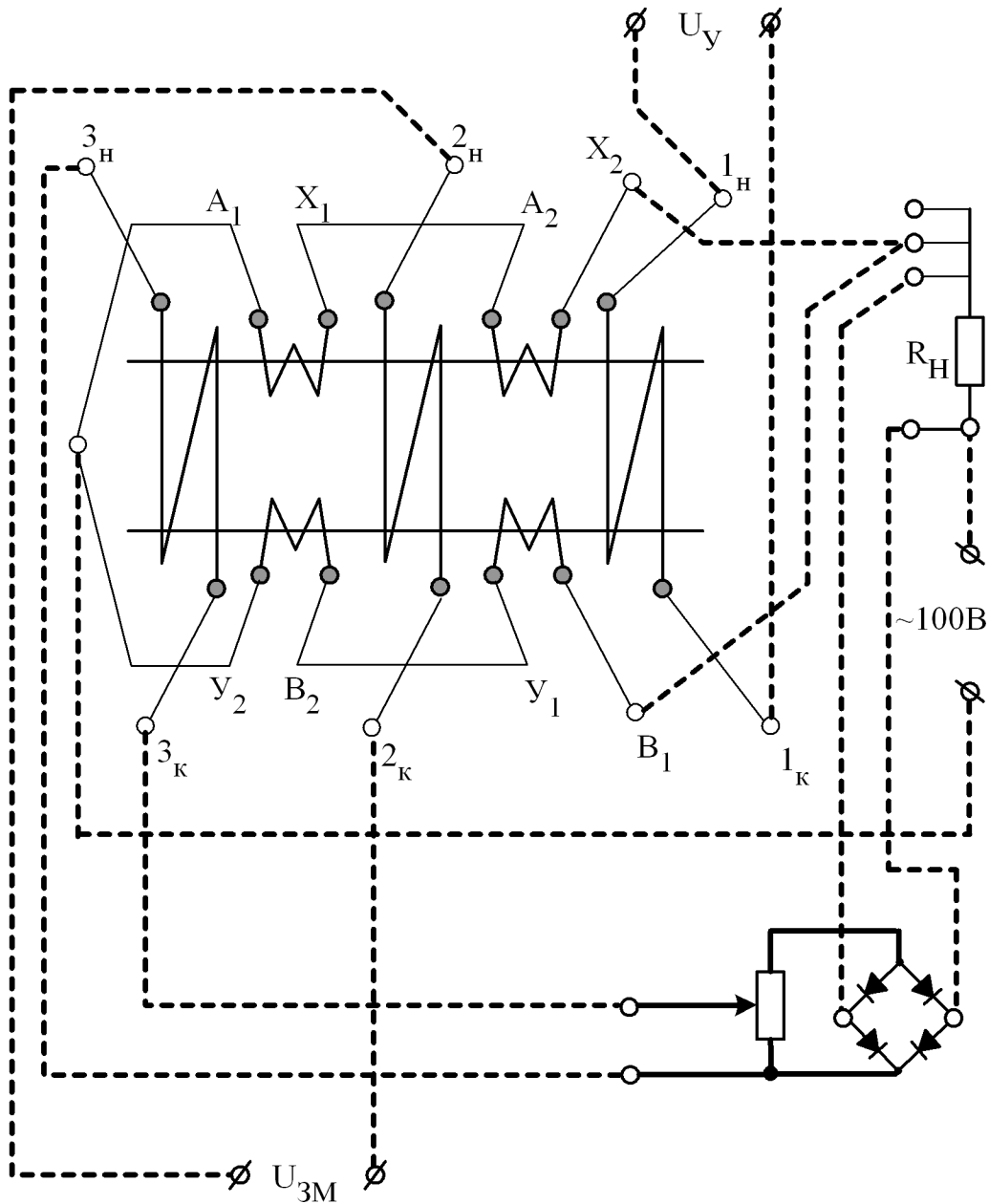


Рисунок 3.10 – Схема дослідження зовнішнього зворотного зв'язку

Обмотка зміщення з кількістю витків W_{3M} живиться постійною напругою U_{3M} від додаткового джерела і діє так, як і обмотка керування W_y . При збігу магнітних потоків зміщення і керування

(збіг полярності струмів I_{3M} і I_Y) навантажувальна характеристика зміщується вліво, у протилежному випадку – вправо.

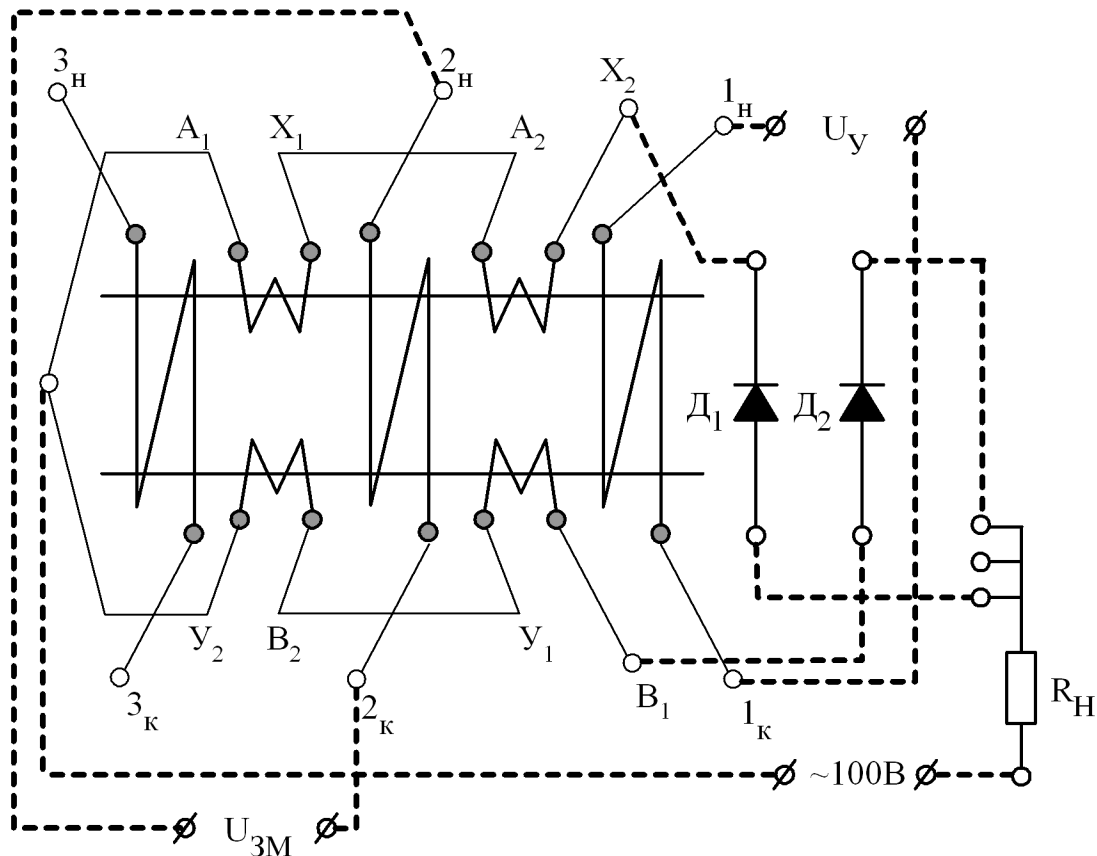


Рисунок 3.11 – Схема дослідження внутрішнього зворотного зв'язку і зміщення

Завдання

1 Вивчити принцип дії та процеси в МП без зворотного зв'язку, із зовнішнім і внутрішнім зворотним зв'язком, а також при увімкненні обмотки зміщення.

2 Дослідити статичні характеристики різних схем увімкнення МП і на основі вимірювань розрахувати значення коефіцієнтів підсилення.

Порядок виконання роботи

Примітка – Перед кожним перемиканням елементів на передній панелі вимкнути живлення лабораторної установки.

1 Вивчити принцип дії, конструкцію і роботу основних схем увімкнення МП.

2 Дослідити процеси і характеристики дросельного МП, зняти статичні характеристики МП при різних значеннях опору навантаження R_n .

2.1 Зібрати схему дросельного МП (рисунок 3.9) і приєднати до обмотки керування зовнішнє джерело сигналу керування.

2.2 Установити опір навантаження $R_n = 1$ кОм.

2.3 Увімкнути живлення лабораторної установки і, змінюючи струм керування I_y від 0 до 50 мА та від 0 до -50 мА з дискретністю 5 мА, виміряти струм навантаження I_n . Дані занести до таблиці 3.1.

$$R_n = \quad I_{33} = \quad I_{3M} =$$

Таблиця 3.1

I_y , мА	-45	-50	-5	0	5	45	50
I_n , мА									
$K_y = I_n / I_y$									

2.4 Змінити полярність сигналу керування (перемиканням проводів) і зняти дані для побудови негативної гілки статичної характеристики.

2.5 Вимкнути живлення лабораторної установки.

2.6 Послідовно встановлюючи $R_n = 1,2; 1,5; 2$ кОм відповідно до пунктів 2.3 – 2.5 зняти сімейство статичних характеристик $I_n = f(I_y)$ при $R_n = \text{const}$, розрахувати коефіцієнти підсилення МП по струму $K_y = I_n / I_y$.

3 Дослідити процеси і характеристики МП з зовнішнім зворотним зв'язком.

3.1 Зібрати схему (рисунок 3.10), установити $R_n = 2$ кОм і увімкнути обмотку 33 для створення позитивного ЗЗ (збігається полярність U_y і U_{33}).

3.2 Увімкнути живлення лабораторної установки. При струмі керування $I_y = 25$ мА встановити струм зворотного зв'язку

$I_{33} = 5$ мА. Надалі коефіцієнт ЗЗ (положення ручки потенціометра) залишити незмінним.

3.3 Зняти статичну характеристику $I_n = f(I_y)$ при ПЗЗ, виконавши пункти 2.3 – 2.5. Результати вимірювань занести до таблиці, аналогічної таблиці 3.1. При зміні полярності струму управління змінити полярність напруги ЗЗ.

3.4 Визначити вплив коефіцієнта ЗЗ на вид статичної характеристики, для чого при $R_n = 2$ кОм й $I_y = 25$ мА встановити поспідовно $I_{33} = 10$ мА та $I_{33} = 15$ мА і виконати пункт 3.3.

3.5 Увімкнути обмотку для створення негативного ЗЗ і увімкнути живлення. При струмі керування $I_y = 25$ мА і $R_n = 2$ кОм встановити струм НЗЗ $I_{33} = 5$ мА. Зняти статичну характеристику $I_n = f(I_y)$ при НЗЗ, виконавши пункти 2.3 – 2.5. Результати дослідження занести в таблицю, аналогічну таблиці 3.1.

4 Дослідити процеси і характеристики МП з внутрішнім зворотним зв'язком.

4.1 Зібрати схему (рисунок 3.11), встановити $R_n = 2$ кОм, увімкнувши обмотку зміщення до додаткового джерела U_{3M} , а тумблер увімкнути в ліве положення 1 ($U_{3M} = 0$).

4.2 Виконавши пункти 2.3 – 2.5, зняти статичну характеристику $I_n = f(I_y)$ при $R_n = 2$ кОм і $I_{3M} = 0$. Результати дослідження занести до таблиці, аналогічної таблиці 3.1.

4.3 Поставити тумблер U_{3M} у праве положення 2 і зняти статичну характеристику при $U_{3M} \neq 0$.

4.4 Для усіх вимірювань розрахувати значення коефіцієнта підсилення по струму K_y і результати розрахунку занести до відповідних таблиць.

Зміст звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинний містити:

- 1) назву, мету роботи і короткі теоретичні відомості;
- 2) принципіві схеми МП, досліджені в лабораторній роботі;
- 3) результати досліджень і розрахунків, зведені до таблиць 3.1 – 3.10;
- 4) графіки статичних характеристик $I_n = f(I_y)$ для дросельного МП при різних значеннях навантаження (таблиці 3.1 – 3.4, в одних координатних осях); для МП з зовнішнім негативним ЗЗ

при різних значеннях R_n і I_{33} (таблиці 3.5 – 3.8); для МП з внутрішнім ЗЗ при $I_{3M} = 0$ і $I_{3M} \neq 0$ (таблиці 3.9, 3.10).

Контрольні запитання

- 1 Вкажіть основні переваги і недоліки МП.
- 2 Поясніть принцип роботи дросельного МП.
- 3 Поясніть, чому МП складається з двох осердь.
- 4 Поясніть, чому МП не боїться короткого замикання в колі робочих обмоток.
- 5 Наведіть загальний вигляд навантажувальної (статичної) характеристики МП.
- 6 Покажіть, як зміниться вид навантажувальної характеристики при зміні (зменшенні, збільшенні) опору навантаження.
- 7 Вкажіть види і способи організації зворотного зв'язку.
- 8 Покажіть, як змінюються статичні характеристики при увімкненні зворотного зв'язку.
- 9 Вкажіть умови для переходу МП в релейний режим роботи.
- 10 Поясніть призначення обмотки зміщення. Як впливає обмотка зміщення на статичні характеристики.
- 11 Поясніть, який пристрій називається БМР.
- 12 Вкажіть режими роботи БМР, їхні параметри I_{cn} , $I_{відп}$ і аналогію з роботою контактних реле.
- 13 Поясніть, як можна одержати необхідне регулювання (нейтральне регулювання, регулювання з перевагою однієї полярності) БМР на основі МП.
- 14 Вкажіть переваги і недоліки БМР у порівнянні з контактним реле.
- 15 Поясніть роботу БМР при обриві проводу в обмотці зміщення.
- 16 Поясніть роботу БМР при обриві проводу в обмотці зворотного зв'язку.
- 17 Поясніть метод усунення трансформаторного зв'язку між обмотками МП.
- 18 Наведіть вигляд навантажувальної характеристики для схем увімкнення МП, досліджуваного в лабораторній роботі.
- 19 Наведіть приклади використання МП у системах автоматики і управління.

Список літератури

- 1 Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов/ Под ред. В.В.Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.
- 2 Сазонов В.В. Магнитные усилители систем железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 1986. – 157 с.
- 3 Розенблат М.А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. – М.: Наука, 1974. – 768 с.
- 4 Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: В 2т. – М.: Транспорт, 1981. – Т. 2. – 352 с.
- 5 Львов Е.Л. Магнитные усилители в технике автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1972. – 552 с.
- 6 Тюрморезов В.Е. Источники питания устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Транспорт, 1978. – 225 с.
- 7 Боярченков М.А., Черкашина А.Г. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. – М.: Высш. школа, 1976. – 383 с.
- 8 Тищенко Н.М. Проектирование магнитных и полупроводниковых элементов автоматики. – М.: Энергия, 1979. – 472 с.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНИХ РЕЛЕ ДСШ

Мета роботи

Вивчити конструкцію та принцип дії індукційних двохелементних секторних реле. Дослідити залежність величини та напрямку обертального моменту сектора від фази струмів у місцевому та колійному елементах реле.

Теоретичні відомості

Індукційне двохелементне секторне штепсельне реле змінного струму (ДСШ) застосовується головним чином на електрифікованих ділянках залізниць як колійне реле в рейкових колах (РК) змінного струму з неперервним живленням. При частоті сигнального струму 50 Гц використовується реле ДСШ-12, при частоті сигнального струму 25 Гц – ДСШ-13 і ДСШ-13А. У даний час на залізницях України впроваджуються модифіковані реле ДСШ-15 і ДСШ-16.

Конструктивно реле ДСШ складається з двох обмоток, названих місцевим елементом (МЕ) і колійним елементом (КЕ). Обмотка МЕ розташована на Ш-подібному осерді, що являє собою пакет з листової трансформаторної сталі для зменшення втрат на вихрові струми; обмотка КЕ розташована на П-подібному осерді з такої ж сталі. Осердя МЕ і КЕ укріплені на металевій станині симетрично одне напроти одного. У повітряному зазорі між ними у вертикальній площині переміщується легкий алюмінієвий сектор. До сектора кріпиться тяга, яка управляє контактною системою. Хід сектора обмежується верхнім і нижнім роликами.

Обмотка МЕ живиться від місцевої мережі змінного струму, а обмотка КЕ підключена до РК, яке в свою чергу одержує живлення від тієї ж фази, що й обмотка МЕ (рисунок 4.1). При протіканні сигнального струму по елементах РК відбувається зсув фази струму в КЕ стосовно струму в МЕ, причому основне зрушення фази обумовлюється індуктивним характером опору рейкової лінії, а додаткове – регулювальними елементами фазообертальних кіл $R_o C_o$ і $R_p C_p$.

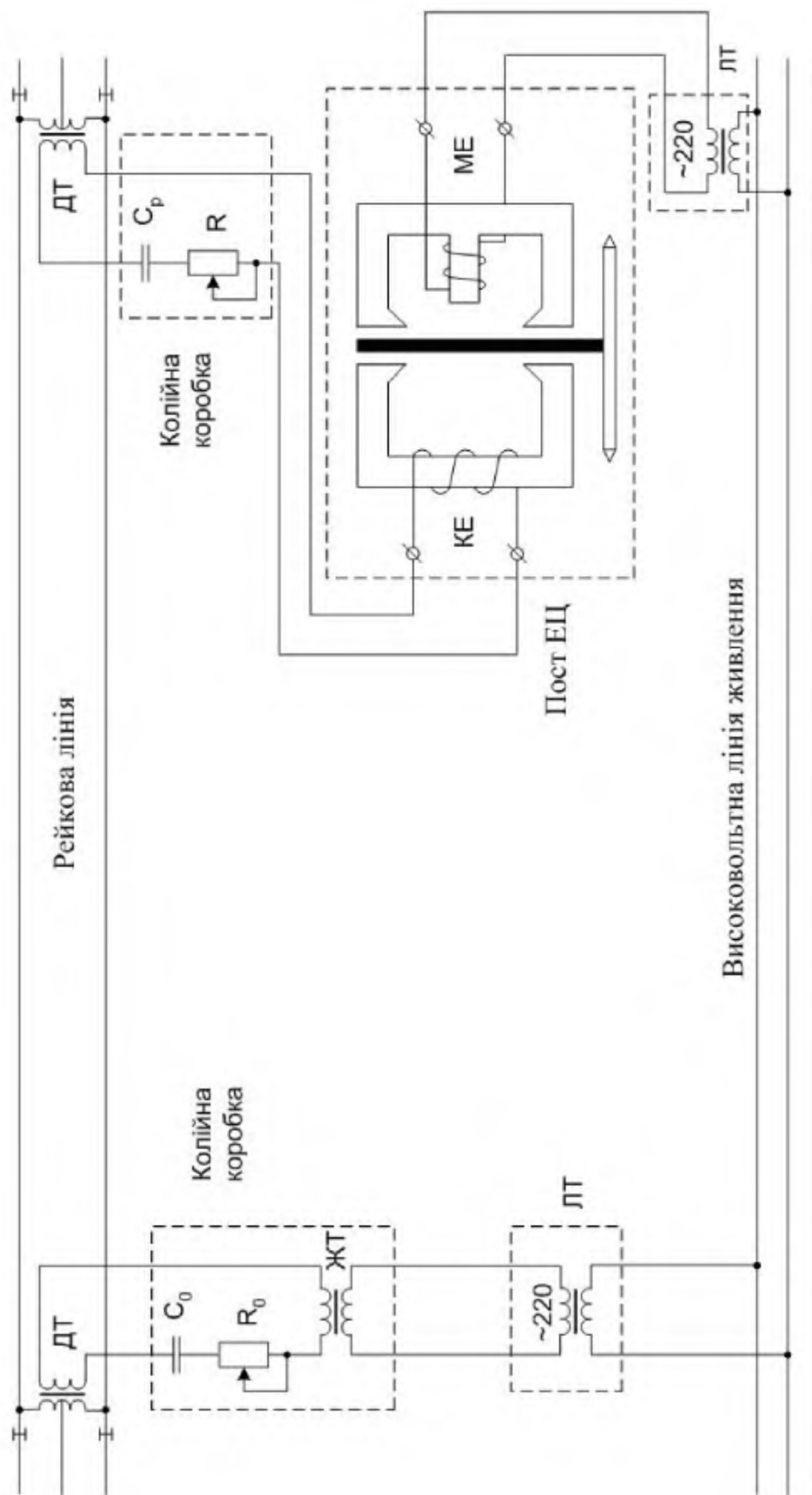


Рисунок 4.1 - Схема живлення реле ДСШ

Принцип дії реле ДСШ полягає у взаємодії магнітного потоку Φ одного елемента (колійного чи місцевого) з вихровими струмами $i_{\text{вих}}$, що виникають у секторі реле внаслідок електромагнітної індукції від магнітного потоку іншого елемента. При цьому величина і напрямок обертального моменту для сектора реле $M_{\text{об}}$ визначається величиною кута різниці фаз φ між струмами $i_{\text{ме}}$ й $i_{\text{ке}}$ (магнітними потоками $\Phi_{\text{ме}}$ і $\Phi_{\text{ке}}$) відповідно в обмотці МЕ і КЕ.

РК насамперед служить для контролю вільності чи зайнятості ділянки колії, що є однією з основних умов безпеки руху поїздів. Реле ДСШ забезпечує цю умову, оскільки відноситься до реле І класу надійності (залипання сектора реле відсутнє, фронтіві й тиліві контакти виконані з графіту зі срібним наповненням, а загальні контакти – зі срібла, відпускання сектора відбувається під дією власної ваги).

Якщо ділянка колії зайнята рухомим складом і колійна обмотка знеструмлена, магнітний потік МЕ наводить у секторі вихрові струми, трубки яких розташовуються симетрично щодо силових ліній магнітного потоку. При цьому якщо магнітний потік спрямований за площину сектора (+) і зменшується, то вихрові струми в секторі мають напрямок за годинниковою стрілкою, що перешкоджає зміні породжувального магнітного потоку. Один з полюсів осердя МЕ, трубки вихрового струму і векторна діаграма для даного стану реле наведені на рисунку 4.2.

Відповідно до закону Ампера в кожному елементі трубки струму довжиною dl виникає елементарна сила $dF = B \cdot i \cdot dl$, де B – величина магнітної індукції. Напрямок цієї сили визначається за правилом *лівої* руки. Однак симетрично щодо полюса осердя розташований елемент dl' , для якого напрямок сили dF' буде протилежним (рисунок 4.2) і сектор залишиться нерухомим.

Таким чином, у результаті взаємодії магнітного потоку з вихровим струмом у секторі, ним же індуктованим, обертальний момент не виникає, сили, що діють на сектор реле, взаємно урівноважуються і результуюча сила дорівнює нулю.

У вимкненому стані сектор упирається в нижній ролик, при цьому замкнуті спільний і тилівий контакти.

Результуюча сила, що забезпечує підйом сектора реле, може виникнути тільки в результаті взаємодії магнітного потоку МЕ з

вихровим струмом у секторі, індуктованим магнітним потоком КЕ і навпаки.

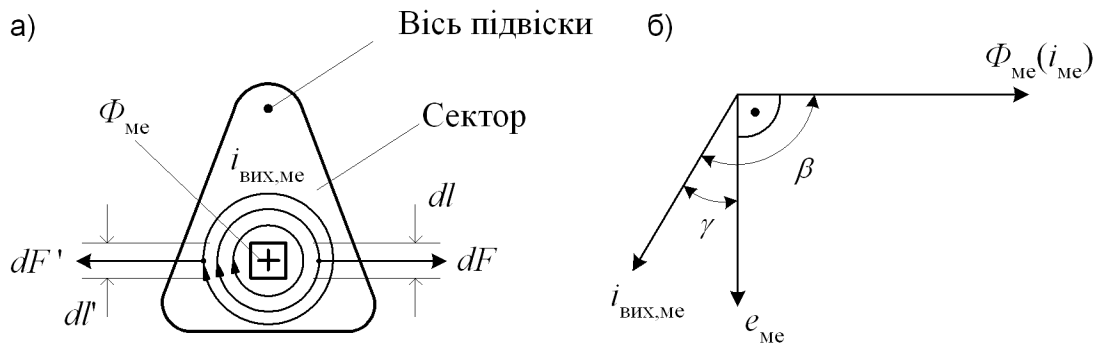


Рисунок 4.2 – Сектор індукційного реле (а) і векторна діаграма для місцевого елемента (б)

Відповідно до векторної діаграми (рисунок 4.2) на підставі закону Біо-Савара середня сила за період, що діє на елемент із вихровим струмом у магнітному полі, для реле ДСШ дорівнює

$$f = c \cdot \Phi_m \cdot I_m \cdot \cos\beta, \quad (4.1)$$

де c – постійна величина, що являє собою конструктивний коефіцієнт;

Φ_m – амплітудне значення магнітного потоку;

I_m – амплітудне значення вихрового струму;

β – кут зрушення фаз між магнітним потоком і вихровим струмом.

Якщо РК вільне від рухомого складу, в обмотці КЕ протікає струм $i_{ке}$, що обумовлює виникнення магнітного потоку $\Phi_{ке}$, який відстає від магнітного потоку МЕ $\Phi_{ме}$, у загальному випадку, на кут φ . Схема і векторна діаграма сил, що діють на сектор індукційного реле для цього випадку, подані на рисунку 4.3.

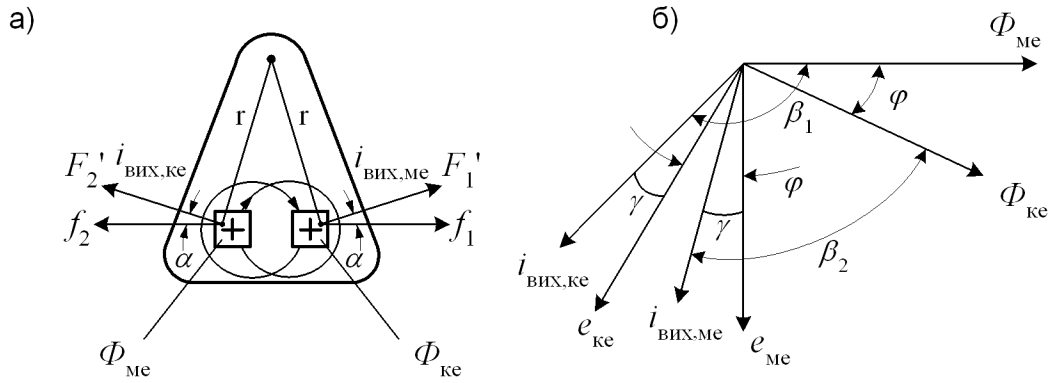


Рисунок 4.3 – Схема і векторна діаграма сил, що діють на сектор індукційного реле ДСШ

З урахуванням фазових співвідношень (рисунок 4.3,б) і виразу (4.1) на сектор реле діють дві сили:

$$f_1 = c \cdot \Phi_{\text{ме}} \cdot I_{\text{вих,ке}} \cdot \cos\beta_1, \quad f_2 = c \cdot \Phi_{\text{ке}} \cdot I_{\text{вих,ме}} \cdot \cos\beta_2, \quad (4.2)$$

де $\Phi_{\text{ме}}$, $\Phi_{\text{ке}}$, $I_{\text{вих,ке}}$, $I_{\text{вих,ме}}$ – відповідно амплітудні значення магнітних потоків і індуктованих вихрових струмів МЕ і КЕ;

$\beta_1 = 90 + \varphi + \gamma$ – кут між векторами $\Phi_{\text{ме}}$ і $I_{\text{вих,ке}}$;

$\beta_2 = 90 - \varphi + \gamma$ – кут між векторами $\Phi_{\text{ке}}$ і $I_{\text{вих,ме}}$.

Тангенціальні складові f_1' і f_2' для сил f_1 і f_2 , перпендикулярні до радіуса r , що з'єднує точки прикладання сил f_1 і f_2 з віссю обертання сектора (рисунок 4.3,а), дорівнюють

$$f_1' = f_1 \cdot \cos\alpha; \quad f_2' = f_2 \cdot \cos\alpha. \quad (4.3)$$

Моменти обертання визначаються з виразів

$$M_1 = f_1' \cdot r = f_1 \cdot r \cdot \cos\alpha; \quad M_2 = f_2' \cdot r = f_2 \cdot r \cdot \cos\alpha. \quad (4.4)$$

Отже, з урахуванням виразів (4.2-4.4) результуючий обертальний момент для сектора визначається з виразу

$$\begin{aligned} M_{\text{рез}} &= M_2 - M_1 = f_2 \cdot r \cdot \cos\alpha - f_1 \cdot r \cdot \cos\alpha = \\ &= c \cdot r \cdot \cos\alpha [\Phi_{\text{ке}} \cdot I_{\text{вих,ме}} \cdot \cos(90 - \varphi + \gamma) - \\ &- \Phi_{\text{ме}} \cdot I_{\text{вих,ке}} \cdot \cos(90 + \varphi + \gamma)]. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Для алюмінієвого сектора кут γ дуже малий і в порівнянні з кутом φ і можна прийняти $\gamma \approx 0$. Також з огляду на те, що $\cos(90 - \varphi) = \sin\varphi$ і $\cos(90 + \varphi) = -\sin\varphi$, вираз (4.5) можна спростити

$$M_{рез} = k \cdot (\Phi_{пе} \cdot I_{вих,ме} + \Phi_{ме} \cdot I_{вих,ке}) \cos\varphi \quad (4.6)$$

де $k = c \cdot r \cdot \cos\alpha$ – конструктивний коефіцієнт реле ДСШ.

Враховуючи, що амплітудне значення вихрового струму $I_m = E_m/Z_c = \omega \cdot \Phi_m/Z_c$, для вихрових струмів можна записати $I_{вих,ме} = \omega \cdot \Phi_{ме}/Z_c$; $I_{вих,ке} = \omega \cdot \Phi_{ке}/Z_c$, де Z_c – опір сектора реле для вихрового струму. У цьому випадку вираз (4.6) набуває такого вигляду:

$$M_{рез} = k \frac{\omega}{Z_c} \Phi_{ке} \cdot \Phi_{ме} \cdot \sin\varphi. \quad (4.7)$$

Таким чином, обертальний момент реле ДСШ пропорційний величині $\sin\varphi$. При $\varphi = \pm 90^\circ$ (ідеальний кут) $\sin\varphi = \pm 1$ і обертальний момент максимальний. Якщо $\varphi = 0$, то $\sin\varphi = 0$ і $M_{рез} = 0$. Збільшити обертальний момент можна, збільшуючи магнітні потоки $\Phi_{ке}$ і $\Phi_{ме}$ (відповідні їм струми $I_{ке}$ й $I_{ме}$), збільшуючи частоту змінного струму ω або зменшуючи опір сектора Z_c . Тому сектор виконується з алюмінію, що є легким матеріалом і має високу електропровідність.

Через залежність обертального моменту від кута зрушення фаз між струмами в МЕ і КЕ реле ДСШ називають *фазочутливим*. Фазова характеристика і векторна діаграма реле ДСШ наведені на рисунку 4.4.

При ідеальному фазовому куті сектор реле піднімається і фронтний контакт замикається при мінімальному значенні струму в обмотці КЕ – $I_{сп,мин}$. При відмінності кута зрушення фаз від ідеального струм спрацьовування збільшується і визначається із залежності $I_{сп} = I_{сп,мин}/\sin\varphi$. Для реле ДСШ застосовується поняття струму повного підйому якоря реле $I_{пш}$, при якому не тільки замикається фронтний контакт, але й створюється необхідний тиск між фронтним і тиловим контактами. При цьому сектор реле не тільки торкається верхнього ролика, але й піднімає його.

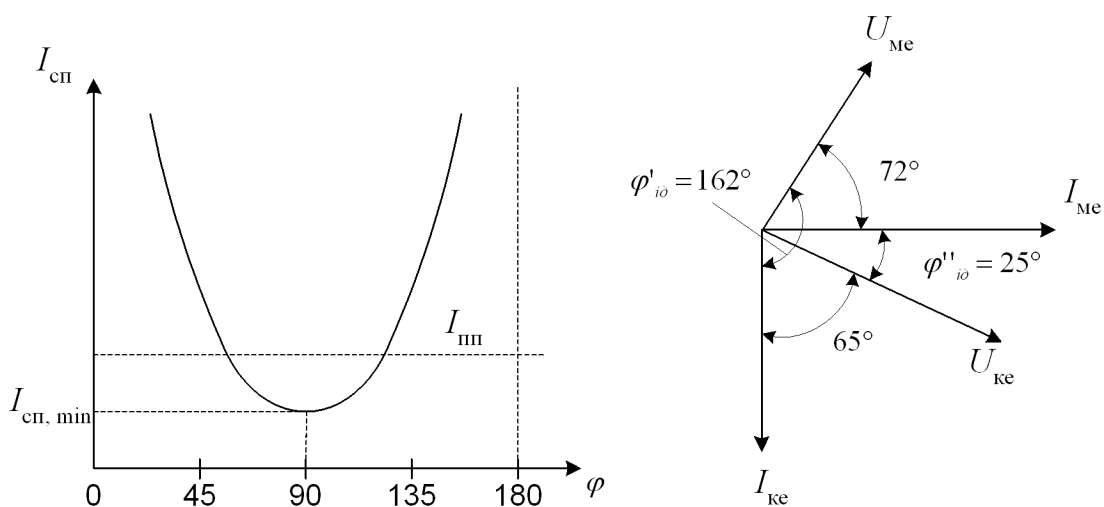


Рисунок 4.4 – Фазова характеристика і векторна діаграма реле ДСШ

Величина струму $I_{сп}$ для деяких індукційних реле наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри індукційних реле

Тип реле	Місцевий елемент			Колійний елемент				Ідеальні фазові співвідношення
	Напруга, В	Струм, мА	Потужність, Вт	підйом, не більше		відпускання, не менше		
				В	мА	В	мА	
ДСШ-2	110	145	5	45	75	20	33	$I_{ке}$ випереджує $U_{ме}$ на $20 \pm 5^\circ$
ДСШ-12	220	72	5	14	26	6,3	13	$I_{ке}$ відстає від $U_{ме}$ на $162 \pm 5^\circ$
ДСШ-13А	183	75	5	15,5	22	9–10	11	
ДСШ-15	220 (110)	72	5	12,0		9,5		
ДСШ-16	220 (110)	72	5	14,75		9–10		

Опис лабораторної установки

Для дослідження і регулювання реле ДСШ застосовується спеціальний вимірювальний стенд СИ-ДСШ.

За допомогою вимірювального стенда можна виконати такі вимірювання та дослідження реле ДСШ:

1) виміряти струм і напругу на місцевому елементі та при необхідності виконати регулювання напруги;

2) виміряти струм і напругу на колійному елементі та при необхідності виконати регулювання напруги;

3) виміряти кут зрушення фази між струмом КЕ і напругою МЕ;

4) виміряти перехідні опори контактів реле (коло К);

5) перевірити одночасність замикання і розмикання контактів реле;

6) при необхідності визначити потужність, споживану МЕ;

7) випробувати реле на 100 спрацьовувань з частотою 20-25 імпульсів на хвилину.

Для виконання цих та інших досліджень на стенді є такі вимірювальні прилади:

1) амперметр кола МЕ з перемикачами меж вимірювання під ним (стрілковий і цифровий типу ВР-11А);

2) вольтметр кола МЕ з кнопкою для його вмикання (стрілковий і цифровий типу ВР-11А);

3) стрілковий вольтметр кола К;

4) вольтметр кола КЕ з перемикачем меж вимірювання під ним (стрілковий і цифровий типу ВР-11А);

5) амперметр кола КЕ з перемикачем меж вимірювання під ним (стрілковий і цифровий типу ВР-11А).

Для управління режимами вимірювання, вмикання вимірювальних кіл і приладів, регулювання напруги і струму на стенді є тумблери Т, ключі К, кнопки і ручки. Основні з них:

Т1 – вмикання кола К;

Т2 – вмикання екрана;

Т3 – вмикання кіл МЕ і КЕ;

К1 – вибір кола колійного чи місцевого елемента;

К2 – вибір полярності кола МЕ;

К3 – вмикання кола контролю перехідного опору чи контактів пульс-пари;
К4 – вибір типу реле ДСШ-12 чи ДСШ-13;
Вт – замикання кола ватметра при вимірюванні потужності, споживаної місцевим елементом;
V/A – підключення вольтметра до кола К;
реостат кола К – для регулювання напруги в колі К;
ЛАТР кола МЕ – для регулювання напруги в колі МЕ;
ЛАТР кола КЕ – для регулювання напруги в колі КЕ;
перемикач напруги кола КЕ – для ступеневого вибору напруги кола КЕ;
секціонований перемикач фазорегулятора «фазорегулятор - грубо» - для грубого регулювання фазових співвідношень;
реостат фазорегулятора «фазорегулятор - точно» - для точного регулювання фазових співвідношень;
нормальне положення кнопок – не натиснуте; тумблерів – вимкнуте; ключів – середнє; перемикачів – нульове чи максимальна межа вимірювання; ручок реостатів і ЛАТРів – крайнє ліве.

Завдання

1 Вивчити конструкцію індукційного двохелементного секторного реле ДСШ-12 і принцип його дії.

2 Дослідити залежність напрямку і величини обертального моменту реле ДСШ-12 від полярності та рівня напруги на обмотках МЕ і КЕ, а також від фазових співвідношень між струмами МЕ і КЕ.

Порядок виконання роботи

1 Вивчити конструкцію реле ДСШ-12, засвоїти розташування і конструктивне виконання основних його частин: місцевого і колійного елементів, сектора, контактної групи, упорних роликів, визначити електричні параметри реле.

2 Вивчити принцип дії індукційних реле. За завданням викладача визначити напрямок моменту обертання для заданих фазових співвідношень між магнітними потоками колійного і місцевого елементів для декількох чвертей періоду змінного струму.

Попередньо визначити напрямок вихрових струмів у секторі реле. Для визначення напрямку сили використовувати правило лівої руки.

3 Всі органи управління стенда установити в нормальне положення.

4 Увімкнути тумблером живлення стенда.

5 Увімкнути тумблери кіл МЕ, КЕ, кола К і екрана.

6 Перевести ключ К2 у положення « – ПЭ».

7 При натиснутій кнопці вольтметра кола МЕ, плавно повертаючи за годинниковою стрілкою ручку ЛАТР-2 кола МЕ, установити (за показанням вольтметра) напругу на МЕ реле рівну 220В, а за амперметром кола МЕ зафіксувати значення струму в цьому колі.

8 Установити ключ К4 у положення «ДСШ-12».

9 Перевести ключ К1 у положення «ПЭ».

10 Повертаючи за годинниковою стрілкою ручку ЛАТР-2 кола КЕ, встановити підйом сектора до середнього положення або трохи більше.

11 Повертаючи ручку фазорегулятора за годинниковою і проти годинникової стрілки, спостерігати за зміною обертового моменту, що діє на сектор реле.

12 Повертаючи ручку ЛАТР-2 кола КЕ, змінювати напругу на КЕ і спостерігати за зміною обертового моменту, що діє на сектор реле.

13 Користуючись ручками фазорегулятора «грубо» і «точно», установити ідеальний кут зрушення фаз при неповному (середнє положення) підйомі сектора.

14 Повертаючи ручку ЛАТР-2, за моментом увімкнення лампочки фронтних контактів визначити напругу і струм прямого підйому сектора реле.

15 Повертаючи ручку ЛАТР-2, визначити напругу і струм повного підйому сектора реле за моментом торкання сектора з верхнім упорним роликком.

16 Повертаючи ручку ЛАТР-2 проти годинникової стрілки, визначити напругу і струм відпускання сектора реле за моментом увімкнення лампочки тилкових контактів.

17 Змінити положення ключа К2 (+К2) і звернути увагу на зміну напрямку обертального моменту сектора реле (тиск на нижній упорний ролик).

18 Результати спостережень занести в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Електричні характеристики реле ДСП-12

Місцевий елемент		Колійний елемент						Фазовий зсув між струмами КЕ і МЕ
		Прямий підйом		Повний підйом		Відпускання		
Напруга	Струм	Напруга	Струм	Напруга	Струм	Напруга	Струм	
В	А	В	А	В	А	В	А	градус
Паспортні значення								
220	0,072	10	0,0165	14	0,026	8 – 9	0,013	90

19 Повернути всі органи управління стенда в нормальне положення.

20 За результатами вимірювання розрахунком визначити відхилення фазового кута між струмами КЕ і МЕ від ідеального. Відповідно до формули (4.7) можна записати

$$M_{об} = k \frac{\omega}{Z_c} I_{ке} \cdot I_{ме} \cdot \sin \varphi_{ід},$$

де $I_{ке}$, $I_{ме}$ – паспортні значення струму відповідно колійного і місцевого елемента;

$\varphi_{ід} = 0^\circ$ – ідеальний кут зрушення фаз.

Для прямого підйому сектора формула записується у вигляді

$$M'_{об} = k \frac{\omega}{Z_c} I'_{ке} \cdot I'_{ме} \cdot \sin \varphi_x,$$

де $I'_{ке}$, $I'_{ме}$ – вимірні значення струму відповідно колійного і місцевого елемента;

φ_x – невідомий кут зрушення фаз.

З рівності $M'_{вр} = M_{вр}$ встановимо відношення $I_{ке} \cdot I_{ме} = I'_{ке} \cdot I'_{ме} \cdot \sin \varphi_x$ або $\varphi_x = \arcsin(I_{ке} \cdot I_{ме} / I'_{ке} \cdot I'_{ме})$. Тоді відхилення фазового кута від ідеального становитиме $\Delta\varphi = \varphi_{ід} - \varphi_x$.

Аналогічно визначити відхилення фазового кута для дослідження повного підйому і відпускання сектора реле. За розрахунковими значеннями $\Delta\varphi$ для прямого і повного підйому сектора і відпускання визначити середнє значення $\Delta\varphi_{ср}$.

Результати спостережень і висновків у довільній формі занести у звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинний містити:

- 1) назву, мету роботи і короткі теоретичні відомості;
- 2) схему рейкового кола, фазову характеристику і векторну діаграму реле ДСШ;
- 3) результати виконання індивідуального завдання у вигляді схематичного зображення сил, що діють на сектор, для кожної заданої чверті періоду змінного струму;
- 4) результати спостережень і висновки з дослідження реле ДСШ-12 на випробувальному стенді.

Контрольні запитання

- 1 Призначення реле ДСШ, галузь застосування.
- 2 Конструкція індукційного реле, основні елементи.
- 3 Принцип дії індукційного реле.
- 4 За рахунок чого створюється зрушення фаз між струмами колійного і місцевого елементів?
- 5 Чому обмотка МЕ і живильний кінець РК через знижувальні трансформатори підключаються до однієї й тієї ж фази високовольтної лінії?

6 Чому реле не працює при наявності живлення тільки в обмотці МЕ чи КЕ?

7 Як визначається напрямок вихрового струму в секторі реле в залежності від напрямку і збільшення чи зменшення магнітного потоку?

8 Сформулюйте правило лівої руки. Як воно застосовується при визначенні сил, що діють на сектор?

9 Наведіть аналітичний вираз для визначення обертового моменту реле ДСШ. Поясніть його складові.

10 Наведіть векторну діаграму реле ДСШ і вкажіть ідеальні кути.

11 У чому полягають вибіркові властивості реле ДСШ? Відобразіть фазову характеристику реле.

12 У яких випадках застосовується реле ДСШ-12 і в яких ДСШ-13?

13 У чому подібність і в чому відмінність індукційного секторного реле й індукційного механічного лічильника електричної енергії?

Список літератури

1 Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов/ Под ред. В.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.

2 Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики/ Под ред. А.С. Переборова. – М.: Транспорт, 1984.

3 Сороко В.Н., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981.

4 Архипов Е.В., Гуревич В.Н. Справочник электромонтера СЦБ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1999.

