

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни:
"Основи теорії електричних апаратів"

для студентів усіх форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(освітня програма "Електричні та електронні апарати")

2022

Дослідження магнітних підсилювачів: Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Основи теорії електричних апаратів" для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітня програма "Електричні та електронні апарати") / Укл.: О.В. Близняков. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 33 с.

Укладач: О.В. Близняков, доцент, к.т.н.

Рецензент: П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.

Відповідальний за випуск: Р.Е. Мохнач

Затверджено на засіданні кафедри
“Електричні та електронні апарати”.
Протокол № 9 від 26 травня 2022 р.

Рекомендовано до видання на засіданні
навчально-методичної комісії
електротехнічного факультету.
Протокол № 6 від 2 червня 2022 р.

ЗМІСТ

Вступна частина	5
Загальні відомості про магнітні підсилювачі	5
Лабораторна установка	8
Вказівки з техніки безпеки	9
Підготовка, виконання та захист лабораторних робіт	10
1. Лабораторна робота №1. Дослідження кривої намагнічування феромагнітного матеріала	11
1.1 Мета роботи	11
1.2 Предмет дослідження	11
1.3 Завдання	13
1.4 Методичні вказівки	13
1.5 Контрольні питання	14
2. Лабораторна робота №2. Дослідження дроселя насичення без підмагнічування	14
2.1 Мета роботи	14
2.2 Предмет дослідження	14
2.3 Завдання	16
2.4 Методичні вказівки	17
2.5 Контрольні питання	18
3. Лабораторна робота №3. Дослідження дросельного магнітного підсилювача	19
3.1 Мета роботи	19
3.2 Предмет дослідження	19
3.3 Завдання	22
3.4 Методичні вказівки	23
3.5 Контрольні питання	24
4. Лабораторна робота №4. Дослідження магнітного підсилювача з самонасиченням	24
4.1 Мета роботи	24
4.2 Предмет дослідження	24
4.3 Завдання	27
4.4 Методичні вказівки	27
4.5 Контрольні питання	28

5. Лабораторна робота № 5. Дослідження зворотних зв'язків магнітного підсилювача з самонасиченням	29
5.1 Мета роботи	29
5.2 Предмет дослідження	29
5.3 Завдання	30
5.4 Методичні вказівки	30
5.5 Контрольні питання	32
Література	33

ВСТУПНА ЧАСТИНА

Загальні відомості про магнітні підсилювачі

За звичаєм магнітний підсилювач створюється на основі дроселя насичення, який вперше був описаний у 1901 році. Цей пристрій був визначений як засіб регулювання електричного струму з використанням дроселя насичення зі змінною індуктивністю. Тобто, основним елементом усіх магнітних підсилювачів є дросель насичення, який являє собою електромагнітний елемент, в якому індуктивність його робочої обмотки змінюється у широких межах. Термін «магнітний підсилювач» за звичаєм визначається як схемний пристрій, що складається з комбінацій дроселів насичення, випрямлячів, резисторів та звичайних трансформаторів, які використовуються для керування або підсилення. Проте, дросель насичення – це тільки дросель, незалежно від того, як він використовується.

На відміну від електромагнітів, в яких індуктивність намагнічувальної обмотки змінюється внаслідок змінення величини робочого повітряного зазору, то в дроселях насичення індуктивність його робочої обмотки змінюється внаслідок підмагнічування осердя, тобто під впливом керуючого магнітного потоку, який утворюється обмоткою керування.

Досить тривалий період магнітні підсилювачі мали дуже широке та різноманітне застосування у вимірювальній техніці, в системах керування потужними установками, двигунами постійного та змінного струму, у пристроях релейного захисту і автоматики та інших сферах.

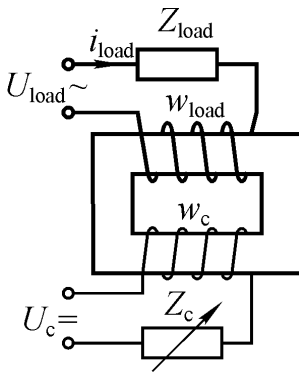
В даний час, з розвитком напівпровідникової та мікропроцесорної техніки, сфера застосування магнітних підсилювачів істотно звузилась. Але після деякого, підчас необґрунтованого, захоплення напівпровідниковими пристроями, цей клас пристроїв зайняв достойне місце та навіть продовжує розвиватися. Наочним прикладом цього може послужити створення нової техніки, а саме, вперше у світовій практиці групою підприємств за участю ВАТ ЗТР розроблена та освоєна у виробництві серія шунтувальних реакторів, керованих підмагнічуванням для компенсації реактивної потужності електричних мереж 35–500 кВ.

Основними перевагами магнітних підсилювачів є наступні:

- висока надійність, оскільки вони є статичними пристроями, які не мають рухомих частин;
- мають широкий діапазон робочих температур, тисків, вибухово-та пожежобезпечні, працюють в умовах поштовхів та вібрацій. По-друге,

МП забезпечують підсилення дуже слабких сигналів (до 10^{-19} Вт) і малі втрати. На відміну від напівпровідникових підсилювачів, МП дуже добре працюють на високих та надвисоких частотах, їх характеристики практично не залежать від температури та напруги мережі.

Принцип дії дроселя насичення засновано на властивостях кривої намагнічування, яка має вельми нелінійний характер. Для виготовлення магнітних кіл дроселів насичення використовують, головним чином, магнітом'які матеріали, які мають дуже вузьку петлю гістерезису, що дозволяє при аналізі їх магнітного стану вважати криву намагнічування безгістерезисною.



Найпростіша схема магнітного підсилювача на базі дроселя насичення

Найпростіший дросель насичення, зображений на рисунку., являє собою, як правило, магнітопровід без повітряних зазорів та дві обмотки: робоча та керування. *Робоча обмотка* w_{load} підключається до робочого кола (кола навантаження), яке живиться від джерела змінного струму; *обмотка керування* w_c підключається до кола керування, яке живиться від джерела постійного струму. Якщо не враховувати активний опір робочої обмотки струм у колі навантаження буде відповідати наступному виразу:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z_{load} + j\omega L_{load}},$$

де Z_{load} – повний опір навантаження; L_{load} – індуктивність робочої обмотки дроселя насичення, яка визначається таким чином:

$$L_{load} = w_{load}^2 \Lambda_M = w_{load}^2 \mu_a \frac{S_M}{l_M},$$

де S_M – площа перерізу магнітного кола дроселя;

l_M – довжина середньої магнітної силової лінії магнітного кола;

w_{load} – кількість витків робочої обмотки;

μ_a – абсолютна магнітна проникність матеріалу магнітного кола дроселя.

При постійних значеннях S_M , l_M та w_{load} індуктивність робочої обмотки є функцією магнітної проникності μ_a , яка залежить від магнітного стану сердечника. Його змінення здійснюється підмагнічуванням

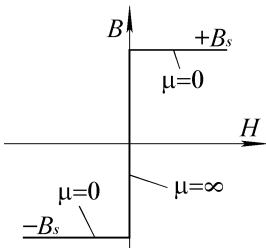
постійним струмом, який тече в обмотці керування w_k і утворює магнітний потік Φ_0 і відповідно магнітну індукцію B_0 .

При відсутності струму в обмотці керування $B_0 = 0$ (тобто, при відсутності підмагнічування) μ_a дуже велика, отже $\omega L_p \gg Z_n$ і струм у робочому колі дуже малий. При наявності струму в обмотці керування утворюється магнітний потік $\Phi_0 \rightarrow B_0$ (тобто, при наявності підмагнічування), якщо робоча ділянка кривої намагнічування відповідає малому значенню μ_a , то $Z_n \gg \omega L_p$, і струм у робочому колі визначається лише опором навантаження Z_n . Таким чином, робоча обмотка дроселя насичення при змінненні μ_a у широких межах являє собою безконтактний комутаційний елемент, який вмикає та вимикає коло навантаження.

Основна складність аналізу роботи дроселів насичення полягає у значній нелінійності кривої намагнічування, тому використовуються різноманітні спрощення, серед яких найбільш широке розповсюдження набули дві теорії: лінеаризованого та ідеального дроселя насичення.

Теорія *лінеаризованого дроселя насичення* полягає в тому, що магнітна проникність осердя упродовж періоду джерела живлення приймається незмінною; тому дросель розглядається як лінійна керована індуктивність; при зміні струму в обмотці керування змінюється індуктивність робочої обмотки і відповідно струм навантаження. ; близька до даної теорії картина в реальних дроселях насичення спостерігається при малій напрузі джерела, коли B_m не досягає насичення, тому ця теорія має обмежене використання;

Теорія *ідеального дроселя насичення* заснована на наступному припущенні: реальна крива намагнічування замінюється ідеальною, яка являє собою ламану криву, як зображено на рисунку.



Ідеальна крива
намагнічування

В процесі функціонування сердечник робочої обмотки може знаходитись у двох станах:

- у стані *перемагнічування*, коли $|B| < B_s$; у цьому випадку магнітна проникність μ_a і, відповідно, індуктивність робочої обмотки L_{load} є безкінечно великими (тобто робоча обмотка є непровідною, отже струм у робочому колі відсутній);
- у стані *насичення*, коли $|B| = B_s$ (індукція у сердечнику не може бути більше за B_s); у

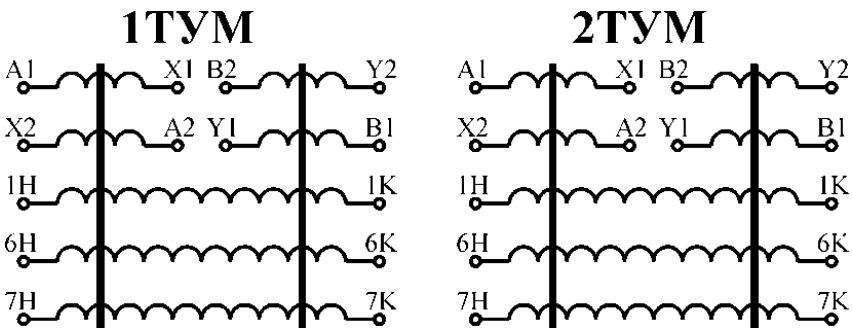
цьому випадку μ_a та L_{load} дорівнюють нулю отже струм у робочому колі буде визначатись лише опором навантаження.

Лабораторна установка

Лабораторні роботи з дослідження дроселів насичення та магнітних підсилювачів виконуються на лабораторному столі, де розташовані блок живлення та універсальний лабораторний модуль. Блок живлення складається з автоматичного вимикача QF для подачі живлення на стіл і індивідуальних автоматичних вимикачів та тумблерів відповідних джерел живлення.

Клеми джерел розташовані під лабораторним модулем. Для вимірювання струму та напруги при виконанні лабораторних робіт використовуються універсальні прилади, які розташовані на лабораторному столі. При виконанні лабораторних робіт елементи схеми з'єднуються провідниками з штировими або клемними наконечниками. Для утворення вузлів в схемі використовуються клемні колодки, які розміщені в нижній частині лицевої панелі, кожна з яких містить по чотири з'єднаних між собою гнізда.

На універсальному лабораторному модулі, зокрема, розміщені дроселі насичення ТУМ А4-11 або ТУМ А3-11М. Кінці обмоток дроселів виведені на лицеву панель модуля; зовнішній вигляд частини панелі з дроселями надано на рисунку. Паспортні дані обмоток дроселів насичення надані у таблиці



Лицева панель з магнітними підсилювачами.

Паспортні дані обмоток магнітних підсилювачів.

Позначення виводів обмоток	Найменування параметрів	Величина параметра	
		ТУМ-А4-11	ТУМ-А3-11М
1Н-1К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,152	0,283
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,33	0,66
	Опір при 20°C, Ом	1,6	2,6
2Н-2К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,021	0,0213
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,052	0,055
	Опір при 20°C, Ом	1,6	2,6
3Н-3К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,009	0,0061
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,074	0,055
	Опір при 20°C, Ом	108	186
4Н-4К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,009	0,0078
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,052	0,055
	Опір при 20°C, Ом	170	158
5Н-5К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,009	0,0078
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,052	0,055
	Опір при 20°C, Ом	170	158
6Н-6К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,009	0,0078
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,1	0,09
	Опір при 20°C, Ом	100	110
7Н-7К	Номінальний струм (серед. знач.), А	0,009	0,0078
	Тривалий струм (серед. значення), А	0,1	0,09
	Опір при 20°C, Ом	100	110

Вказівки з техніки безпеки

1 Перед виконанням циклу лабораторних робіт студенти повинні пройти інструктаж з техніки безпеки і внутрішнього розпорядку в лабораторії і суворо дотримуватись відповідних правил. Студенти, які не пройшли такий інструктаж до виконання лабораторних робіт не допускаються.

2 Зборку схеми та перемикання під час виконання лабораторної роботи потрібно здійснювати при вимкненому вимикачеві QF. Усі автотрансформатори повинні бути у нульовому положенні.

3 Категорично забороняється вмикати схему під напругу без дозволу викладача або лаборанта.

4 Перед виконанням вимірів потрібно встановити вимірювальні прилади у відповідний режим (амперметра або вольтметра).

5 При виконанні пробних вимірів звернути увагу на граничні струми та напруги приладів та обмоток дроселя, що надані у табл. В.1, особливо при переході до насиченого стану.

6 При виконанні робочих вимірів уважно стежити за показаннями вимірювальних приладів, не допускаючи їх зашкалювання, неправильного підключення та виходу з ладу.

Підготовка, виконання та захист лабораторних робіт

Для успішного і своєчасного виконання кожної лабораторної роботи студент повинен якісно до неї підготуватись поза розкладом лабораторних занять. Під час підготовки студент повинен ознайомитись з цими методичними вказівками, вивчити теоретичний матеріал, а також скласти схему експериментальних досліджень відповідно до теми лабораторної роботи.

Схема експериментального дослідження одразу після початку аудиторного заняття повинна бути узгоджена з викладачем, який веде лабораторні роботи. Після виконання експерименту студент повинен узгодити їх результати, не розбираючи схеми.

За результатами виконання кожної лабораторної роботи студент повинен надати та захистити звіт, оформлений у відповідності до ДСТУ 3008: 2015. Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- титульний лист з найменуванням лабораторної роботи;
- мету роботи;
- схему експериментальних досліджень;
- таблицю експериментальних даних;
- графічні залежності відповідно до завдання;
- осцилограми відповідно до завдання;
- формули, необхідні для розрахунків, відповідно до завдання;
- висновки по роботі.

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВОЇ НАМАГНІЧУВАННЯ ФЕРОМАГНІТНОГО МАТЕРІАЛА

Тривалість лабораторного заняття - 4 години

1.1 Мета роботи.

Метою роботи є експериментальне визначення основних характеристик кривої намагнічування феромагнітного матеріалу.

1.2 Предмет дослідження.

Якісні властивості і характеристики електромагнітних елементів в значній мірі визначаються властивостями феромагнітних матеріалів, що використовуються в них. Тому вибір матеріалу є дуже відповідальним етапом проектування апарата в цілому і електромагнітної системи зокрема.

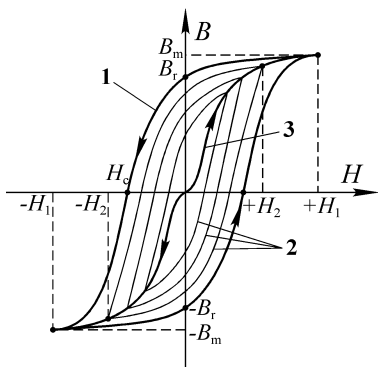


Рисунок 1.1 – Типова крива намагнічування феромагнітного матеріалу

Основною характеристикою, яка визначає властивості феромагнітних матеріалів є крива намагнічування. Вона представляє собою залежність індукції магнітного поля B від його напруженості H і має дуже складний характер: по-перше, вона дуже нелінійна, і, по-друге, неоднозначна, тобто має гістерезис, рис. 1.1.

Якщо напруженість магнітного поля змінюється за симетричним циклом, то крива намагнічування містить **межеву петлю гістерезиса 1**, яка характеризується *індукцією насичення B_m залишковою індукцією B_r і коерцитивною силою H_c ; частинні симетричні петлі гістерезиса 2 та основна крива намагнічування 3*, побудована по вершинам частинних симетричних петель. Слід зазначити, що первинне намагнічування феромагнітного матеріалу (тобто від нульової індукції) відбувається за основною кривою намагнічування. Якщо значення напруженості магнітного поля змінюється за несиметричним циклом, то крива намагнічування буде відповідати так званому несиметричному частинному циклу гістерезису.

Надані вище криві являють собою *статичні криві намагнічу-*

вання, які отримуються при дуже повільному змінненні зовнішнього магнітного поля. Проте, в реальних електромагнітних системах перемагнічування феромагнітних матеріалів здійснюється при досить швидкому змінненні напруженості, при цьому дещо змінюється і характер кривої намагнічування. Така крива намагнічування являє собою *динамічну криву намагнічування*, або динамічну петлю гістерезиса.

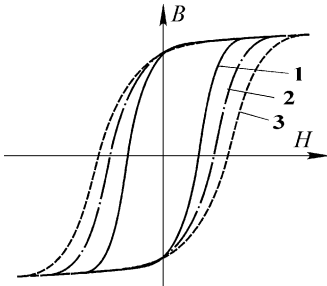


Рисунок 1.2 – Статична та динамічні петлі гістерезиса

Характер динамічної петлі гістерезису визначається, поперед за все, швидкістю зміння зовнішнього магнітного поля. На рис. 1.2 показана статична петля гістерезису 1 (при $dH_1/dt = 0$), та динамічні петлі гістерезису 2 та 3, зняті при різних швидкостях напруженості. Вони відрізняються запізненням зміння індукції B при змінненні напруженості H . Чим швидше змінюється напруженість, тим більше запізнення зміння індукції:

$0 < dH_2/dt < dH_3/dt$. Наявність запізнення зміння індукції обумовлено двома факторами:

- в'язкість феромагнітних матеріалів, тобто запізненням змінням в орієнтації доменів при змінненні зовнішнього магнітного поля;
- вихровими струмами, що утворюють магнітне поле, яке у відповідності до правила Ленца перешкоджає змінненню зовнішнього магнітного поля.

Елементи магнітних кіл електричних апаратів виготовляються, головним чином, з магнітом'яких матеріалів, які характеризуються дуже вузькою петлею гістерезису. При розрахунках неоднозначність кривої намагнічування не враховується і характеристика матеріалу визначається за основною кривою намагнічування. Зв'язок між індукцією і напруженістю магнітного поля визначається таким виразом:

$$B = \mu_a H = \mu \mu_0 H$$

де μ_a – абсолютна магнітна проникність;

μ – відносна магнітна проникність;

μ_0 – абсолютна магнітна проникність вакуумного середовища.

Матеріалами, що використовуються в електромагнітних системах електричних апаратів є: електротехнічні сталі, якісні конструкційні

сталі, сталіне литво, чавуни, спеціальні залізо-нікелеві і залізо-кобальтові сплави.

1.3 Завдання

1.3.1 Скласти схему експериментального дослідження кривої намагнічування (виконати під час підготовки до роботи поза розкладом лабораторних занять).

1.3.2 Експериментально визначити струми та напруги, необхідні для розрахунку кривої намагнічування осердя магнітного підсилювача.

1.3.3 Розрахувати параметри кривої намагнічування сердечника та побудувати відповідні графіки.

1.3.4 За результатами експерименту та розрахунків визначити матеріал магнітопровода.

1.4 Методичні вказівки.

1.4.1 Для виконання п. 1.3.1 необхідно скористатись підручником (див. розділ "Література") або конспектом лекцій. Схема для проведення експерименту повинна містити всі необхідні вимірювальні прилади.

1.4.2 Для зняття кривої намагнічування осердя в схемі використати дві робочі обмотки МП ТУМ-А4-11 або ТУМ-А3-11М.

1.4.3 Для зручності зборки схеми та її перевірки схема повинна містити позначення клем обмоток МП, а також номери вузлів.

1.4.4 Складена схема повинна бути узгоджена з викладачем, який веде лабораторні роботи.

1.4.5 Для виконання п. 1.3.2 необхідно:

а) зібрати схему, використавши джерело з регулюванням фазної напруги: фазу "А" – клеми 4 та 5; або фазу "В" – клеми 4 та 6; або фазу "С" – клеми 4 та 7; зібрана схема повинна бути обов'язково перевірена викладачем або лаборантом;

б) встановити універсальні вимірювальні прилади у потрібний режим (амперметра або вольтметра змінного струму), а також найбільші діапазони вимірювання;

в) увімкнути автомат QF і автомат відповідної фази джерела живлення;

г) за допомогою автотрансформатора відповідної фази джерела підвищити напругу живлення до максимальної величини і встановити оптимальні діапазони вимірювання амперметра та вольтметра;

д) знижуючи напругу живлення зробити 10–12 робочих вимірювань і занести їх результати до таблиці 1.1; при цьому більш детально дослідити

характеристику в області вигину (коліна кривої намагнічування).

Таблиця 1.1 – Результати вимірювань та розрахунків.

$E, В$	$I, А$	$E_u, В$	$B_m, Тл$	$H_{cp}, А$	$\mu, Гн/м$	$\mu_d, Гн/м$
--------	--------	----------	-----------	-------------	-------------	---------------

1.4.6 Після закінчення робочих вимірювань потрібно встановити автотрансформатор у нульове положення, вимкнути всі автомати і, не розбираючи схему, узгодити результати вимірювань з викладачем.

1.4.7 Для виконання пп 1.3.3 та 1.3.4 необхідно скористатись формулами та довідковими матеріалами, які надані у підручниках та довідниках (див. розд. "Література")

1.5 Контрольні питання

1.5.1 Назвіть основні параметри, якими характеризуються властивості феромагнітних матеріалів.

1.5.2 Що таке крива намагнічування і якими параметрами вона характеризується?

1.5.3 Що таке абсолютна (відносна) магнітна проникність?

1.5.4 Яким параметром характеризується прямокутність петлі гістерезіса?

1.5.5 Що таке динамічна петля гістерезіса і який вона має вигляд?

1.5.6 Чим пояснюється динамічність петлі гістерезіса?

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОСЕЛЯ НАСИЧЕННЯ БЕЗ ПІДМАГНІЧУВАННЯ

Тривалість лабораторного заняття – 4 години

2.1 Мета роботи.

Метою роботи є експериментальне визначення основних характеристик дроселя насичення (ДН) без підмагнічування, а також осцилограм напруг на окремих елементах схеми дослідження.

2.2 Предмет дослідження.

Дроселем насичення без підмагнічування називають такий дросель, по обмотках якого тече тільки змінний струм без постійної складової. ДН без підмагнічування знайшов широке використання в системах автоматики в якості датчиків електричних величин (струму, напруги, частоти, потужності), вимірювальних релейних елементів, стабілізаторів напруги

та ін. Розглянемо роботу найпростішого ДН без підмагнічування з одною робочою обмоткою, схема включення якого надана на рис. 2.1.

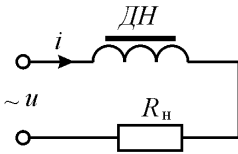


Рисунок 2.1 – Схема включення ДН без підмагнічування

- потік розсіяння відсутній;
- активні втрати в обмотці ДН відсутні;
- навантаження чисто активне.

Для робочого кола ДН справедливе таке рівняння:

$$U_m \sin \omega t = iR_n + w_p S_c \frac{dB}{dt}, \quad (2.1)$$

де S_c – переріз магнітопровода;

w_p – кількість витків у робочій обмотці.

Якщо у продовж періоду джерела живлення індукція $|B| < B_s$, то сердечник весь час знаходиться у стані перемагнічування. Тому, у відповідності до теорії ідеального МП струм навантаження дорівнює нулю і рівняння (2.1) набуває такого вигляду:

$$U_m \sin \omega t = w_p S_c \frac{dB}{dt}. \quad (2.2)$$

Поділяючи змінні і інтегруючи частини рівняння отримаємо вираз індукції у сердечнику

$$B = -\frac{U_m}{\omega w_p S_c} \cos \omega t + A = -B_m \cos \omega t + A. \quad (2.3)$$

Часові діаграми роботи ДН надані на рис. 2.2.

Якщо підвищувати амплітуду джерела живлення U_m , відповідно буде підвищуватись амплітуда магнітної індукції B_m . При деякому значенні U_{ms} амплітуда магнітної індукції досягне значення індукції насичення B_s , яка згідно (2.3) буде визначатись наступним виразом:

$$U_{ms} = \omega w_p S_c B_s \quad (2.4)$$

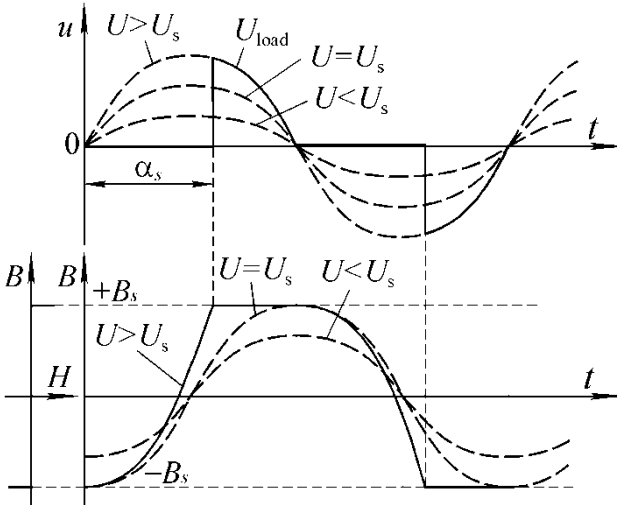


Рисунок 2.2 – Часові діаграми роботи ДН

При $U_m > U_{ms}$ частина півперіоду від 0 до t_s осердя буде перемагнічуватись, а у момент часу t_s досягає насичення і остається у стані насичення до кінця півперіоду. Вся напруга живлення в цей час виявляється прикладеною до навантаження.

Таким чином, середнє значення напруги на навантаженні за півперіод буде визначатись наступним виразом:

$$U_n = U - U_s,$$

де U – середня за півперіод напруга джерела живлення;

U_s – середня за півперіод напруга на ДН, яка згідно до виразу (2.3) буде визначатись таким чином

$$U_s = 4fB_sS_c.$$

Величина U_s не залежить від напруги живлення, тому характеристики ДН при різних частотах напруги живлення будуть мати вигляд наданий на рис. 2.3.

2.3 Завдання

2.3.1 Скласти схему експериментального дослідження ДН (виконати під час підготовки до роботи поза розкладом лабораторних занять).

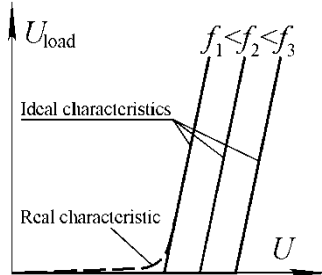


Рисунок 2.3 – Характеристики дроселя насичення.

2.3.2 Експериментально визначити характеристики ДН $U_d(U)$, $U_H(U)$, $I_H(U)$ та побудувати їх графіки.

2.3.3 Лінеаризувати визначені характеристики та визначити напругу насичення E_s і матеріал магнітопровода.

2.3.4 Зняти осцилограми напруг на дроселі $u_d(t)$ та навантаженні $u_H(t)$ при $U < U_s$ і $U > U_s$.

2.3.5 Зробити висновки по роботі.

2.4 Методичні вказівки.

2.4.1 Для виконання п. 2.3.1 необхідно скористатись підручником (див. розділ "Література") або конспектом лекцій. Схема для проведення експерименту повинна містити всі необхідні вимірювальні прилади.

2.4.2 Для отримання характеристик ДН у відповідності до п 2.3.2 використати одну з робочих обмоток МП ТУМ-А4-11 або ТУМ-А3-11М.

2.4.3 Для зручності зборки схеми та її перевірки схема повинна містити позначення клем обмоток МП, а також номери вузлів.

2.4.4 Складена схема повинна бути узгоджена з викладачем, який веде лабораторні роботи.

2.4.5 Для виконання п. 2.3.2 необхідно:

- зібрати схему; зібрана схема повинна бути обов'язково перевірена викладачем або лаборантом;

- встановити універсальні вимірювальні прилади у потрібний режим (амперметра або вольтметра змінного струму), а також найбільші діапазони вимірювання;

- увімкнути автомат QF і автомат відповідної фази джерела живлення;

- за допомогою автотрансформатора відповідної фази джерела

підвищити напругу живлення до максимальної величини і встановити оптимальні діапазони вимірювання амперметра та вольтметрів;

- знижуючи напругу живлення зробити 10–12 робочих вимірювань і занести їх результати до таблиці 2.1; при цьому більш детально дослідити характеристику в області вигину.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань та розрахунків.

$U, \text{В}$	$U_{\text{д}}, \text{В}$	$U_{\text{н}}, \text{В}$	$I_{\text{н}}, \text{А}$
---------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

2.4.6 Для виконання п. 2.3.4 потрібно:

- увімкнути осцилограф і підключити до нього високочастотний кабель;

- підключити кабель до об'єкту, що досліджується (дроселя або навантаження) і встановити потрібну напругу джерела ($U < U_s$ або $U > U_s$);

- встановити оптимальні масштаби з часу та амплітуди; зображення повинно бути синхронізовано;

- зробити фото осцилограми; усі осцилограми повинні мати однакові масштаби з часу та амплітуди.

2.4.7 Після закінчення робочих вимірювань і осцилографування потрібно встановити автотрансформатор у нульове положення, вимкнути всі автомати і, не розбираючи схему, узгодити результати вимірювань і осцилограми з викладачем.

2.6 Контрольні питання

2.6.1 Що таке ДН?

2.6.2 Де використовуються ДН?

2.6.3 Надати основні схеми підключення ДН.

2.6.4 Що таке U_s ?

2.6.5 Що називають частотою насичення?

2.6.6 Пояснити отримані осцилограми.

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОСЕЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Тривалість лабораторного заняття - 4 години

3.1 Мета роботи.

Метою роботи є експериментальне визначення основних характеристик дросельного магнітного підсилювача, а також отримання осцилограм напруг на окремих елементах схеми дослідження.

3.2 Предмет дослідження.

Дросельний магнітний підсилювач (ДМП) відрізняється від ДН тим, що по одній з його обмоток проходить постійна складова струму. Тобто ДМП це ДН з підмагнічуванням постійним струмом. Розрізняють два крайніх режиму у роботі ДМП: *режим змушеного намагнічування* і *режим вільного намагнічування*. Перший має місце при великому опорі кола керування, яке обмежує трансформацію змінного струму в коло керування; другий спостерігається при малому опорі кола керування, коли він практично не впливає струм трансформації в коло керування. Схема підключення найпростішого ДМП надана на рис. 1, але вона знайшла обмежене використання, оскільки має серйозні недоліки внаслідок трансформації змінної складової робочого струму. Змінний магнітний потік, який утворюється робочою обмоткою, наводить в обмотці керування (як у вторинній обмотці) змінну магніторушійну силу.

В режимі вільного намагнічування (тобто, при малому опорі кола керування) струм в робочому колі буде визначатись, головним чином, опором навантаження (як у короткозамкненому трансформаторі), тому ефекту керування струмом навантаження практично не буде. При цьому, буде спостерігатись спотворення синусоїдальної форми кривої струму навантаження.

В режимі вимушеного намагнічування (тобто, при великому опорі кола керування), трансформація змінного струму з робочого кола в коло керування суттєво обмежена. В реальності це здійснюється введенням в коло керування великої індуктивності або активного резистора. Але такі заходи значно погіршують техніко-економічні показники МП: підвищуються інерційність, витрати матеріалу, втрати, знижується коефіцієнт підсилення та інші.

Широке практичне використання набули ДМП з двома ДН з підмагнічуванням, в яких трансформація змінного струму з робочого кола усувається зустрічним включенням робочих обмоток відносно обмотки керування, рис. 3.1.

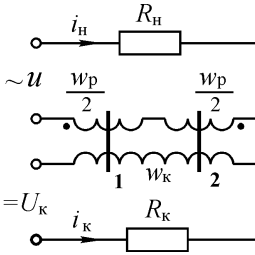


Рисунок 3.1 – Схема ДМП з двома робочими обмотками

Магнітний підсилювач містить Ш-подібний магнітопровід, на крайніх стрижнях 1 і 2 розташовується робоча обмотка w_p , що створює змінний магнітний потік. На середньому стрижні знаходиться обмотка керування w_k , що створює постійну складову магнітного потоку. При цьому, робоча обмотка підключається таким чином, що в середньому стрижні відсутня змінна складова магнітного потоку, отже і відсутня трансформація змінного струму в обмотку керування.

Розглянемо функціонування магнітного підсилювача в режимі вільного намагнічування. При чисто активному навантаженні відповідно до II-го закону Кірхгофа рівняння для робочого кола має такий вигляд:

$$u = i_n R_n + \frac{d\Psi_p}{dt} = i_n R_n + \frac{w_p S_c}{2} \left(\frac{dB_1}{dt} + \frac{dB_2}{dt} \right) \quad (3.1)$$

де B_1, B_2 – індукція відповідно у першому і другому стержнях, які змінюються у відповідності з такими виразами:

$$B_1 = -B_m \cos \omega t + B_0; \quad B_2 = -B_m \cos \omega t - B_0, \quad (3.2)$$

де B_0 – індукція, яка утворюється обмоткою керування (постійна за величиною та напрямком).

Якщо $|B_0| < B_s$, а $|B_m| = B_s$, то

$$B_1 = -B_s \cos \omega t + B_0; \quad B_2 = -B_s \cos \omega t - B_0, \quad (3.3)$$

Оскільки індукція у стержні не може бути по абсолютному значенні більшою, ніж B_s , то у початковий момент часу індукції у стержнях набувають таких величин:

$$B_1(0) = -B_s + B_0; \quad B_2(0) = -B_s.$$

Починаючи з моменту $t = 0$ індукція B_1 буде змінюється у відповідності до рівняння (3.3). Для визначення B_2 використаємо рівняння

кола керування:

$$U_{\kappa} = i_{\kappa} R_{\kappa} + \frac{d\Psi_{\kappa}}{dt} = i_{\kappa} R_{\kappa} + w_{\kappa} S_c \left(\frac{dB_1}{dt} - \frac{dB_2}{dt} \right)$$

У відповідності до визначення режиму вільного намагнічування $R_{\kappa} \approx 0$ (тобто дуже малий), тому

$$w_{\kappa} S_c \left(\frac{dB_1}{dt} - \frac{dB_2}{dt} \right) = 0; \quad \frac{dB_1}{dt} = \frac{dB_2}{dt}.$$

Отже, у будь-який момент часу різниця $B_1 - B_2 = B_0 = const$ (див. рис. 3.2).

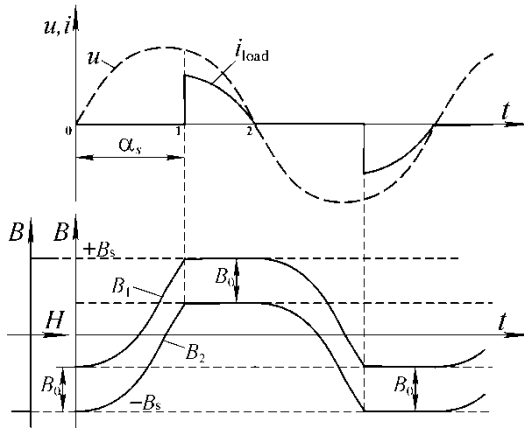


Рисунок 3.2 – Часові діаграми роботи ДМП.

Таким чином, у кожному півперіоді напруги живлення буде спостерігатись 2 характерних інтервалу часу:

0–1 – в цей інтервал часу обидва осердя перемагнічуються, тобто працюють на вертикальній ділянці ідеальної кривої намагнічування, при цьому робоча обмотка знаходиться у несповідному стані і струм у навантаженні відсутній;

1–2 – в цей інтервал 1-й сердник насичується, а у 2-му нема змінення індукції, тобто індуктивний опір також дорівнює нулю, тому сумарний індуктивний опір робочих обмоток буде дорівнювати нулю і струм навантаження буде визначатись лише опором навантаження. У другому півперіоді картина буде аналогічною.

Кут, який відповідає інтервалу 0-1 називають *кутом насичення*

α_s . Його можна визначити з рівняння (3.3)

$$\cos \alpha_s = \frac{B_0}{B_s} - 1.$$

Таким чином, змінюючи індукцію B_0 можна регулювати середнє та діюче значення струму навантаження.

При $B_0 = 0$; $\cos \alpha_s = -1$; $\alpha_s = \pi$, робоча обмотка не пропускає струм навантаження впродовж всього півперіоду. В цьому випадку магнітний підсилювач працює в *режимі холостого ходу*.

При $B_0 = 2B_s$; $\cos \alpha_s = 1$; $\alpha_s = 0$, робоча обмотка пропускає струм навантаження впродовж всього півперіоду і середнє значення робочого струму максимальне. В цьому випадку магнітний підсилювач працює в *режимі максимальної віддачі*.

Якщо ж $0 < B_0 < 2B_s$, магнітний підсилювач працює у *робочому режимі*. Враховуючі те, що $B_0 \equiv I_k$, характеристика керування ДМП буде мати вигляд, наданий на рис. 3.3.

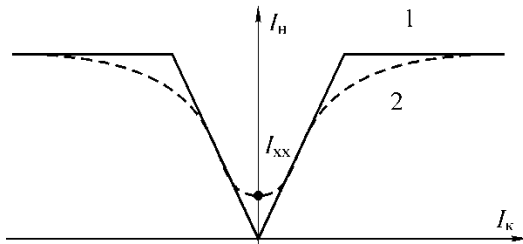


Рисунок 3.3 - Характеристики керування ідеального (1) та реального (2) ДМП

3.3 Завдання.

3.3.1 Скласти схему експериментального дослідження ДМП (виконати під час підготовки до роботи поза розкладом лабораторних занять).

3.3.2 Експериментально визначити характеристику керування ДМП та побудувати її графік.

3.3.3 По характеристиці керування визначити коефіцієнт підсилювання магнітного підсилювача.

3.3.4 Зняти осцилограми напруг на навантаженні $u_n(t)$ у трьох характерних режимах ДМП: холостого ходу, робочому та максимальної віддачі.

3.3.5 Зробити висновки по роботі.

3.4 Методичні вказівки.

3.4.1 Для виконання п. 3.3.1 необхідно скористатись підручником (див. розділ "Література") або конспектом лекцій. Схема для проведення експерименту повинна містити всі необхідні вимірювальні прилади.

3.4.2 Для отримання характеристики керування ДМП відповідно до п. 3.3.2 використати обидві робочі обмотки МП ТУМ-А4-11 або ТУМ-А3-11М і обмотку керування, клеми якої мають позначення 6Н–6К.

3.4.3 Для джерел живлення робочого кола і кола керування використати різні фази. Наприклад, якщо для робочого кола використовується джерело фазної напруги змінного струму фази "А", то для кола керування потрібно використати джерело фазної напруги постійного струму фази "В" або "С".

3.4.4 Опір навантаження робочого кола прийняти таким, що дорівнює 300 Ом, навантаженням в колі керування є сама обмотка керування.

3.4.5 Для зручності зборки схеми та її перевірки схема повинна містити позначення клем обмоток МП, джерел живлення, а також номери вузлів.

3.4.6 Складена схема повинна бути узгоджена з викладачем, який веде лабораторні роботи.

3.4.7 Для виконання п. 3.3.2 необхідно:

а) зібрати схему; зібрана схема повинна бути обов'язково перевірена викладачем або лаборантом;

б) встановити універсальні вимірювальні прилади у потрібний режим (амперметра або вольтметра змінного або постійного струму), а також найбільші діапазони вимірювання;

в) увімкнути автомат QF і автомат відповідної фази джерела живлення робочого кола;

г) за допомогою автотрансформатора джерела робочого кола підвищити напругу живлення до величини $2U_s$ (див. лабораторну роботу №2);

д) вимкнути автомат відповідної фази джерела живлення кола керування;

е) підвищуючи за допомогою автотрансформатора струм керування, зробити 10–12 робочих вимірювань і занести їх результати до таблиці 3.1; при цьому більш детально дослідити характеристику в області вигину.

Таблиця 3.1 - Результати вимірювань та розрахунків.

I_k, A	I_n, A	U_n, B	P_n, Bt
----------	----------	----------	-----------

3.4.8 Для виконання п. 3.3.4 потрібно:

а) увімкнути осцилограф і підключити до нього високочастотний кабель;

б) підключити кабель до навантаження робочого кола і встановити потрібний режим ДМП (холостого ходу, робочий, максимальної віддачі);

в) увімкнути осцилограф і після з'яви розгортки налагодити його, встановивши потрібні масштаби з часу та амплітуди; зображення повинно бути синхронізовано;

г) зробити фото отриманих осцилограм, всі вони повинні мати однакові масштаби з часу та амплітуди.

3.4.9 Після закінчення робочих вимірювань і осцилографування потрібно встановити автотрансформатор у нульове положення, вимкнути всі автомати і, не розбираючи схему, узгодити результати вимірювань і осцилограми з викладачем.

3.5 Контрольні питання

3.5.1 Пояснити принцип дії ДМП.

3.5.2 Які недоліки має схема ДМП з однією робочою обмоткою?

3.5.3 Як зменшують змінну складову напруги в колі керування?

3.5.4 Що таке характеристика керування ДМП?

3.5.5 Показати і пояснити різницю характеристик керування ідеального і реального ДМП.

3.5.6 Що характеризує коефіцієнт і як він визначається?

3.5.7 Які схеми ДМП найбільш розповсюджені у практиці?

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА З САМОНАСИЧЕННЯМ

Тривалість лабораторного заняття – 4 години

4.1 Мета роботи

Метою роботи є експериментальне визначення основних характеристик магнітного підсилювача з самонасиченням, а також осцилограм напруг на окремих елементах схеми дослідження.

4.2 Предмет дослідження.

Магнітний підсилювач з самонасиченням (МПС) відрізняється

від ДМП тим, що підмагнічування осердя в ньому здійснюється не тільки за рахунок струму, що тече в обмотці керування, але й за рахунок постійної складової струму навантаження. Схема підключення найпростішого МПС відрізняється від схеми підключення ДМП (див. рис. В.1) наявністю у робочому колі випрямного елемента (діода). Таким чином, в робочому колі проходить однопівперіодний струм навантаження з постійною складовою, за рахунок якої здійснюється додаткове підмагнічування осердя, пропорційне величині струму навантаження. Це викликає ефект, аналогічний дії обмотки зворотного зв'язку і тому МПС часто називають МП з *внутрішнім зворотнім зв'язком*. Відповідно МП без постійної складової струму навантаження часто називають МП з *зовнішнім зворотнім зв'язком*. Півперіод, в якому діод пропускає струм навантаження називають *робочим півперіодом*, а той в якому не пропускає називають *керуючим півперіодом*.

Припустимо, що:

- заданій амплітуді джерела відповідає максимальне значення індукції B_s ;
- повний опір кола керування дуже великий, тому струм в ньому визначається лише напругою U_k і не залежить від м.р.с., яка трансформується з робочого кола;
- вентиль має безкінечно великий опір в керуючий півперіод і нульовий у робочий;
- матеріал сердечника має ідеальну прямокутну петлю гістерезису у статичному режимі, проте процеси в МПС визначаються, головним чином, формою динамічної петлі гістерезису, яка являє собою паралелограм, рис. 4.1.

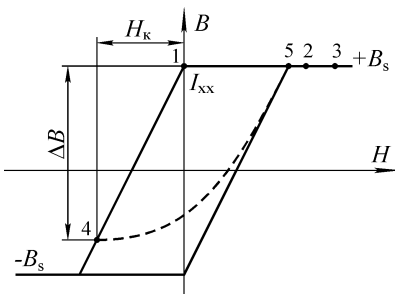


Рисунок 4.1 – Ідеальна динамічна петля гістерезису

При $I_k = 0$ відсутнє підмагнічування осердя обмоткою керування. В цьому випадку під дією постійної складової струму навантаження у сердечнику встановлюється індукція B_s і його магнітний режим визначається ділянкою 1–2, тобто перемагнічування відсутнє і сердечник весь час на-

сичений. В цьому випадку у робочий півперіод в навантаженні тече максимальний струм, який визначається опором навантаження.

При $I_k > 0$ утворений обмоткою керування магнітний потік за напрямком співпадає з потоком, утвореним постійною складовою струму навантаження. В цьому випадку магнітний режим сердечника буде відповідати точці 3 і струм навантаження також буде максимальним.

При $I_k < 0$ магнітний потік, що утворюється обмоткою керування, буде протилежним за напрямком по відношенню до потоку від постійної складової струму навантаження. В цьому випадку в кінці керуючого півперіоду індукція у сердечнику буде відповідати напруженості H_k (точка 4). В робочий півперіод магнітний режим визначається частинною динамічною гілкою гістерезису 4–5–2. На ділянці 4–5 відносна магнітна проникність набагато більше одиниці і індуктивність робочої обмотки значно зростає; в робочому колі тече невеликий струм. В точці 5 відносна проникність стає такою, що дорівнює 0 і до кінця робочого півперіоду в робочому колі тече струм, який визначається опором навантаження. Коли настає керуючий півперіод струм у робочому колі стає таким, що дорівнює 0, оскільки вентиль замикається, і сердечник за керуючий півперіод розмагнічується на ΔB . Часові діаграми роботи МПС надані на рис. 4.2.

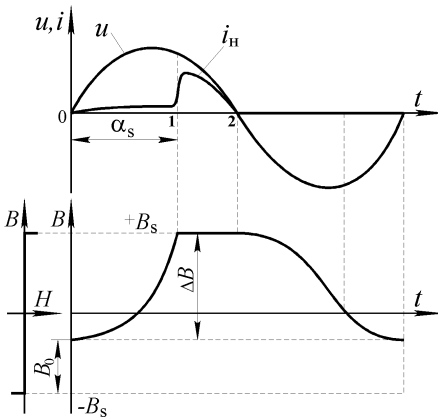


Рисунок 4.2 – Часові діаграми роботи МП з самонасиченням

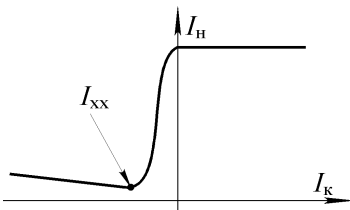


Рисунок 4.3 – Характеристика керування МПС

Середнє значення струму навантаження визначається величиною кута відсічки α_s , яка в свою чергу визначається величиною індукції B_0 утвореною обмоткою керування. Таким чином, враховуючі те, що $B_0 \equiv I_k$, характеристика керування МПС буде мати вигляд, який відповідає рис. 4.3.

4.3 Завдання

4.3.1 Скласти схему експериментального дослідження МПС (виконати під час підготовки до роботи поза розкладом лабораторних занять).

4.3.2 Експериментально визначити характеристику керування МПС та побудувати її графік.

4.3.3 Визначити основні характерні режими роботи МПС.

4.3.4 Зняти осцилограми напруг на навантаженні $u_n(t)$ у всіх характерних режимах МПС: робочому, максимальної віддачі та струмовому.

4.3.5 Зробити висновки по роботі.

4.4 Методичні вказівки.

4.4.1 Для виконання п. 4.3.1 необхідно скористатись підручником (див. розділ "Література") або конспектом лекцій. Схема для проведення експерименту повинна містити всі необхідні вимірювальні прилади.

4.4.2 Для отримання характеристики керування ДМП відповідно до п. 3.3.2 використати двохпівперіодну схему з навантаженням на змінному струмі.

4.4.3 Для робочого кола використати джерело фазної напруги змінного струму. Для кола керування – джерело постійного струму 0...12 В.

4.4.4 Опір навантаження робочого кола прийняти таким, що дорівнює 300 Ом, навантаженням в колі керування є сама обмотка керування.

4.4.5 Для зручності зборки схеми та її перевірки схема повинна містити позначення клем обмоток МП, джерел живлення, а також номери вузлів.

4.4.6 Складена схема повинна бути узгоджена з викладачем, який веде лабораторні роботи.

4.4.7 Для виконання п. 4.3.2 необхідно:

а) зібрати схему; зібрана схема повинна бути обов'язково перевірена викладачем або лаборантом;

б) встановити універсальні вимірювальні прилади у потрібний режим (амперметра або вольтметра, змінного або постійного струму), а також найбільші діапазони вимірювання;

в) увімкнути автомат QF і автомат відповідної фази джерела живлення робочого кола;

г) за допомогою автотрансформатора джерела робочого кола підвищити напругу живлення до величини $2U_s$ (див. лабораторну роботу №2);

д) увімкнути тумблер джерела живлення кола керування;

е) підвищуючи регулятором струм керування, зробити 5–6 робочих вимірювань, заносючи їх результати до таблиці 4.1;

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань та розрахунків.

I_k, A	I_n, A	U_n, B	P_n, Bt
----------	----------	----------	-----------

ж) вимкнути тумблер джерела живлення кола керування і поміняти місцями кінці обмотки керування;

з) знижуючи регулятором струм керування, зробити ще 5–6 робочих вимірювань, заносючи їх результати до таблиці 4.1;

і) більш детально дослідити характеристику в робочому режимі та режимі холостого ходу;

к) характеристику керування побудувати в двох квадрантах.

4.4.8 Для виконання п. 4.3.4 потрібно:

а) увімкнути осцилограф і підключити до нього високочастотний кабель;

б) підключити кабель до навантаження робочого кола і встановити потрібний режим МПС (холостого ходу, робочий, струмовий);

в) після з'яви розгортки налагодити його, встановивши потрібні масштаби часу та амплітуди; зображення повинно бути синхронізовано;

г) зробити фото отриманих осцилограм; усі осцилограми повинні мати однакові масштаби з часу та амплітуди.

4.4.9 Після закінчення робочих вимірювань і осцилографування потрібно встановити автотрансформатор у нульове положення, вимкнути всі автомати і, не розбираючи схему, узгодити результати вимірювань і осцилограми з викладачем.

4.5 Контрольні питання

4.5.1 Пояснити принцип дії МПС.

4.5.2 Що таке характеристика керування МПС?

4.5.3 Що таке робочий (керуючий) півперіод?

4.5.4 Назвіть та охарактеризуйте характерні режими роботи МПС.

4.5.5 Надати основні схеми МПС.

4.5.6 Чому МПС являють собою МП з внутрішнім зворотнім зв'язком?

4.5.7 Назвіть та охарактеризуйте статичні та динамічні параметри МПС.

5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ДРОСЕЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Тривалість лабораторного заняття – 4 години

5.1 Мета роботи.

Метою роботи є експериментальне визначення впливу зворотних зв'язків на основні характеристики дросельного магнітного підсилювача.

5.2 Предмет дослідження.

Зворотний зв'язок, у загальному випадку, являє собою засіб впливу на вихідний сигнал використовуючи при цьому вхідний сигнал. Зворотні зв'язки широко використовуються в електронних пристроях автоматики та низки інших пристроїв для покращення їх характеристик. В МП зворотний зв'язок здійснюється введенням додаткової обмотки – *обмотки зворотного зв'язку*, яка розташовується на тому ж сердечнику, що й обмотка керування, рис. 5.1.

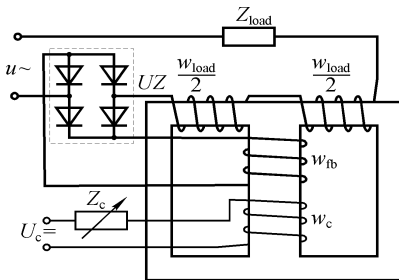


Рисунок 5.1 – Схема МП з зовнішнім зворотним зв'язком

Такий зворотний зв'язок в магнітних підсилювачах є *зовнішнім зворотним зв'язком*, який дозволяє змінити його характеристики керування.

Обмотка зовнішнього зворотного зв'язку підключається в робоче коло через випрямляч UZ. По обмотці зворотного зв'язку тече випрямлений робочий струм і таким же чином, як і обмотка керування

здійснює підмагнічування сердечників МП. При цьому індукція B_0 буде пропорційна сумі або різниці м.р.с. обмоток керування і зворотного зв'язку:

$$B_0 \equiv (I_K w_K \pm I_{33} w_{33}).$$

Знак + або – залежить від способу взаємного підключення обмоток. При узгодженому – м.р.с. обмоток будуть додаватись і зворотний зв'язок при цьому буде позитивним. При зустрічному – м.р.с. будуть відніматись і зворотний зв'язок буде негативним.

Враховуючі те, що обмотка зворотного зв'язку підключена послідовно з робочою обмоткою і $I_{зз} = I_p$

$$B_0 \equiv I_k w_k \pm I_p w_{зз} .$$

Таким чином, характеристики керування МП зі зворотним зв'язком будуть мати вигляд, наданий на рис. 5.2

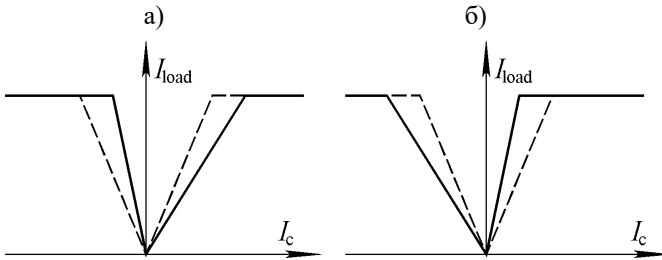


Рисунок 5.2 – Характеристики керування МП зі зворотними зв'язками:
а) з позитивним; б) з негативним.

5.3 Завдання.

5.3.1 Скласти схему експериментального дослідження зворотних зв'язків МПС (виконати під час підготовки до роботи поза розкладом лабораторних занять).

5.3.2 Експериментально визначити характеристики керування МПС при $R_n = \text{const}$; $I_{зз} = 0$ та побудувати відповідні графіки.

5.3.3 Експериментально визначити характеристики керування МПС при $I_{зз} = 0$; $I_{зз} = I_n$ при позитивному та негативному зворотних зв'язках та побудувати відповідні графіки.

5.3.4 Зняти осцилограми напруг на навантаженні $u_n(t)$ у всіх характерних режимах МПС. У релейному режимі визначити струми спрацьовування та відпускання

5.3.5 Зробити висновки по роботі.

5.4 Методичні вказівки.

5.4.1 Для виконання п. 4.3.1 необхідно скористатись підручником (див. розділ "Література") або конспектом лекцій. Схема для проведення експерименту повинна містити всі необхідні вимірювальні прилади.

5.4.2 Для отримання характеристик керування відповідно до пп 5.3.2 та 5.3.3 використати двохпівперіодну схему з навантаженням на

змінному струмі. Як обмотку зворотного зв'язку використати обмотку з позначеннями 1Н-1К. Для одержання релейного режиму підсилювача ТУМ-А3-11М в якості обмотки зворотного зв'язку використати одну з вільних обмоток керування з позначеннями 6Н-6К або 7Н-7К.

5.4.3 Для робочого кола використати джерело фазної напруги змінного струму. Для кола керування – джерело постійного струму 0...12 В.

5.4.4 Опір навантаження робочого кола прийняти таким, що дорівнює 300 Ом, навантаженням в колі керування є сама обмотка керування.

5.4.5 Для зручності зборки схеми та її перевірки схема повинна містити позначення клем обмоток МП, джерел живлення, а також номери вузлів.

5.4.6 Складена схема повинна бути узгоджена з викладачем, який веде лабораторні роботи.

5.4.7 Для виконання п. 5.3.2 необхідно:

а) зібрати схему; зібрана схема повинна бути обов'язково перевірена викладачем або лаборантом;

б) встановити універсальні вимірювальні прилади у потрібний режим (амперметра або вольтметра змінного або постійного струму), а також найбільші діапазони вимірювання;

в) увімкнути автомат QF і автомат відповідної фази джерела живлення робочого кола;

г) за допомогою автотрансформатора джерела робочого кола підвищити напругу живлення до величини $2E_s$ (див. лабораторну роботу №2);

д) увімкнути тумблер джерела живлення кола керування;

е) підвищуючи регулятором струм керування, зробити 5-6 робочих вимірювань, заносючи їх результати до таблиці 3.1;

ж) вимкнути тумблер джерела живлення кола керування і поміняти місцями кінці обмотки керування;

з) знижуючи регулятором струм керування, зробити ще 5-6 робочих вимірювань, заносючи їх результати до таблиці 3.1;

і) більш детально дослідити характеристику в робочому режимі та режимі холостого ходу;

к) характеристику керування побудувати в двох квадрантах.

Таблиця 5.1 – Результати вимірювань та розрахунків.

I_k, A	I_n, A	U_n, B	P_n, Bt
----------	----------	----------	-----------

5.4.8 Після закінчення робочих вимірювань встановити автотрансформатор у нульове положення, вимкнути всі автомати і, не розбираючи схему, узгодити результати вимірювань і осцилограми з викладачем.

5.5 Контрольні питання

5.5.1 Що таке зворотний зв'язок у магнітному підсилювачі?

5.5.2 Які різновиди зворотних зв'язків існують?

5.5.3 Чим характеризується глибина зворотного зв'язку?

5.5.4 Як визначаються статичні та динамічні параметри МПС з зовнішнім зворотним зв'язком?

5.5.5 При яких умовах виникає релейний режим МПС?

5.5.6 Як визначається коефіцієнт повернення МПС у релейному режимі?

5.5.7 Чим відрізняються МПС з зовнішнім і внутрішнім зворотним зв'язком?

ЛІТЕРАТУРА

1. Основы теории электрических аппаратов / [Б.К. Буль, Г.В. Буткевич, А.Г. Годжелло и др.]; под ред. Г.В. Буткевича. – М.: Высшая школа, 1970. – 600 с.
2. Шопен, Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики: учеб. для вузов / Л.В. Шопен. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
3. Шопен, Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики / Шопен Л.В. – М.: Энергия, 1976. – 568 с.
4. Преображенский, А.А. Магнитные материалы и элементы / А.А. Преображенский, Е.Т. Бишард. – М.: Высшая школа, 1986. – 352 с.
5. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / [Пятин Ю.М., Чернявская А.М., Владимирский Р.А. и др.]; под ред. Ю.М. Пятина. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с.
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт курсу "Безконтактні електричні апарати автоматики" /Склав В.Д. Флора. – Запоріжжя: ЗМІ, 1992. – 40 с.
7. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Бесконтактные электрические аппараты автоматики"/ Сост. В.Д. Флора. – Запорожье: ЗМИ, 1986. – 32 с.
8. Sidney Platt. Magnetic Amplifiers. Theory and Applications. – Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1958. – 254 pp.