

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

Електромагнітна техніка

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
з кредитного модуля "Електромагнітна техніка - 2"

Київ - 2015

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

Електромагнітна техніка

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
з кредитного модуля "Електромагнітна техніка - 2"

Для напряму підготовки 6.050802 – "Електронні пристрої та системи"
всіх форм навчання

Затверджено кафедрою промислової електроніки
НТУУ «Київський політехнічний інститут»

Київ - 2015

Електромагнітна техніка. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з кредитного модуля «Електромагнітна техніка - 2».

Для напряму підготовки 6.050802 – “Електронні пристрої та системи” всіх форм навчання / Уклад.: І.Ю.Бойко, О.О.Гусєв, В.А.Тодоренко. - К.: НТУУ «КПІ», 2015. - 68с.

Гриф «Рекомендовано» надано Вченою радою факультету електроніки

НТУУ «КПІ»

Протокол № від 22 червня 2015 р.

Навчальне видання

Електромагнітна техніка.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з кредитного модуля “Електромагнітна техніка - 2”

для напряму підготовки 6.050802 – “Електронні пристрої та системи”
всіх форм навчання

Укладачі: *Тодоренко Віктор Агафонович*, канд. техн. наук, доц.

Гусєв Олександр Олександрович

Бойко Іван Юрійович

Вступ

Кредитний модуль “Електромагнітна техніка-2” – є складовою частиною дисципліни “Електромагнітна техніка”, яку включено до вибіркової частини програми бакалаврської підготовки з напрямку підготовки 6.050802 – Електронні пристрої та системи. Курс входить до циклу дисциплін самостійного вибору ВНЗ.

Цей курс є одним з базових і охоплює широке коло пристроїв електронної техніки, які використовують явище магнетизму.

Мета курсу: вивчення фізичних принципів роботи та побудови найбільш розповсюджених електромагнітних пристроїв.

Під час вивчення курсу студенти набувають знань про фізичні основи магнетизму, параметри та характеристики основних магнітних матеріалів, методи розрахунку магнітних ланцюгів, ознайомлюються з основними видами електричних машин, методами вимірювання та регулювання їх параметрів, методами запису та відтворення інформації, які використовують магнітні та магнітооптичні явища.

Курс базується на наступних дисциплінах:

- Математичний аналіз;
- Фізика;
- Теорія електричних кіл;
- Матеріали і компоненти електроніки.

Курс “Електромагнітна техніка” є базовим для наступних дисциплін:

- Пристрої перетворювальної техніки;
- Силові електронні системи;
- Пристрої відображення та реєстрації інформації.

1. Загальні положення

Метою виконання циклу лабораторних робіт є:

- оволодіння вимірювальними приладами, що використовуються при дослідженні магнітного поля та електромагнітних елементів;
- оволодіння методиками розрахунку розгалужених магнітних ланцюгів;
- оволодіння методиками розрахунку та вимірювання індуктивностей розсіювання та власних ємностей статичних феромагнітних пристроїв;
- відпрацювання підходів до вибору матеріалів магнітної техніки для створення типових електромагнітних пристроїв;
- практичне засвоєння методик визначення параметрів та характеристик магнітних матеріалів;
- відпрацювання способів визначення режимів роботи магнітних ланцюгів.

До циклу включено наступні лабораторні роботи.

До циклу включено наступні лабораторні роботи.

1. *Лабораторна робота №1* Дослідження найпростішого магнітного підсилювача.

Розділ 1. Статичні феромагнітні пристрої модуляційного типу.

Тема 1.1 Магнітні підсилювачі. Найпростіший магнітний підсилювач. Режими роботи магнітних підсилювачів. Статичні характеристики магнітних підсилювачів. Магнітні підсилювачі з зовнішнім та внутрішнім зворотнім зв'язком. Реверсивні магнітні підсилювачі. Схеми магнітних підсилювачів. Стабільність магнітних підсилювачів. Використання магнітних підсилювачів.

2. *Лабораторна робота №2* Дослідження магнітних підсилювачів із зворотним зв'язком.

Розділ 1. Статичні феромагнітні пристрої.

Тема 1.1 Магнітні підсилювачі. Найпростіший магнітний підсилювач. Режими роботи магнітних підсилювачів. Статичні характеристики магнітних

підсилювачів. Магнітні підсилювачі з зовнішнім та внутрішнім зворотнім зв'язком. Реверсивні магнітні підсилювачі. Схеми магнітних підсилювачів. Стабільність магнітних підсилювачів. Використання магнітних підсилювачів.

3. *Лабораторна робота №3* Дослідження параметрів електромагнітних реле.

Розділ 2. Електромеханічні пристрої автоматики.

Тема 2.2 Електромагнітні реле сталого струму. Класифікація. Основні параметри та характеристики. Поляризовані реле. Геркони та фериди. Характеристики та параметри.

4. *Лабораторна робота №4* Ферорезонансний стабілізатор напруги.

5. *Лабораторна робота №5* Дослідження згладжуючого дроселя

2. Лабораторна робота №1 Дослідження найпростішого магнітного підсилювача

1. Мета роботи

- Ознайомитися з принципом дії найпростішого магнітного підсилювача.
- Провести дослідження магнітного підсилювача.

2. Програма роботи

2.1 Ознайомитися з макетом лабораторної установки, що зображено на рис. 1. З'ясувати призначення елементів схеми.

Ручки потенціометрів для зміни величини струмів керування ($R_{кер}$) та зміщення ($R_{зм}$) встановити у крайнє ліве положення. Це забезпечує мінімальну величину струмів. Включити макет у мережу живлення.

2.2 Дослідити залежність величини змінного робочого струму (I_p) від сталого струму керування ($I_{кер}$).

За допомогою потенціометра $R_{зм}$ встановити мінімальну величину струму зміщення. Використовуючи вольтметр для вимірювання змінної (на опорі навантаження) та постійної (на шунті $R_{ш1}$) напруги, зняти характеристики $I_p=f(I_{кер})$. Результати вимірювань занести до табл. 1.

2.3 Дослідити залежність робочої характеристики магнітного підсилювача від величини струму зміщення. Повторити попередні вимірювання для 4 - 5 значень струму зміщення. Величину струму змінювати за допомогою потенціометра $R_{зм}$. Результати занести до табл. 1.

2.4 Побудувати сімейство характеристик $I_p=f(I_{кер})$ при $I_{зм}=\text{const}$.

2.5 Визначити форму струму в колах робочої обмотки та обмоток керування і зміщення. Для цього зняти осцилограми напруги на резисторах R_n (X2-X7), $R_{кер}$ (X3-X4), $R_{зм}$ (X5-X6). Дослідження проводити для мінімальних та максимальних значень струмів керування та зміщення.

2.6 Для 4-5 значень струму зміщення та сталому значенні струму керування зняти та побудувати сімейство характеристик навантаження $U_{RH} = f(I_P)$. Струм навантаження I_P змінювати за допомогою резистора R_H від мінімальної до максимальної величини. Результати вимірювань занести до табл. 2.

2.7 Побудувати сімейство характеристик $U_p = f(I_P)$ при $I_{зм} = \text{const}$.

2.8 Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1

I_K [mA]								
$I_{зм1} =$ [mA]	I_P [mA]							
$I_{зм2} =$ [mA]								
$I_{зм3} =$ [mA]								
$I_{зм4} =$ [mA]								
$I_{зм5} =$ [mA]								

Таблиця 3

		$I_K =$ [mA]						
I_P [mA]								
$I_{зм1} =$ [mA]	U_{RH} [V]							
$I_{зм2} =$ [mA]								

$I_{зм3} =$								
[mA]								
$I_{зм4} =$								
[mA]								
$I_{зм5} =$								
[mA]								

$$I_k = \frac{U_k}{R_{ш1}} \quad I_{зм} = \frac{U_{зм}}{R_{ш2}} \quad I_p = \frac{U_p}{R_H}$$

3. Опис експериментальної установки

Магнітний підсилювач виконано на осерді з трьома обмотками – робочою (W_p), керування ($W_{кер}$), і зміщення ($W_{зм}$). В колах керування, зміщення та робочої обмоток розташовані потенціометри, які забезпечують регулювання величини струмів. Випрямлячі VD1 та VD2, разом з згладжуючими фільтрами C1R1, C2R2, забезпечують постійні струми керування та зміщення. Для дослідження форми та величини струмів в колах робочої обмотки, керування та зміщення використовуються опір навантаження (R_H) та опори шунтів ($R_{ш1}$, $R_{ш2}$), до яких підключено клеми X1 – X6.

Для зменшення величин вимірюваної напруги до безпечного рівня, використано понижуючий трансформатор T1.

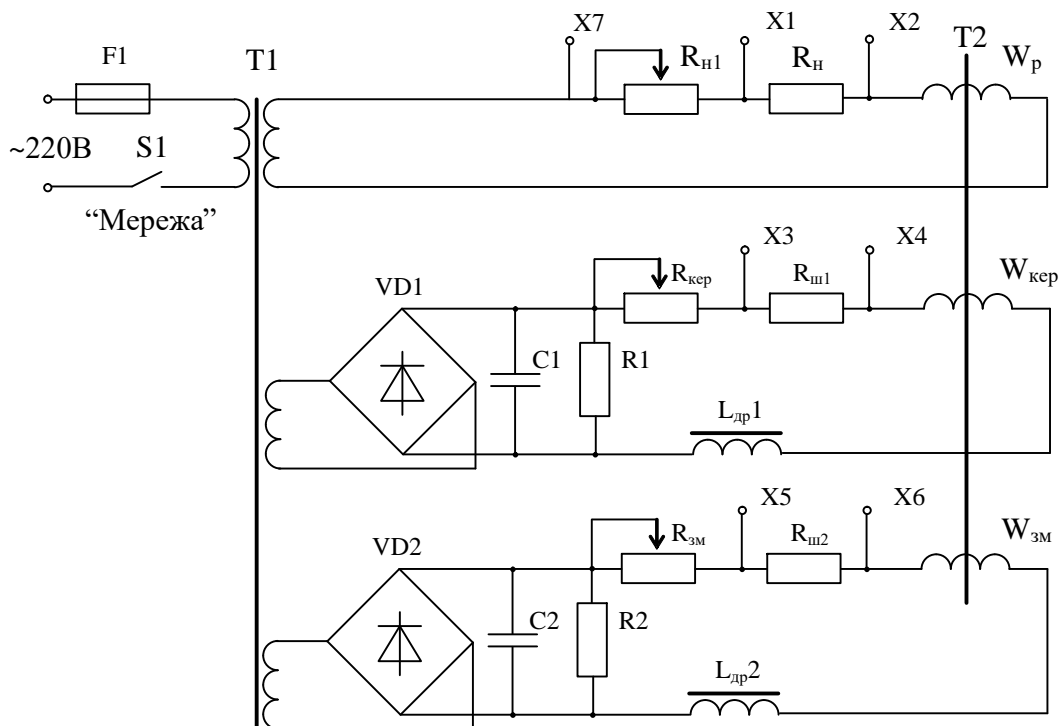


Рис. 1. Схема лабораторної установки

В схемі використано елементи з наступними параметрами:

$C1=1000$ мкФ; $C2=1000$ мкФ; $R1=16$ кОм; $R2=16$ кОм; $R_H=390$ Ом; $R_{ш1}=750$ Ом; $R_{ш2}=300$ Ом.

4. Зміст звіту

1. Титульний листок із назвою роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема експериментальної установки.
4. Результати вимірів, осцилограми.
5. Розрахункові дані та графіки.
6. Висновки.

5. Контрольні запитання

1. Пояснити призначення всіх елементів лабораторної установки.
2. Дати класифікацію магнітних підсилювачів.
3. Пояснити принцип дії найпростішого магнітного підсилювача.
4. Визначити статичні параметри та характеристики магнітних підсилювачів.
5. Запропонувати способи покращення характеристик магнітного підсилювача.
6. Визначити недоліки найпростішого магнітного підсилювача та пояснити методи їх усунення.

6. Література

1. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. - М.: Высшая школа, 1974.
2. Боярченков М.А., Черкашина А.Г. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. - М.: Высшая школа, 1976.

7. Теоретичні відомості

Магнітний підсилювач - це регулятор, який забезпечує регулювання вихідної потужності навантаження змінного струму за допомогою постійного струму керування.

Магнітні підсилювачі використовуються в різних областях техніки. На їх основі роблять регулятори потужності, магнітні реле, операційні підсилювачі. Промисловістю випускались однофазові та трифазові магнітні підсилювачі, що працювали з мережею змінного струму з частотою 50Гц, вхідною напругою 36 – 380 В та потужністю навантаження від 2 ВА до 250 кВА. У справжній час магнітні підсилювачі доцільно використовувати для створення регуляторів напруги, що працюють в колах змінного струму з частотою від 40 кГц до 30 МГц. Для характеристики властивостей магнітних підсилювачів використовують наступні статичні електричні параметри:

- номінальну потужність навантаження;

- величину напруги живлення;
- номінальний струм навантаження;
- номінальну напруга на виході підсилювача;
- кратність регулювання струму навантаження (відношення максимального струму навантаження до мінімального);
- номінальний струм керування.

Основною характеристикою магнітного підсилювача є характеристика керування - залежність струму робочої обмотки від струму керування $I_p=f(I_{кер})$. Найбільш вживана класифікація магнітних підсилювачів надається саме за виглядом цієї характеристики. Також широко використовується характеристика навантаження магнітного підсилювача – залежність діючого, або середнього значення напруги навантаження в залежності від струму навантаження $U_p=f(I_p)$. Ця характеристика дозволяє оцінити коефіцієнт корисної дії підсилювача, та визначити внутрішній опір кола робочих обмоток.

Магнітні підсилювачі поділяють на дві групи – нереверсивні та реверсивні.

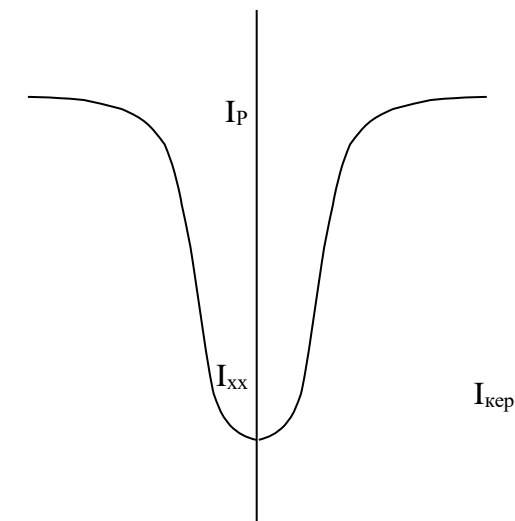


Рис.
2

Нереверсивним називають магнітний підсилювач, у якого полярність або фаза струму навантаження не залежить від полярності струму керування. В цій групі виділяють нейтральні та поляризовані підсилювачі.

У нейтрального магнітного підсилювача характеристика керування симетрична відносно осі ординат (рис 2).

Величина струму навантаження не змінюється при зміні полярності струму керування. Для введення залежності величини струму навантаження від величини струму керування характеристику

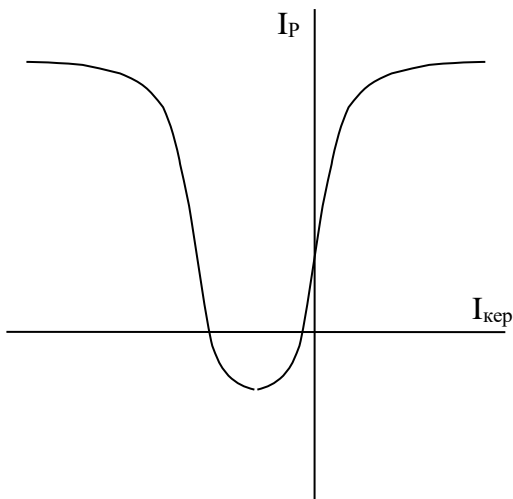


Рис.
3

навантаження зміщують (рис.3), для чого в магнітний підсилювач вводять додаткову обмотку зміщення. Такий підсилювач називають поляризованим.

Реверсивним називають магнітний підсилювач, у якого полярність або фаза струму навантаження змінюється у залежності від полярності струму керування. Виділяють реверсивні магнітні підсилювачі з виходом на сталому та змінному струмі.

Реверсивним магнітним підсилювачем з виходом на сталому струмі називають магнітний підсилювач, у якого полярність вихідного сталого струму змінюється у залежності від полярності струму керування.

Реверсивним магнітним підсилювачем з виходом на змінному струмі називають магнітний підсилювач, у якого фаза вихідного змінного струму змінюється на 180° при зміні полярності струму керування.

За схемотехнічною ознакою виділяють три типи реверсивних магнітних підсилювачів – диференційні, мостові та трансформаторні.

В даній роботі досліджується найпростіший магнітний підсилювач який побудовано на основі дроселя з підмагнічуванням.

Магнітний підсилювач складається з одного осердя та двох обмоток.

Принцип його дії оснований на зміні ступіні насичення осердя, за рахунок підмагнічування постійним магнітним потоком який викликаний струмом керування.

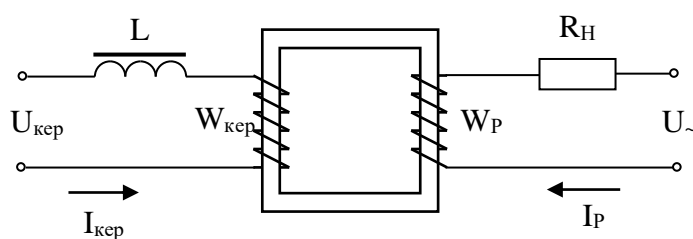


Рис. 4

На рис. 4 зображено схему найпростішого магнітного підсилювача, де:

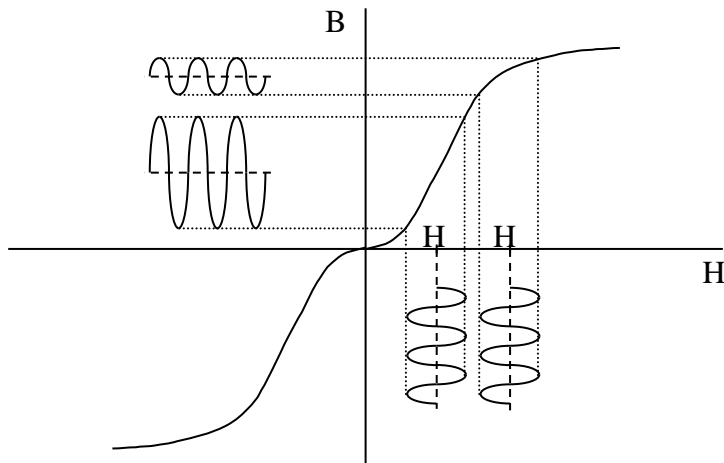


Рис. 5

W_k - обмотка керування, W_p - робоча обмотка, R_n - резистор навантаження, L - лінійний дросель в колі керування, який стримує коливання напруги, що наводяться на обмотці керування. В обмотку керування подається постійний струм,

значення якого можна регулювати. На робочу обмотку подається змінна синусоїдальна напруга.

Розглянемо основну криву намагнічування осердя. Напруженість магнітного поля H в осерді при роботі магнітного підсилювача, як видно з рис. 5, складається з 2-х складових - змінної та постійної. Змінну складову дає робоча обмотка, постійну - обмотка керування. Необхідно відмітити, що H пропорційно струму, а B - напрузі. Якщо постійна складова H відсутня або має невелике значення, тобто струм в обмотці керування малий, то амплітуда магнітної індукції B в осерді, а отже і напруги на робочій обмотці відносно велика. Коли струм в обмотці керування досягає такої величини, що робоча точка на кривій намагнічування переходить на ділянку насичення, то амплітуда індукції і напруги на робочій обмотці зменшується. При цьому практично вся напруга, яка підводиться до робочої обмотки, падає на навантаженні. Таким чином, при збільшенні струму керування збільшується амплітуда напруги на навантаженні.

На основі закону повного струму можливо записати вираз, який зв'язує струми в робочому колі і колі керування:

$$I_p \cdot W_p = I_{кер} \cdot W_{кер}$$

Цей вираз називають основним законом магнітного підсилювача. Якщо зробити обмотку керування з числом витків, яке в кілька разів перевищує число витків робочої обмотки, то можна одержати ефект підсилення по струму.

З точки зору теорії електричних кіл обмотка керування і робоча обмотка є магнітно-зв'язаними котушками, а керування струмом робочої обмотки здійснюється шляхом зміни індуктивності робочої обмотки, так як індуктивність пропорційна тангенсу кута нахилу дотичної до кривої намагнічування. Коли струм керування досягає значення, при якому настає насичення осердя, то індуктивність робочої обмотки зменшується, а отже, зменшується і її повний опір. При цьому сумарний опір робочого кола теж зменшується, а отже, збільшується величина робочого струму.

Електрорушійна сила, що наводиться в обмотці керування під впливом робочого магнітного потоку, є небажаною. Вона впливає на кола керування та приводить до зміни величини струму керування. Тому в найпростішому випадку в обмотці розміщують дросель, який стримує коливання струму керування. Але таке рішення приводить до збільшення інерційності підсилювача.

3. Лабораторна робота №2 Дослідження магнітних підсилювачів із зворотним зв'язком

1. Мета роботи

- Ознайомитися із принципом дії магнітних підсилювачів з внутрішнім та зовнішнім зворотнім зв'язком.
- Провести дослідження магнітних підсилювачів.

2. Програма роботи

2.1 Ознайомитися з макетом лабораторної роботи (рис.1). З'ясувати призначення елементів схеми. Ручки потенціометрів для регулювання величин струмів навантаження (R_H) поставити у крайнє праве положення, а зміщення (R_2) та керування (R_3) поставити у крайнє ліве положення, що забезпечує подачу мінімальних струмів.

2.2 За допомогою перемикача S_1 підключити макет до мережі живлення (220 В, 50 Гц).

2.3 Провести дослідження роботи магнітного підсилювача із зовнішнім зворотним зв'язком.

Відповідну конфігурацію схеми встановити за допомогою перемикача SA_2 (положення "2").

2.3.1 Для 4-5 значень струму зміщення зняти та побудувати сімейство характеристик керування $U_{RH} = f(I_K)$. Величину струму зміщення змінювати від 0 до 100 мА. Результати вимірювань занести до таблиці 1. Для 2-3 значень струму зміщення зняти осцилограми напруги навантаження (клеми X5, X6), струму зміщення (клеми X3, X4) та струму керування (клеми X1, X2).

2.3.2 Визначити вплив полярності струму керування на форму характеристики керування. За допомогою перемикача SA_1 змінити полярність струму керування. Для одного значення струму зміщення, що лежить у діапазоні 20-80

мА, зняти та побудувати характеристику керування магнітного підсилювача $U_{RH} = f(I_K)$. Результати вимірювань занести до таблиці 2.

2.3.3 Для 3-4 значень струму зміщення та сталому значенні струму керування зняти та побудувати сімейство характеристик навантаження $U_{RH} = f(I_P)$. Результати вимірювань занести до таблиці 3. Струм навантаження I_P змінювати за допомогою резистора R_H від мінімальної до максимальної величини.

2.4Провести дослідження роботи магнітного підсилювача із внутрішнім зворотним зв'язком. За допомогою перемикача SA2 необхідно змінити конфігурацію схеми (положення "1").

Для цього режиму роботи повторити досліди, що визначені в п.п. 2.3.1, 2.3.3.

Результати вимірювань занести до таблиць 4 та 6.

2.5Для обох режимів роботи магнітного підсилювача, при максимальному значенні струму навантаження, розрахувати коефіцієнт підсилення струму

$$K_i = \frac{\Delta I_p}{\Delta I_k} \quad \text{де} \quad I_p = \frac{U_{R_n}}{R_n}$$

2.6 Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1

I_{зм}, [A]	0,02	U_н=[B]					
		I_к=[A]					
	0,04	U_н=[B]					
		I_к=[A]					
	0,06	U_н=[B]					
		I_к=[A]					
	0,08	U_н=[B]					
		I_к=[A]					
	0,1	U_н=[B]					
		I_к=[A]					

Таблица 2

	$I_{зм} = \quad [мА]$				
$I_K, [А]$					
$U_H, [В]$					

Таблица 3

$I_{зм}, [А]$	$I_K = \quad [А]$					
0,03	$I_H = [А]$					
	$U_H = [В]$					
0,06	$I_H = [А]$					
	$U_H = [В]$					
0,09	$I_H = [А]$					
	$U_H = [В]$					

Таблица 4

$I_{зм}, [А]$	0,02	$U_H = [В]$					
		$I_K = [А]$					
	0,04	$U_H = [В]$					
		$I_K = [А]$					
	0,06	$U_H = [В]$					
		$I_K = [А]$					
	0,08	$U_H = [В]$					
		$I_K = [А]$					
	0,1	$U_H = [В]$					
		$I_K = [А]$					

Таблиця 5

	$I_{зм} = \quad [mA]$				
$I_{к}, [A]$					
$U_{н}, [B]$					

Таблиця 6

$I_{зм}, [A]$	$I_{к} = \quad [A]$				
0,02	$I_{н} = [A]$				
	$U_{н} = [B]$				
0,04	$I_{н} = [A]$				
	$U_{н} = [B]$				
0,06	$I_{н} = [A]$				
	$U_{н} = [B]$				

3. Опис експериментальної установки

Схему експериментальної установки зображено на рис. 1.

Магнітний підсилювач виконано на осерді з чотирма обмотками – робочою (W_p), зворотного зв'язку ($W_{зз}$), зміщення ($W_{зм}$) і керування (W_k). В колах обмоток керування та зміщення розташовані потенціометри R2 і R3, які забезпечують регулювання відповідних струмів. Для регулювання струму навантаження використовується змінний резистор R_n . Випрямляч VD1, разом з фільтром C1 та дроселями L1, L2 забезпечують постійні струми керування та зміщення. Для дослідження форми та величини струмів у колах робочої обмотки, керування та зміщення використовуються опори шунтів (R'_1 , R'_2 , R'_3), до яких підключено клеми X1–X2, X3–X4, X5–X6 відповідно.

Для підключення лабораторної установки до мережі живлення використовується перемикач S1. Світлодіод VD3 надає інформацію про наявність напруги живлення.

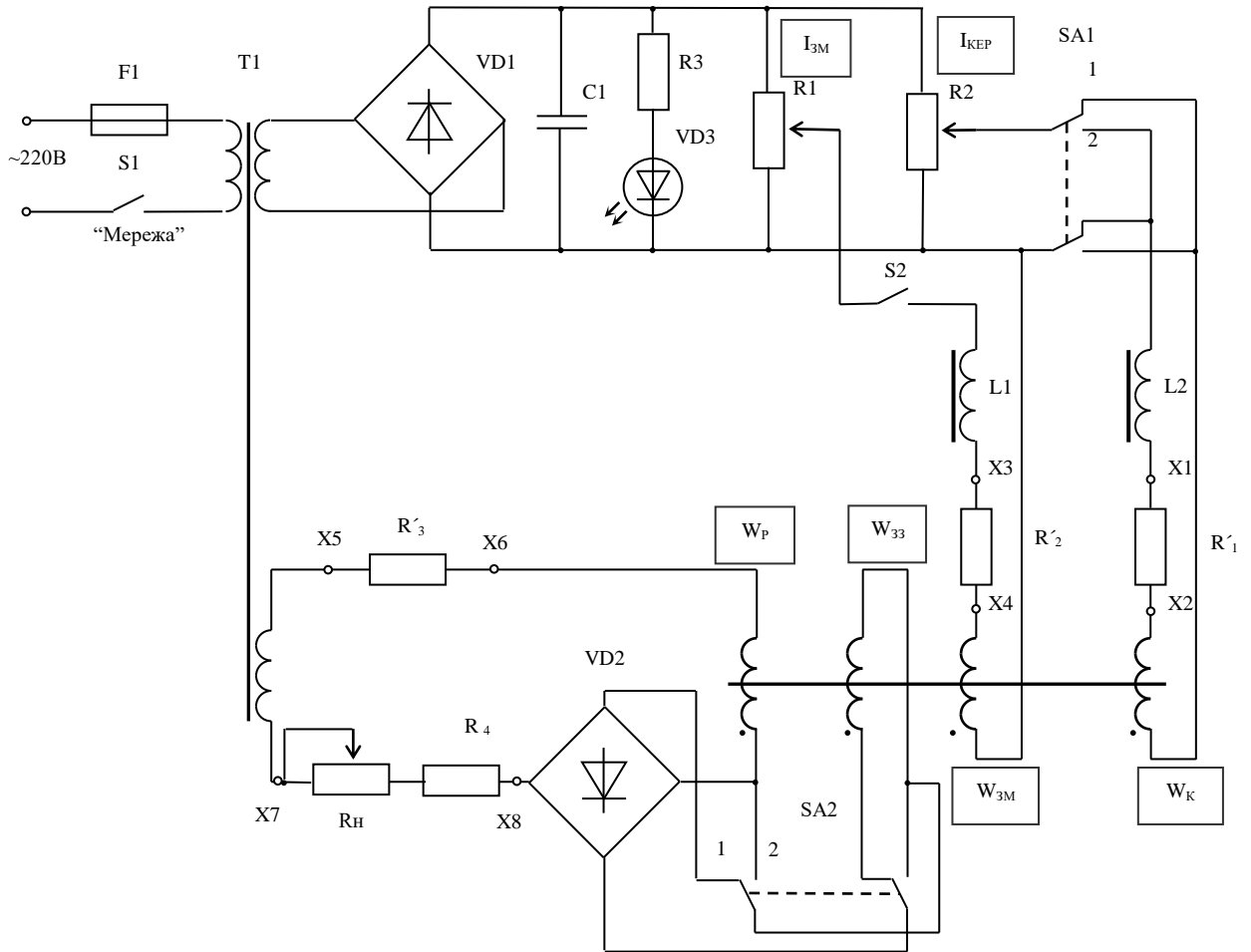


Рис. 1

За допомогою перемикача SA2 можлива зміна режиму роботи схеми підсилювача:

в положенні “1” схема працює як підсилювач з самонасиченням, або внутрішнім зворотнім зв’язком;

в положенні “2” схема працює як підсилювач з позитивним зовнішнім зворотнім зв’язком.

Перемикач S2 використовується для відключення обмотки зміщення.

За допомогою перемикача SA1 можлива зміна полярності струму керування.

Для зменшення величин вимірюваної напруги до безпечного рівня, використано понижуючий трансформатор T1.

В макеті використані елементи з такими параметрами - $R'_1 = R'_2 = R'_3 = 1$ Ом, $R_4 = 55$ Ом.

4. Зміст звіту

1. Титульний листок із назвою роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема експериментальної установки.
4. Результати вимірів, осцилограми.
5. Розрахункові дані та графіки.
6. Висновки.

5. Контрольні запитання

1. Надати класифікацію магнітних підсилювачів.
2. Пояснити призначення елементів схеми лабораторної установки.
3. Пояснити принцип роботи магнітного підсилювача з зовнішнім зворотнім зв'язком.
4. Пояснити принцип роботи магнітного підсилювача з внутрішнім зворотнім зв'язком.
5. Визначити вплив зворотного зв'язку на характеристики та параметри магнітного підсилювача.

6. Література

1. Миловзоров В.П. Электронные устройства автоматики. - М. : Высшая школа, 1974.
2. Боярчиков М.А., Черкашина А.Г. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. - М.: Высшая школа, 1976.

7. Теоретичні відомості

Значна стабільність характеристики керування $I_p = f(I_k)$ магнітного підсилювача дозволяє використовувати позитивний зворотній зв'язок (ПЗЗ). Введення ПЗЗ підвищує коефіцієнт підсилення та сприяє зниженню інерційності магнітного підсилювача. В залежності від типу зворотного зв'язку розрізняють магнітні підсилювачі з позитивним та негативним зв'язком. Крім того, по способу реалізації зворотного зв'язку (ЗЗ), виділяють магнітні підсилювачі з зовнішнім, внутрішнім та змішаним ЗЗ.

Розглянемо побудову та принцип дії магнітного підсилювача з зовнішнім зворотним зв'язком. Схему такого підсилювача зображено на рис. 2. Підсилювач виконано з навантаженням R_H на змінному струмі на двох сердечниках, з двома робочими обмотками W_P та двома обмотками керування W_K . Така схема усуває недоліки найпростішого магнітного підсилювача, забезпечуючи компенсацію змінної складової напруги, що індуктується в ланцюгові керування.

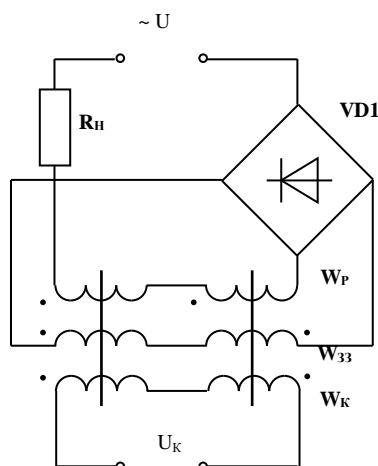


Рис. 2

Для реалізації зворотного зв'язку введено додаткові обмотки $W_{ЗЗ}$ та випрямляч VD1, що забезпечує сталий напрямок струму в цих обмотках. По обмоткам зворотного зв'язку протікає струм навантаження магнітного підсилювача.

Складові напруженості магнітного поля в сердечниках, що створюються струмом керування та струмом зворотного зв'язку, є додатними або від'ємними, в залежності від виду зв'язку. Якщо дія робочого струму I_p в обмотках W_{33} підсилює дію керуючого сигналу, то такий ЗЗ називають позитивним зворотнім зв'язком (ПЗЗ), якщо послаблює дію сигналу - негативним зворотнім зв'язком (НЗЗ). Перехід від ПЗЗ до НЗЗ здійснюється шляхом зміни напрямку протікання струму в обмотці зворотного зв'язку, відповідного фазування кінців обмотки W_{33} або за рахунок зміни полярності сигналу керування.

Негативний зворотний зв'язок зменшує коефіцієнт підсилення, але поліпшує стабільність статичної характеристики підсилювача. Позитивний зворотний зв'язок, навпаки, збільшує коефіцієнт підсилення, але погіршує стабільність характеристики підсилювача.

Основний закон такого магнітного підсилювача має наступний вигляд:

$$I_p \cdot W_p = |I_k \cdot W_k \pm I_p \cdot W_{33}|$$

Знак додавання використовується для схем з ПЗЗ, а віднімання - для НЗЗ.

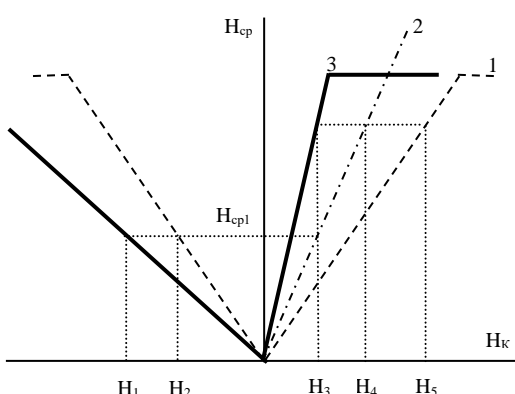
Струм навантаження визначається наступним чином

$$I_p = \frac{W_k}{W_p \mp W_{33}} \cdot I_k = \frac{1}{1 \mp K_{33}} \cdot \frac{W_k}{W_p} \cdot I_k,$$

де K_{33} - коефіцієнт зворотного зв'язку, величина якого залежить від співвідношення кількості витків обмоток зворотного зв'язку та робочої

$$K_{33} = \frac{H_{33}}{H_{cp}} = \frac{W_{33}}{W_p},$$

H_{cp} - середня за напівперіод напруженість магнітного поля.



На рис. 3 зображено статичну характеристику магнітного підсилювача із зворотним зв'язком (3). Для побудови такої характеристики використовують

Рис. 3

характеристику підсилювача без зворотного зв'язку (1), та характеристику зворотного зв'язку (2).

Якщо масштаби по осям H_{cp} та H_K співпадають, то для побудови характеристики зворотного зв'язку (2) проводять пряму, що проходить в першому квадранті через центр координат, під кутом $\alpha = \arctg K_{33}$ до осі ординат.

Статичну характеристику магнітного підсилювача із зворотнім зв'язком будують наступним чином. Для кожного значення середньої напруженості H_{cp} (3) знаходять різницю відповідної напруженості керування H_K підсилювача без зворотного зв'язку (1) та напруженості характеристики зворотного зв'язку (2). Наприклад, для крапки з координатами (H_{cp1}, H_1) , значення напруженості керування $H_1 = H_2 - H_3$.

Аналізуючи статичну характеристику керування, можливо зробити висновок про те, що зміна полярності струму керування впливає на тип зворотного зв'язку. У відповідності з наведеною на рис. 3 характеристикою, у першому квадранті, де струм керування додатний, реалізується позитивний, а у другому - негативний зворотний зв'язок.

Введення зворотного зв'язку суттєво впливає на основні показники магнітного підсилювача. Змінюються коефіцієнти підсилення по струму :

$$K_I = \frac{I_p}{I_k} = \frac{K_{I0}}{1 \mp K_{33}},$$

напрузі:

$$K_U = \frac{K_{U0}}{1 \mp K_{33}},$$

потужності:

$$K_P = \frac{K_{P0}}{(1 \mp K_{33})^2},$$

де K_{I0} , K_{U0} , K_{P0} , – коефіцієнти підсилення магнітного підсилювача без зворотного зв'язку

відповідно по струму, напрузі та потужності. Від'ємні значення у формулах використовуються

для підсилювачів з позитивним зворотним зв'язком.

До другої групи підсилювачів із зворотним зв'язком відносяться підсилювачі із самонасиченням, або внутрішнім зворотним зв'язком. Розглянемо побудову та принцип дії найпростішого підсилювача із самонасиченням, схему якого зображено на рис. 4.

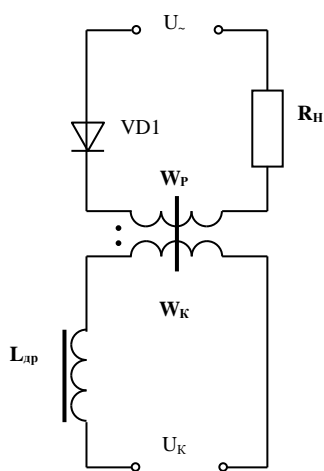


Рис. 4

В цій схемі послідовно з робочою обмоткою W_p ввімкнено діод VD1. Внаслідок наявності діода напруга мережі прикладається до цієї обмотки лише на протязі одного напівперіоду, який називається робочим. В робочий напівперіод зміна магнітного стану осердя відбувається в основному під дією напруги мережі.

В наступний напівперіод діод відсікає джерело живлення від робочої обмотки W_p і зміна магнітного стану осердя відбувається під дією струму, що протікає в колі керування підсилювача. Цей напівперіод називають керуючим.

В такому магнітному підсилювачі через робочу обмотку можуть протікати лише однонапівперіодні струми. Стала складова струму в робочій обмотці створює додаткове поле підмагнічування, яке формує позитивний зворотний зв'язок. Обмотка W_p є одночасно і робочою і обмоткою зворотного зв'язку.

Розглянемо більш детально принцип роботи ідеалізованого підсилювача.

Вважаємо, що осердя має ідеальну прямокутну петлю гістерезису, прямий опір діода $R_{пр} = 0$, а зворотний $R_{зв} \rightarrow \infty$, опір навантаження R_n чисто активний і сталий. Розглянемо випадок, коли струм в колі керування визначається лише величиною керуючої напруги (режим вимушеного намагнічування). Такий режим роботи забезпечується включенням дроселя в коло керування підсилювача.

Припустимо, що до початку робочого напівперіоду (рис. 5), під дією струму керування, в осерді встановлена індукція $-B_K$. В робочому напівперіоді (РП) на інтервалі часу $(0 - \alpha)$ осердя не насичене і в робочій обмотці W_p та навантаженні R_H протікає невеликий струм.

За рахунок того, що індуктивний опір робочої обмотки досить великий, падіння напруги на навантаженні R_H мале і вся напруга джерела живлення прикладена до робочої обмотки W_p . Цей інтервал характеризується зміною індукції в магнітопроводі від величини $-B_K$ до рівня індукції насичення B_S .

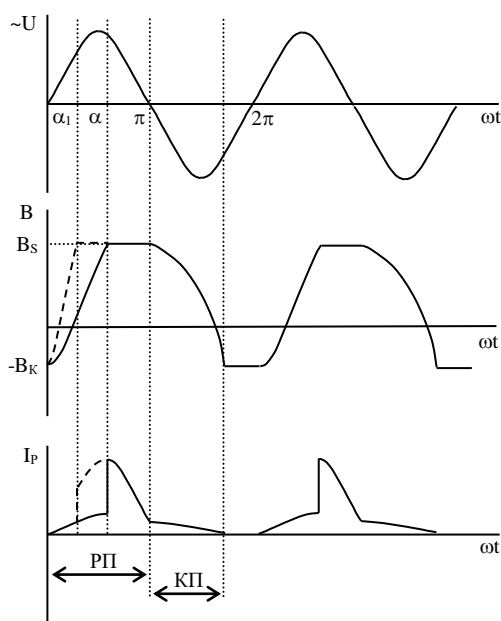


Рис. 5

Після насичення осердя на інтервалі часу $(\alpha - \pi)$ індуктивний опір робочої обмотки зменшується до нуля і вся напруга живлення прикладається до навантаження R_H .

На початку керуючого напівперіоду (КП) напруга живлення змінює полярність. Внаслідок дії струму керування індукція сердечника змінюється від значення індукції насичення B_S до сталого значення $-B_K$. На інтервалі зміни індукції в робочій обмотці формується електрорушійна сила

такої величини та напрямку, яка підтримує протікання току в робочій обмотці. Швидкість зміни індукції така, що ЕРС більше миттєвого значення напруги живлення. За рахунок цього діод підтримується у відкритому стані. Величина струму в робочій обмотці обмежується як опором навантаження, так і індуктивним опором робочої обмотки.

Наступний етап роботи підсилювача характеризується сталим значенням індукції $-B_K$. Так як на цьому етапі відсутня ЕРС та напруга живлення діє в непровідному напрямі випрямляча, то струм в колі робочої обмотки відсутній до кінця керуючого напівперіоду.

Розглянемо механізм дії позитивного зворотного зв'язку. На рис. 5 цей режим роботи відображається в часових діаграмах пунктирною лінією.

Зменшення опору навантаження веде до підвищення величини робочого струму. Внаслідок цього змінюється траєкторія зміни індукції на робочому періоді. Величина індукції змінюється від значення $-B_K$ до B_S за короткий проміжок часу, досягаючи значення індукції насичення при $\omega t = \alpha_1$. Внаслідок цього раніше відбувається і стрибкоподібна зміна робочого струму. Середнє значення робочого струму зростає.

Якщо розглянути ці процеси в цілому, то неважко помітити наступну закономірність – підвищення струму навантаження, в результаті дії процесів в схемі магнітного підсилювача, приводить до подальшого підвищення струму навантаження. Ця закономірність є типовою для підсилювачів із позитивним зворотним зв'язком.

4. Лабораторна робота №3 Дослідження параметрів електромагнітних реле

1. Мета роботи

- Ознайомитися з принципом роботи електромагнітного реле.
- Провести дослідження основних статичних та динамічних характеристик.
- Дослідити схеми, що забезпечують зміну швидкодії реле.

2. Програма роботи

2.1. Ознайомитися з макетом лабораторної роботи (рис. 1).

2.2. Провести дослідження статичних характеристик реле.

- Перевести SA2 у положення “1”. Вивести регулятори “Напруга” та “Частота” у крайнє ліве положення. Підключити вольтметр до клем X1 і X3.
- Виміряти величину напруги спрацювання $U_{спр}$. Підвищувати величину напруги, повертаючи регулятор “Напруга” вправо, до моменту загоряння світлодіода, включеного послідовно з контактами реле.
- Вимірюючи напругу на резисторі R1 (клеми X1 і X2), визначити величину струму спрацювання $I_{спр}$, $I_{спр}=U/R1$.
- Визначити напругу та струм відпускання реле $U_{відп}$ і $I_{відп}$. Зменшувати величину напруги, повертаючи регулятор “Напруга” вліво, до моменту загасання світлодіода.
- Аналогічні вимірювання провести для іншого реле. Результати занести до таблиці 1.

2.3. Провести дослідження динамічних характеристик реле.

- Перевести SA2 у положення “1”. Встановити на обмотці реле напругу 12 В.

Перевести SA2 у положення „5”. Обертаючи ручку “Частота”, отримати стійку генерацію. Підключивши осцилограф до клем X6-X5 (1 канал) і X6-X4 (2 канал), визначити час тремтіння контактів $t_{тр}$.

- Встановити SA2 у положення „2” і напругу на обмотці реле 12 В.

Залишаючи незмінною частоту перемикання реле, визначити час ввімкнення $t_{вв\text{ім}}$ та вимкнення $t_{в\text{ім}}$, для кожної із схем 3,4,6,7. Для цього канал 1 осцилографа підключити до X1-X3, а канал 2 до X5-X6 або X4-X6. Замалювати форму імпульсів струму і напруги на реле для цих схем.

- Підвищуючи величину частоти, для кожної із схем 3,4,6,7, визначити резонансну частоту, для якої припиняється перемикання контактів реле .
- Аналогічні вимірювання провести для іншого реле. Результати занести до таблиці 2.

2.4. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1

Параметри	Реле	
	1	2
$U_{спр}$ [В]		
$I_{спр}$ [мА]		
$U_{відп}$ [В]		
$I_{відп}$ [мА]		

Таблиця 2

Параметри	<i>Реле</i>	
	1	2
$t_{тр}$, [мс] (замикання)		
$t_{тр}$, [мс] (розімкнення)		
$t_{ввім3}$, [мс]		
$t_{вим3}$, [мс]		
$t_{ввім4}$, [мс]		
$t_{вим4}$, [мс]		
$t_{ввім6}$, [мс]		
$t_{вим6}$, [мс]		
$t_{ввім7}$, [мс]		
$t_{вим7}$, [мс]		
$F_{рез,3}$, [Гц]		
$F_{рез,4}$, [Гц]		
$F_{рез,6}$, [Гц]		
$F_{рез,7}$, [Гц]		

3. Опис експериментальної установки

В лабораторному стенді реалізована можливість дослідження двох типів реле у ланцюгах, що зображено на рис.1.

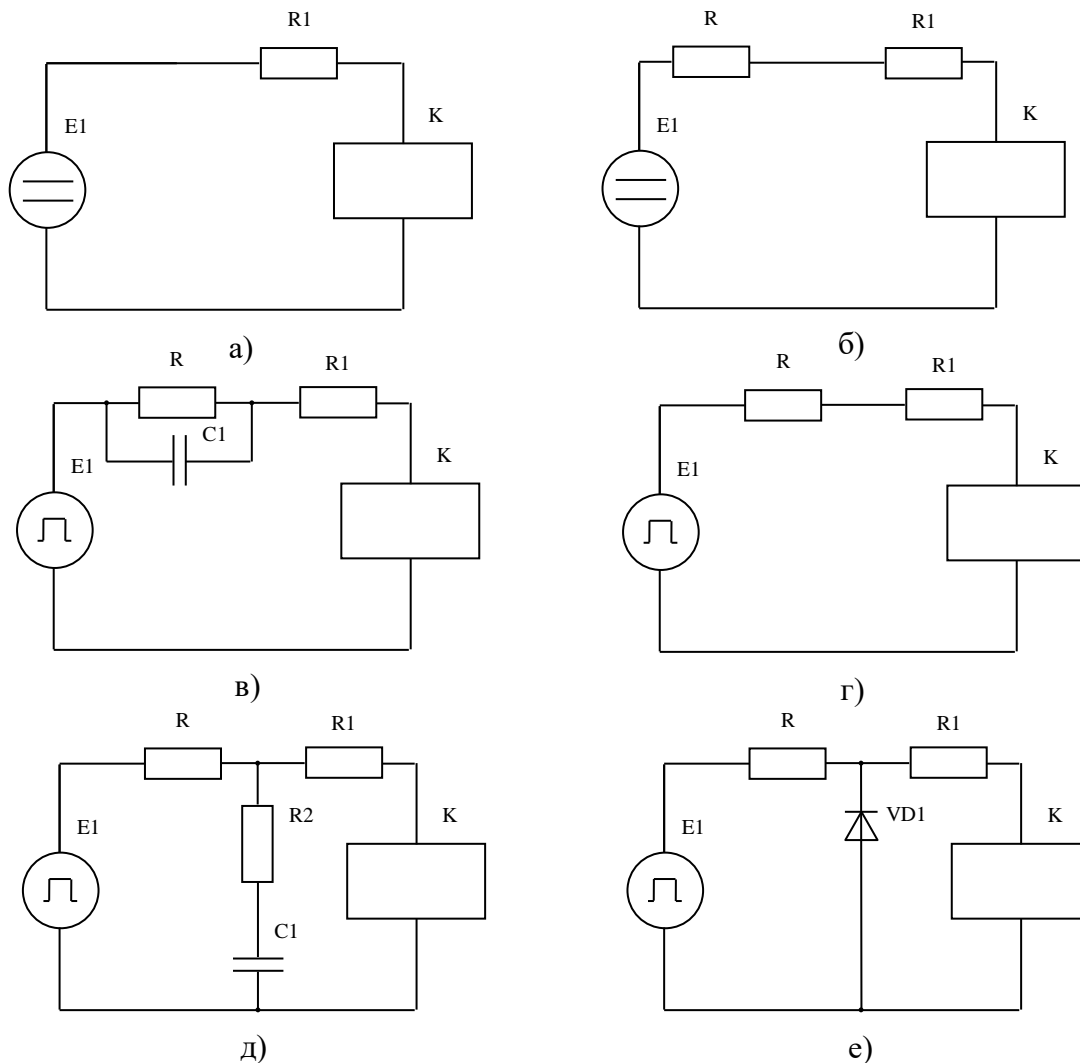


Рис.1

Схеми, що наведено на рис. 1а, 1б, використовуються для визначення статичних параметрів реле. Схеми, зображені на рис. 1в, 1г, 1д, 1е, використовуються в експериментах по визначенню динамічних параметрів реле.

Номінали елементів схеми:

- Опір обмотки першого реле $R_{обм} = \text{ Ом};$

- Опір обмотки другого реле $R_{\text{обм}} =$ Ом;
- Величина опору резистора $R_1 =$ Ом.

4. Зміст звіту

7. Титульний листок із назвою роботи.
8. Мета роботи.
9. Схема експериментальної установки.
10. Результати вимірів, осцилограми.
11. Розрахункові дані та графіки.
12. Висновки.

5. Контрольні запитання

1. Пояснити принцип дії електромагнітного реле.
2. Пояснити принцип дії магнітокерованих контактів і реле на їхній основі. Визначити їх основні переваги та недоліки.
3. Визначити основні статичні та динамічні параметри реле.
4. Визначити тягову та механічну характеристики реле. Навести приклади характеристик для реле з групами замикаючих та розмикаючих контактів.
4. Розповісти про роботу контактних груп реле і засобах збільшення їхнього терміну використання.
5. Проаналізувати схемотехнічні методи зміни часу спрацювання та відпускання реле.

6. Література

1. Розенблат М.А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. - М.: “Наука”, 1966.
2. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. - М.: Высшая школа, 1983.
3. Игловский И.Г., Владимиров Г.В. Справочник по слаботочным электрическим реле - Л.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Низе В.Е., Анитка И.В.. Справочник по устройствам автоматики. - М., Энергоатомиздат, 1983.

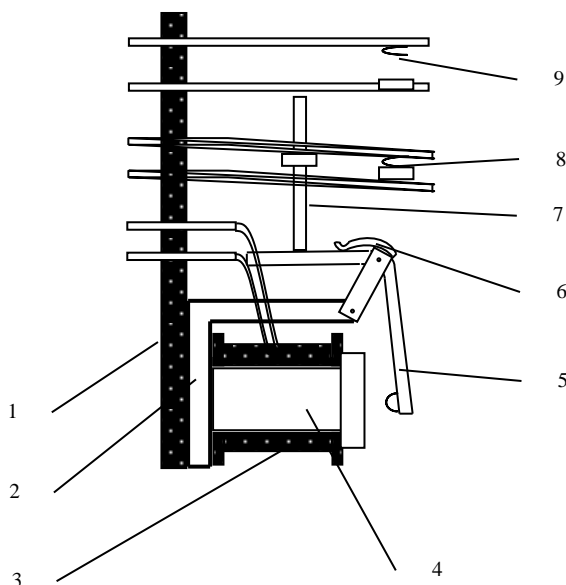
7. Теоретичні відомості

Загальні відомості. Класифікація.

Електромагнітні реле є найбільш поширеним електромагнітним засобом автоматики.

Розрізняють наступні типи реле:

- реле з рухомим якорем;
- реле з магнітокерованими контактами;
- нейтральні, що не реагують на полярність струму керування;
- поляризовані, стан яких залежить від полярності, або фази струму керування;



- за типом струму в обмотці виділяють реле постійного та змінного струму;
- за типом контактних пар розрізняють реле з замикаючими, розмикаючими та перемикаючими контактами.

Найбільше поширення в електронних пристроях набули реле клапанного типу та з поворотним якорем.

Рис. 2

На рис. 2 показана конструкція реле клапанного типу. На платі (1) розташований сталевий магнітопровід, що складається з ярма (2) осердя (4) і якоря (5). На осерді розташовано каркас з котушкою (3). У нормальному стані (при знеструмленій обмотці) якір максимально виведений від осердя за рахунок дії поворотної пружини (6) і пружин рухливих контактів (8,9). Механічне зусилля від якоря передається до рухливих контактів за допомогою штовхача (7). При цьому одна пара контактів замкнена (контакти, що розмикають, 8), а друга пара розімкнена (замикаючі контакти КЗ, 9). При подачі струму в обмотку, якір притягується до осердя електромагнітним зусиллям, долаючи дію механічних сил пружин. При цьому контакт КЗ замикається, а КР розмикається.

В електронних пристроях також широко використовуються магнітокеруємі контакти (МК), або геркони (герметизовані контакти), що являють собою дві пластинки з пермалою, впаяні в скляну трубочку. Пластинки виконують одночасно роль магнітопроводу і контактних пружин. Об'єм всередині колбочки заповнено азотом або інертним газом. Реле з МК виконують з замикаючими, або перемикаючими контактами.

Завдяки особливостям конструктивного виконання МК мають такі переваги:

- 1) високу надійність комутації в будь-якому середовищі;
- 2) підвищену надійність (порядку мільярда спрацьовувань);
- 3) висока швидкодія та малий час тремтіння контактів;
- 4) задовільну вібростійкість і радіаційну стійкість;
- 5) невелику вартість.

До недоліків МК відносяться:

- 1) мале число контактних груп (одна пара контактів в одній колбочці);
- 2) нижча чутливість, по відношенню до електромагнітних реле.

Досить часто в електронних схемах автоматики використовують реле, які реагують не лише на величину, але і на полярність струму керування. Такі реле називають поляризованими. Випускаються поляризовані реле двопозиційні,

трипозиційні та з перевагою до певної позиції. При знеструмленій обмотці якір двопозиційного реле може знаходитись в будь якому з двох крайніх положень, трипозиційного реле – в середньому нейтральному положенні, реле з перевагою - буде в конструктивно визначеному крайньому положенні. Для досягнення ефекту поляризації в конструкції реле використовують постійні магніти.

Характеристики реле.

Для опису реле, як правило, вживають дві основні характеристики.

Залежність електромагнітного зусилля від розміру повітряного зазору між якорем і сердечником називають тяговою характеристикою електромеханічного реле.

Залежність механічних сил, приведених до зазору між якорем і сердечником, від розміру цього зазору називають механічною характеристикою реле.

Вираз для електромагнітного зусилля реле поворотного типу має наступний вигляд:

$$F_E \approx \frac{(Iw)^2 \mu_0 S_\delta}{2\delta^2},$$

де: S_δ – площа перетину повітряного зазору; δ - довжина повітряного зазору.

На рис.3 зображено дві тягові характеристики, побудованих для двох

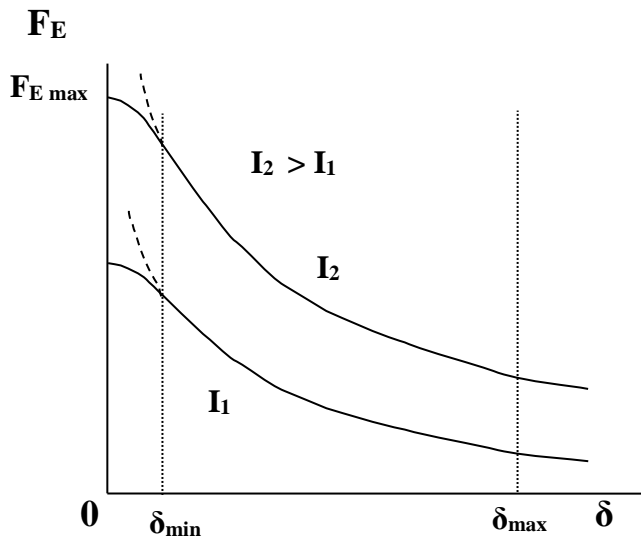


Рис.3.

значень струму I_1 та I_2 . Тягові характеристики мають нелінійний характер. Теоретично ця характеристика іде в нескінченність при δ , що прямує до нуля (пунктирна крива на рис.3.). Реальне зусилля досягає лише значення $F_{E \max}$. У реле завжди обмежують мінімальний зазор, між якорем та сердечником, використовуючи немагнітний штифт. У іншому випадку якір може

"залипнути", тобто залишитися притягнутим після вимикання струму в обмотці, за рахунок залишкового потоку в осерді.

Механічну характеристику реле зображено на рис. 4. Вона утворюється в результаті складання характеристик поворотної пружини ПП і пружин контактних груп КР і КЗ.

Для забезпечення спрацювання реле механічна характеристика повинна розміщатися між двома тяговими характеристиками, що відповідають величинам струму спрацювання (I_2 , рис. 3) та відпускання (I_1 , рис. 3).

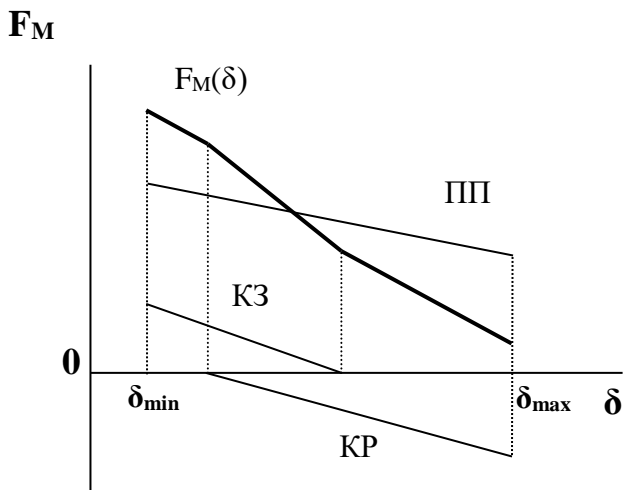


Рис.4.

Параметри реле.

До основних параметрів реле відносять групи статичних параметрів кола обмотки, статичних параметрів кола контактної пари та динамічних параметрів.

- Статичні параметри кола обмотки.

Струмом спрацювання $I_{\text{спр}}$ називають мінімальне значення струму в обмотці, під дією якого електромагнітне зусилля починає перевищувати механічне і якір реле притягується до осердя.

Струмом відпускання $I_{\text{відп}}$ називають максимальне значення струму, дія якого не в змозі створити електромагнітне зусилля, що утримує якір у притягнутому стані, внаслідок чого якір повертається в нормальне положення.

Напругою спрацювання та напругою відпускання називають величини напруги, відповідні до струму спрацювання та струму відпускання.

Коефіцієнтом повернення реле називають відношення струму відпускання до струму спрацювання $K_{\text{пов}} = I_{\text{відп}} / I_{\text{спр}}$. Звичайно $K_{\text{пов}} = 0,2 - 0,8$. Величина $K_{\text{пов}}$ залежить від узгодження тягових та механічних характеристик реле, а також від властивостей використаних магнітних матеріалів. Значення $K_{\text{пов}}$ зростає, якщо використовуються матеріали з підвищеною коерцитивною силою.

Робочим струмом I_p називають номінальний струм в колі обмотки, що забезпечує в заданому температурному діапазоні та при заданому механічному впливі на реле надійне утримання якоря в притягнутому стані.

Коефіцієнтом запасу називають відношення величини робочого струму до струму спрацювання $K_z = I_p / I_{\text{спр}}$.

Опором обмотки реле називають величину опору обмотки, визначену за певних температурних умов (звичайно $t^0 = 25^{\circ}\text{C}$).

Визначені вище параметри реле надають в довідниках по реле в групі *часткових параметрів*.

- Динамічні параметри.

Часом спрацювання реле називають мінімальний проміжок часу, що визначається з моменту подачі на обмотку керуючого впливу до моменту переводу контактної пари в новий сталий стан. Час спрацювання складається з двох складових – часу затримки рушання та часу руху $t_{\text{спр}} = t_{\text{зр}} + t_p$.

На інтервалі затримки рушання струм в обмотці реле наростає від нуля до величини струму спрацювання. Наприкінці цього проміжку електромагнітне зусилля перевищує протидіюче механічне і якір приходить до руху. Час руху визначається як час необхідний для переміщення якоря з нормального стану в притягнуте. В кінці цього часу контактна пара переходить з попереднього сталого стану в новий сталий стан.

Часом відпускання реле називають мінімальний проміжок часу необхідний для перевodu якоря з притягнутого стану в новий сталий стан. Цей час також складається з двох аналогічних складових – часу затримки відпускання (затримки рушання) та часу руху. Час затримки відпускання обумовлений зменшенням струму обмотки від робочого значення до величини струму відпускання. В кінці цього інтервалу механічне зусилля сил опору перевищує електромагнітне зусилля і якір починає рухатись.

Час руху якоря, при відсутності спеціальних гальмуючих пристроїв значно менше часу затримки рушання. Тому час спрацювання реле залежить в основному від часу затримки рушання.

Часом тремтіння контактів реле називають інтервал часу від моменту першого стійкого спрацювання контактної групи (замикання, розмикання) до початку сталого режиму. Контактна пара є механічною системою якій властива певна резонансна частота. Комутація елементів такої системи супроводжується коливаннями. Внаслідок цього, при перемиканні контактів реле формується проміжок часу на якому контактна пара знаходиться в неусталеному режимові роботи. На цьому інтервалі величина опору між контактами неодноразово змінюється від максимального до мінімального значення.

Максимальна частота перемикання реле – це найбільша частота зміни стану реле, для якої надійно переключаються контактні пари. Цю частоту визначають величини часу спрацювання та відпускання реле $F_{\max} < 1 / (t_{\text{спр}} + t_{\text{відп}})$.

Для зміни динамічних параметрів реле вживають як конструктивні, так і схемотехнічні методи.

Конструктивні способи зменшення часу спрацювання та відпускання пов'язані із зменшення маси рухомих частин, раціональним вибором конструктивних параметрів елементів, зменшенням впливу вихрових струмів.

Схемотехнічні методи зміни часу спрацювання та відпускання вивчаються в цій лабораторній роботі.

В схемі, наведеній на рис. 1,б послідовно з обмоткою реле вмикається додатковий резистор. Це приводить до зменшення часу спрацювання, але разом з тим збільшується величина робочої напруги.

В схемі наведеній на рис 1,в використовується додатковий форсуючий конденсатор, який підвищує величину струму та дозволяє зменшити величину часу спрацювання, відносно попередньої схеми.

Схема, що наведена на рис. 1,д, може використовуватись при необхідності збільшення як часу спрацювання, так і відпускання реле.

На відміну від попередньої, схема, що наведена на рис. 1,е, використовується для збільшення часу відпускання реле. Ця схема не впливає на величину часу спрацювання.

- Статичні параметри кола контактної пари.

Контакти, що замикають і розмикають електричні ланцюги, є виконавчими органами реле. До них подаються такі вимоги: надійність електричного з'єднання, довговічність, стійкість до впливу зовнішнього середовища,

Під час роботи реле контакти можуть знаходитися в чотирьох режимах: у замкненому, у процесі розмикання, у розімкненому, у процесі замикання.

Для опису розімкненого стану використовується величина напруги між контактами.

Максимальна напруга контактної пари – це максимальна напруга, що може прикладатися до контактів розімкненої контактної пари. Така напруга регламентується окремо для сталої та змінної напруги певної частоти.

Для опису замкненого стану реле використовують наступні параметри.

Максимальний струм контактної пари – це максимальна величина струму, що протікає через замкнену контактну пару. Як і в попередньому випадку регламентуються окремо величина сталого та змінного струму. Для режиму змінного струму також вказується мінімальна величина *коефіцієнту потужності* та *максимальна частота*.

Величина опору контактної пари – це значення опору замкненої контактної пари, що працює в режимі номінальної потужності навантаження сталого струму, та певної температури зовнішнього середовища.

Найважчими режимами роботи контактної пари є замикання контактів, за умови роботи на навантаження з ємнісною реакцією, або розмикання контактів, при роботі з індуктивним навантаженням. Комутація навантаження ємнісного типу супроводжується протіканням імпульсних струмів великої амплітуди, що може привести до спікання контактів. При розмиканні контактів з індуктивною реакцією навантаження створюються умови для генерації е.р.с. самоіндукції. Це може привести до іскріння та виникнення дуги.

Всі засоби гашення дуги зводяться до того, щоб вольтамперна характеристика

дуги була вище вольтамперної характеристики навантаження схеми (рис. 5).

Такими засобами є:

- застосування більш тугоплавких матеріалів сплавів;
- збільшення відстані між контактами в розімкненому стані;
- розташування контактів в мастилi, де

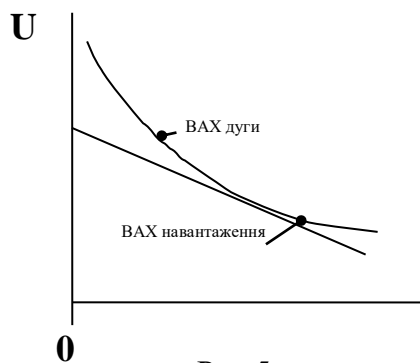


Рис.5.

утворення дуги ускладнено;

- магнітне дуття.

Коли параметри ланцюга навантаження такі, що лінія навантаження знаходиться нижче ВАХ дуги, то при розмиканні дуга взагалі не виникає.

Якщо потужність ланцюга менше потужності, що відповідає граничній характеристиці вимикання, то процес розмикання контактів може

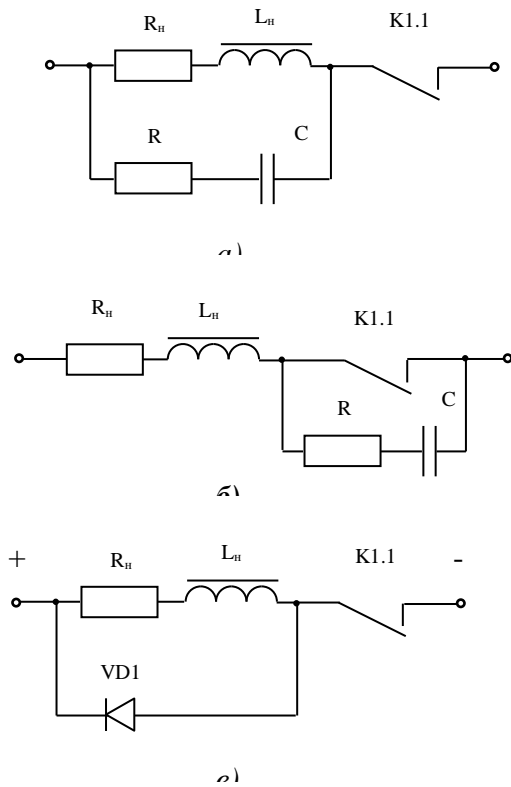


Рис. 6

супроводжуватися іскрінням. Проте виникнення іскри можливо, якщо напруга на контактах у процесі їхнього переміщення виявиться вище напруги запалювання розряду. Мінімальна величина напруги запалювання розряду в атмосфері становить біля 300В. Але при розмиканні ланцюгів, що містять індуктивність, е.р.с. самоіндукції, що накладається при зникненні струму може перевищувати напругу запалювання навіть при напрузі мережі в декілька вольт.

Всі методи іскрогашення зводяться до зменшення швидкості зменшення струму в індуктивності, що в свою чергу

приводить до зниження е.р.с. самоіндукції.

Для цієї мети часто застосовують шунтування ємністю з опором індуктивного навантаження (рис. 6,а), або контактів(рис. 6,б). У обох випадках з'являється перехідний струм, що проходить ще якийсь час після розмикання контактів і тим само запобігає наведенню високих е.р.с. самоіндукції, що мали б місце при миттєвому розмиканні ланцюга контактами. Аналогічну дію виконує діод, що шунтує індуктивне навантаження і пропускає перехідний

струм (рис. 6,в), що створюється е.р.с. самоіндукції в момент розмикання ланцюга.

5. Лабораторна робота №4 Ферорезонансний стабілізатор напруги

1. Мета роботи

- Ознайомитися із принципом дії ферорезонансного стабілізатора, його основними характеристиками та параметрами.
- Провести дослідження стабілізатора напруги .

2. Програма роботи

2.1 Ознайомитися з макетом лабораторної установки, яку зображено на рис. 1. Усвідомити призначення елементів схеми.

2.2 Провести дослідження електромагнітного стабілізатора напруги.

2.2.1 При відключених конденсаторах і компенсаційній обмотці, для різних значень опору навантаження, зняти залежність вихідної напруги стабілізатора від вхідної $U_{\text{ВИХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$. Результати вимірів занести до таблиці 1. Побудувати сімейство характеристик $U_{\text{ВИХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$.

Зняти осцилограми вхідної напруги, вхідного струму та напруги на навантаженні.

2.2.2 Дослідити вплив компенсаційної обмотки на стабільність вихідної напруги. При відключених конденсаторах і ввімкненій компенсаційній обмотці, для різних значень опору навантаження, зняти залежність вихідної напруги стабілізатора від вхідної $U_{\text{ВИХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$. Результати вимірів занести до таблиці 2. Побудувати сімейство характеристик $U_{\text{ВИХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$.

2.3 Провести дослідження ферорезонансного стабілізатора напруги.

2.3.1 Визначити вплив величини ємності конденсатора ферорезонансного контуру на стабільність вихідної напруги. Для середнього значення опору навантаження та трьох значень ємності конденсатора зняти залежність вихідної напруги стабілізатора від вхідної $U_{\text{ВИХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$.

Результати вимірів занести до таблиці 3. Побудувати сімейство характеристик $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$.

Дослідити вплив компенсаційної обмотки на стабільність вихідної напруги ферорезонансного стабілізатора. Повторити дослід по п. 2.3.1 при ввімкненій компенсаційній обмотці. Результати вимірів занести до таблиці 4. Побудувати сімейство характеристик $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$.

Визначити комбінацію параметрів схеми, за якої на вашу думку забезпечується найкраща стабільність вихідної напруги. Для цього режиму роботи зняти та побудувати характеристику $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$. Результати вимірів занести до таблиці 5.

Зняти осцилограми вхідної напруги, вхідного струму та напруги на навантаженні.

2.4 По даним таблиць 1 – 5 обчислити величину коефіцієнту стабілізації по напрузі.

Таблиця 1

		$U_{\text{вих}} [\text{В}]$										K_{CU}	
$U_{\text{вх}}$ [В]	$R_{\text{н}} = 1$ кОм												
	$R_{\text{н}} = 5$ кОм												
	$R_{\text{н}} = 10$ Ом												

Таблиця 2

		$U_{\text{вих}} [\text{В}]$										K_{CU}	
$U_{\text{вх}}$ [В]	$R_{\text{н}} = 1$ кОм												

	$R_H = 5$											
	кОм											
	$R_H = 10 \text{ Ом}$											

Таблиця 3

		$U_{\text{вих}} [\text{В}]$										$K_{\text{СУ}}$
$U_{\text{вх}}$ [В]	C1											
	C2											
	C3											

Таблиця 4

		$U_{\text{вих}} [\text{В}]$										$K_{\text{СУ}}$
$U_{\text{вх}}$ [В]	C1											
	C2											
	C3											

Таблиця 5

		$U_{\text{вих}} [\text{В}]$										$K_{\text{СУ}}$
$U_{\text{вх}} [\text{В}]$												

3. Опис експериментальної установки

Експериментальну установку зображено на рис. 1.

В програмі роботи запропоноване дослідження двох режимів роботи, відповідно, електромагнітного та ферорезонансного стабілізаторів. Режим електромагнітного стабілізатора реалізується при відключених ємностях ферорезонансного контуру, в положенні “1” перемикача S2. Для переведу

схеми в режим ферорезонансного стабілізатора необхідно підключити ємність.

Для вивчення впливу величини навантаження на характеристики стабілізатора введено перемикач S4 резисторів навантаження R1 – R3.

В схемі реалізована можливість дослідження впливу компенсаційної обмотки на стабільність характеристик стабілізатора . Для підключення компенсаційної обмотки лінійного дроселя L1, необхідно перевести перемикач S3 в положення “1” .

В схему введено два шунти $R_{ш1}$, $R_{ш2}$, які використовуються для дослідження форми споживаного струму та струму в ферорезонансному контурі.

З метою забезпечення в лабораторній установці небезпечного рівня напруги, та можливості її регулювання в схему введено, відповідно, трансформатор T2 та автотрансформатор T1.

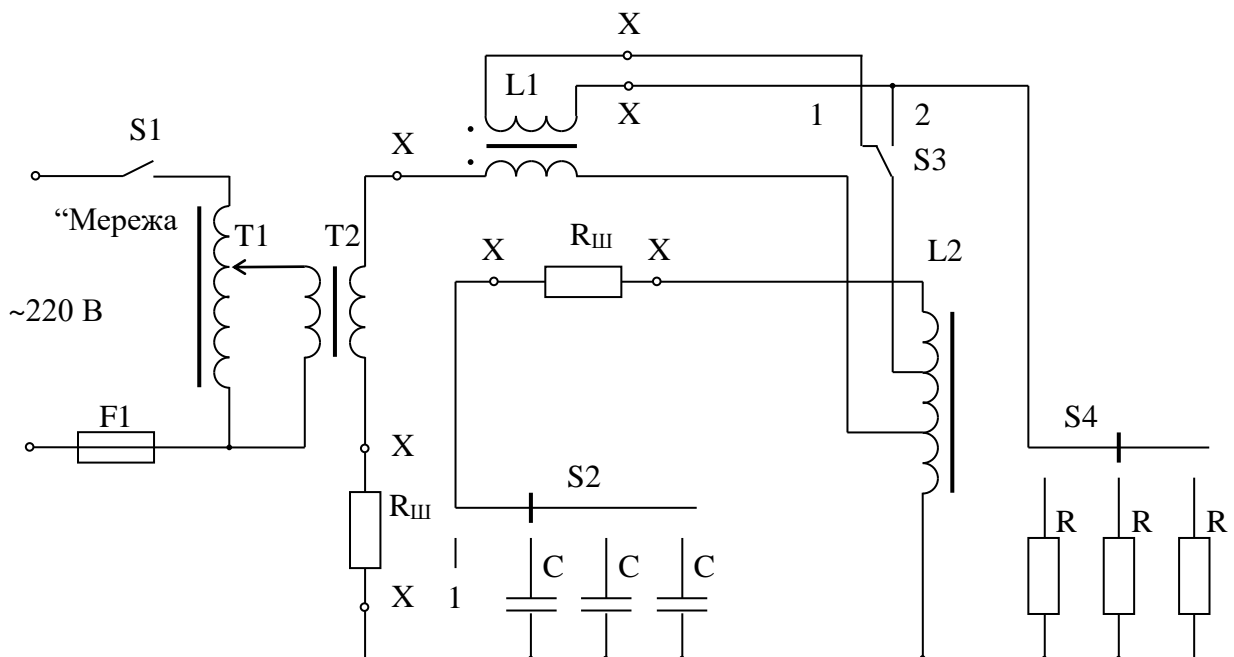


Рис. 1

В схемі використано елементи з наступними параметрами:

$R_{ш1}, R_{ш2} = \quad \text{Ом}; R1 = \quad \text{Ом}; R2 = \quad \text{Ом}; R3 = \quad \text{Ом}; C1 = \quad \text{мкФ};$

$C2 =$ мкФ; $C3 =$ мкФ.

Представлений в лабораторній роботі стабілізатор змінної напруги характеризується наступними параметрами:

- номінальна вхідна напруга - 250 В (50 Гц);
- діапазон зміни вхідної напруги – 0 - 250 В;
- номінальна вихідна напруга - 33 В.

4. Зміст звіту

1. Титульний листок із назвою роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема ферорезонансного стабілізатора напруги .
4. Результати вимірів, осцилограми.
5. Розрахункові дані та графіки.
6. Висновки.

5. Контрольні запитання

1. Пояснити призначення всіх елементів схеми ферорезонансного стабілізатора.
2. Пояснити фізичну сутність ферорезонансних явищ .
3. Пояснити принцип дії електромагнітного стабілізатора.
4. Пояснити принцип дії ферорезонансного стабілізатора.
5. Обґрунтувати вплив компенсаційної обмотки на стабільність характеристик стабілізатора.
6. Визначити переваги та недоліки електромагнітних стабілізаторів.

6. Література

1. В. П. Миловзоров . Электромагнитные устройства автоматики. - М. : Высшая школа, 1974.
2. М. И. Квартин . Электромеханические и магнитные устройства автоматики и

их расчет. - М. : Высшая школа, 1973.

2. Боярчиков М.А., Черкашина А.Г. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. - М.: Высшая школа, 1976.

3. Н. В. Зернов , В. Г. Карпов . Теория радиотехнических цепей. - М. Энергия, 1965.

7. Теоретичні відомості

У випадках, коли стабільність напруги або струму джерела електроенергії не влаштовує споживача, застосовують стабілізатори напруги та струму.

Стабілізатор напруги це пристрій, який підтримує постійне значення напруги на навантаженні із заданою точністю, при зміні у визначених межах величини напруги живлення, або струму навантаження.

Стабілізатором струму називають пристрій, що забезпечує постійне значення струму в навантаженні із заданою точністю, при зміні у визначених межах опору навантаження, або напруги мережі живлення . У тих випадках, коли опір навантаження постійний, стабілізація струму призводить також і до стабілізації напруги.

По виду напруги мережі живлення стабілізатори поділяють на стабілізатори постійного та змінного струму. Крім того, за принципом дії розрізняють параметричні та компенсаційні стабілізатори.

Для оцінки якості роботи таких пристроїв вживають величину коефіцієнта стабілізації, який визначається по відношенню відносної зміни напруги на вході до відносної зміни напруги (струму) на виході стабілізатора.

Коефіцієнт стабілізації по нарузі визначається наступним чином

$$K_u = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх.ном}}}{\Delta U_{\text{вих}} / U_{\text{вих.ном}}},$$

де : $U_{\text{вх.ном}}$, $U_{\text{вих.ном}}$ – номінальні значення вхідної та вихідної напруги;

$\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{вх.мах}} - U_{\text{вх.мін}}$, $\Delta U_{\text{вих}} = U_{\text{вих.мах}} - U_{\text{вих.мін}}$ - абсолютні значення відхилення,

відповідно, вхідної та вихідної напруги.

Коефіцієнт стабілізації по струму

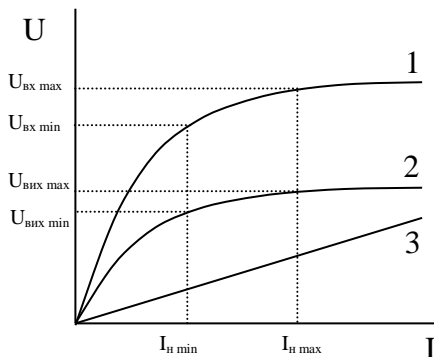
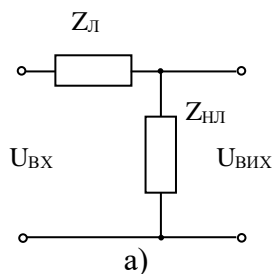
$$K_I = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ.НОМ}}}{\Delta I_{\text{ВІХ}} / I_{\text{ВІХ.НОМ}}}$$

де : $I_{\text{ВІХ.НОМ}}$ – номінальне значення вихідного струму; $\Delta I_{\text{ВІХ}} = I_{\text{ВІХ.МАХ}} - I_{\text{ВІХ.МІН}}$ - абсолютне значення відхилення вихідного струму.

7.1 Параметричний метод.

Сутність параметричного методу в тому, що для одержання стабільної напруги використовується властивість деяких так званих нелінійних опорів змінювати свій розмір у залежності від струму, що протікає через них, або прикладеної до них напруги. Прикладом такого роду опорів служать бареттери, газорозрядні і кремнієві стабілітрони, конденсатори із сегнетодіелектриком, трансформатори і дроселі з насиченим магнітопроводом.

На рис. 2,а зображено структурну схему параметричного стабілізатора. Вона складається з двох послідовно з'єднаних опорів (елементів): лінійного $Z_{\text{Л}}$ і



б)

Рис. 2

нелінійного $Z_{\text{НЛ}}$. Вихідна напруга $U_{\text{ВІХ}}$ знімається з нелінійного опору і повинна бути стабільною : $U_{\text{ВІХ}} = U_{\text{нелін}} = I Z_{\text{НЛ}}$. Нелінійність опору $Z_{\text{НЛ}}$ повинна виражатися в тому, щоб при збільшенні струму I він зменшувався, а при зменшенні - збільшувався. Для кращої стабілізації напруги необхідно, щоб опір $Z_{\text{НЛ}}$ змінювався в таких межах, при яких $I Z_{\text{НЛ}}$ залишалося б по можливості більш постійним. Розмір лінійного опору $Z_{\text{Л}}$ від струму не залежить, тому падіння напруги на ньому змінюється пропорційно струму, тобто $U_{\text{Л}} = I Z_{\text{НЛ}}$. Тому що вхідна напруга прикладена до обох

опорів, її зміна відбивається лише на розмірі $U_{л}$. Вихідна ж напруга, рівна різниці напруг $U_{вх} - U_{л}$, у цьому випадку залишається майже незмінною. На рис. 2,б зображені вольт-амперні характеристики параметричного стабілізатора напруги, де: 1-характеристика лінійного елемента; 2- характеристика нелінійного елемента; 3-загальна характеристика. З цих характеристик видно, що якщо вхідна напруга змінюється в межах від $U_{вх.мін}$ до $U_{вх.макс}$, то струм у ланцюзі змінюється від $I_{мін}$ до $I_{макс}$, причому падіння напруги на лінійному опорі змінюється в межах від $U_{1мін}$ до $U_{1макс}$. При цьому варто врахувати, що велика частина збільшення вхідної напруги падає на лінійному опорі, що володіє більш крутою характеристикою. Тому що вихідна напруга знімається з нелінійного елемента, то межі зміни вихідної напруги $\Delta U_{вих}$ виявляються більш вузькими, ніж $\Delta U_{вх}$. Для одержання високого коефіцієнта стабілізації необхідно підібрати елементи схеми таким чином, щоб полого ділянка загальної характеристики 3 була якнайбільше паралельною характеристиці 1. Робоча ділянка характеристики нелінійного елемента 2 у цьому випадку буде найбільш положистою (див. 2).

7.2 Компенсаційний метод.

Сутність компенсаційного методу зводиться до автоматичного регулювання вихідної напруги. Цей вид стабілізатора являє собою систему автоматичного регулювання, що працює за принципом відхилення.

На рис. 3 приведена структурна схема компенсаційного стабілізатора напруги, що складається з трьох елементів: 1-регулюючого (виконавчого); 2-вимірювального і 3-підсилювального. Регулюючим елементом може бути активний опір (для стабілізаторів постійного струму) або реактивний нелінійний опір (для стабілізаторів перемінного струму), що включається послідовно з навантаженням або паралельно йому. Вимірювальний елемент фіксує відхилення вихідної напруги від заданого значення. Підсилювальний елемент це відхилення підсилює і впливає на регулюючий елемент, опір якого

автоматично змінюється таким чином, щоб вихідна напруга увесь час підтримувалася постійною. До вимірювальних елементів пред'являються вимоги максимальної чутливості та стабільності до змін температури й інших зовнішніх чинників.

Підсилювальні і регулюючі елементи стабілізаторів можуть виконуватися на

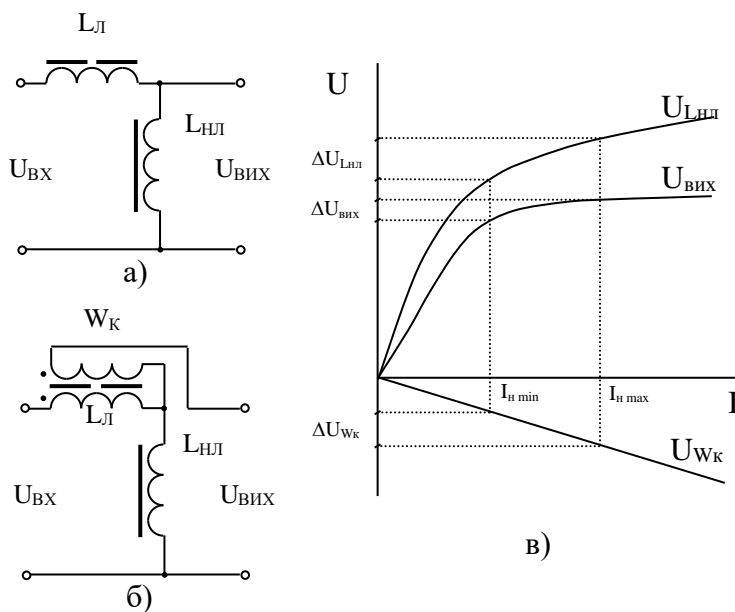


Рис. 3

різних пристроях: це можуть бути електронні лампи, напівпровідникові прилади, магнітні підсилювачі, вугільні стовпи й ін. Прикладами стабілізаторів, що працюють за принципом відхилення, є електронні, напівпровідникові і дросельні стабілізатори, а також комбіновані стабілізатори (дросельно-

електронні і дросельно-напівпровідникові).

Тут розглядаються параметричні стабілізатори, виконані на елементах, що працюють за електромагнітним принципом.

7.3 Електромагнітні стабілізатори напруги

Електромагнітні і ферорезонансні стабілізатори напруги служать для стабілізації перемінної напруги і відносяться до стабілізаторів параметричного типу.

Як відомо, магнітонасичені дроселі і трансформатори мають вольт-амперну характеристику нелінійного опору класу б. На цьому заснований ряд схем, що стабілізують напругу перемінного струму. Найпростіша з них показана на рис. 4, а. У ній роль реактивного опору виконує насичений дросель $D_{\text{р}}$. Властиві цій схемі недоліки (значні втрати в активному опорі r , що знижують к.к.д., і

залежність розміру вихідної напруги від мережної) привели до того, що поширення одержала більш пророблена схема, подана на рис. 4, б.

Тут роль лінійного опору виконує первинна обмотка ненасиченого трансформатора Tr2. Наявність же насиченого трансформатора Tr1 замість дроселя дозволяє одержувати будь-який розмір стабілізованої напруги. Та обставина, що і після насичення індукція при напруженості поля, що збільшується, продовжує, хоча і значно повільніше, зростати, змушує удаватися до компенсації за допомогою зустрічного умикання вторинної (компенсаційної) обмотки ненасиченого трансформатора.

Фізична картина явищ пояснена на рис. 4, в. Нахил характеристики U_k , що залежить від числа витків обмотки ω_k , підбирають таким, щоб він був приблизно рівним нахилу характеристики U_v у робочій зоні. Тоді при

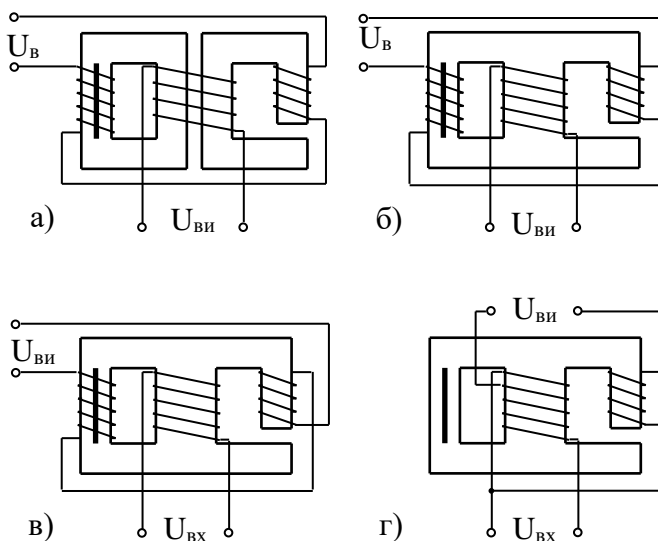


Рис. 4

послідовному зустрічному вмиканні стабілізована напруга на навантаженні, що одержується як результат $\vec{U}_e - \vec{U}_k = \vec{U}_{ст}$, близька до постійної.

Вважаючи для спрощення графіка, що коефіцієнт трансформації магнітонасиченого трансформатора дорівнює одиниці і, отже, $U'_{ex} = U_e$, знаходимо сіткову напругу як суму $\vec{U}'_{ex} + \vec{U}''_{ex} = \vec{U}_{ex} = \vec{U}_e + \vec{U}''_{ex}$

З графіка видно, що при значних коливаннях сіткової напруги вихідна мало змінюється. Варто пам'ятати, що напруги на трансформаторах Tr1 і Tr2 зрушені по фазі, і що характеристика в насиченій зоні нелінійна, тому повної компенсації одержати звичайно не вдасться.

Можна об'єднати обмотки обох трансформаторів відповідно до рис. 4, а, а також застосувати тристрижневий сердечник

(рис. 4 ,б), у якому для запобігання насичення одного з крайніх стрижнів передбачений повітряний зазор. У обох випадках компенсація досягається за рахунок вирахування потоків.

На мал. рис. 4,б та а, подані різновиди стабілізаторів цього типу. У схемі рис. 4, в, об'єднані не вторинні, а первинні обмотки. Схема рис. 4,г використовує автотрансформаторний принцип. Її можна застосовувати в тих випадках, коли не потрібно кондуктивного відділення ланцюга навантаження від мережі. Автотрансформаторна схема економічна з погляду витрати обмотувальних матеріалів і має менші втрати, тобто забезпечує більш високий к.к.д.

Недоліками магнітонасичених стабілізаторів без ємності є:

- а) низький к.к.д, звичайно не перевищуючий 30-60%;
- б) значні перекручування форми кривої стабілізованої напруги;
- в) різка залежність коефіцієнта стабілізації від навантаження.

7.4 Ферорезонансні стабілізатори

Розглянемо контур, складений із послідовно з'єднаних індуктивності і ємності (рис. 5,а). Якщо зневажити активним опором, то вольт-амперну характеристику контуру можна одержати як результат додавання характеристик, властивих

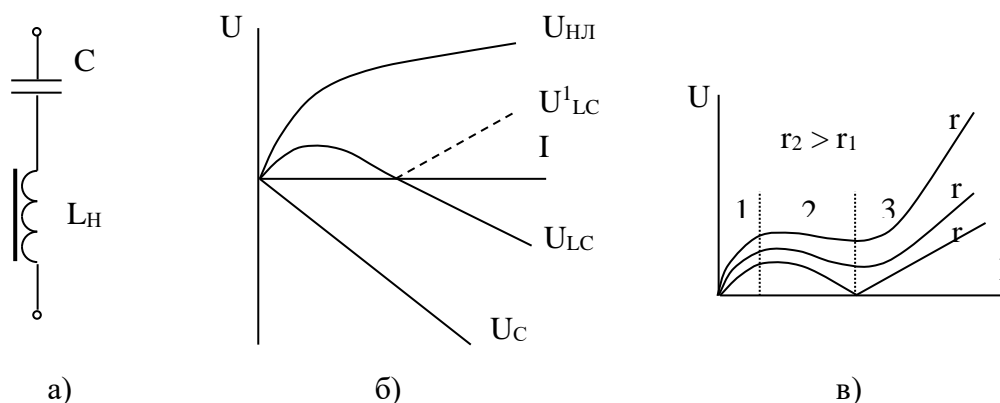


Рис. 5

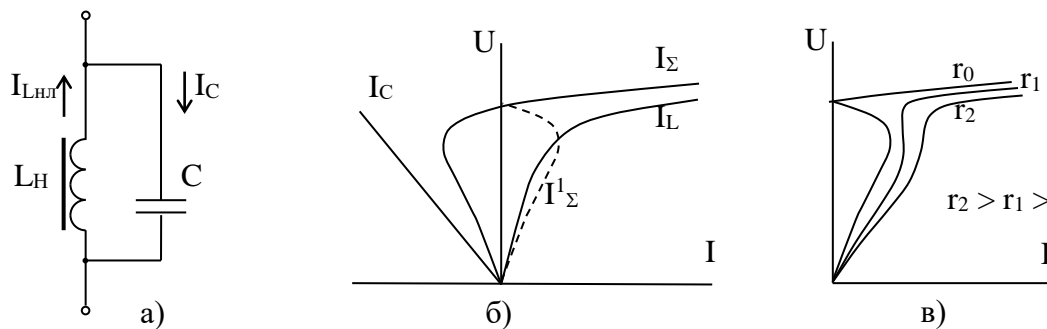


Рис. 6

ємності й індуктивності (крива U_k на рис. 5,б). У точці А фаза напруги і знак похідної змінюються. Однак для практичних задач у багатьох випадках фаза не грає істотної ролі, тому вольт-амперну характеристику контуру можна представити кривою U'_k . З обліком активного опору контуру характер її декілька змінюється: точка А піднімається над віссю абсцис (тому що для покриття активних утрат завжди необхідна деяка напруга), причому при зміні розміру r буде спостерігатися більший або менший підйом (на рис. 5, в маємо: $r_1 > r_2 > r_3$).

Розглядаючи ці характеристики, переконуємося, що на них є три яскраво виражені ділянки або області.

Перша область відповідає пропорційним змінам (лінійна залежність); вона не годиться для стабілізації. Друга область відповідає класу б; третя - класу а.

Таким чином, один і той самий феррорезонансний контур можна використовувати на різних ділянках для стабілізації як струму, так і напруги. З огляду на обмеженість другої області, послідовний контур звичайно застосовують для стабілізації струму (третя область) і рідше для стабілізації напруги (друга область).

Переходячи до рівнобіжного з'єднання L і C (рис. 6, а), робимо аналогічну побудову (рис. 6, б). Якщо врахувати активний опір контуру і зневажити фазою струму, то в залежності від розміру r одержимо сімейство характеристик, показане на рис. 6, в. Тут також є три області: перша не придатна для стабілізації, друга відповідає класу а, третя - класу б. По викладених розуміннях рівнобіжний феррорезонансний контур застосовують частіше усього

в третій області. Зі сказаного видно, що хоча тут використовується явище резонансу, але стабілізатор працює або до точки резонансу (стабілізація струму), або за нею (стабілізація напруги). Ферорезонансні стабілізатори, що вигідно відрізняються від стабілізаторів без ємності кращою формою кривої вихідної напруги і великим к.к.д., одержали широке поширення. Їх використовують головним способом для підтримки сталості напруги ; для цієї цілі , як указувалося , застосовують рівнобіжні контури; однак при незмінному навантаженні можна використовувати і явища ферорезонансу напруг .

На мал. 7 приведено деякі схеми з послідовними контурами. На схемі рис.7,а

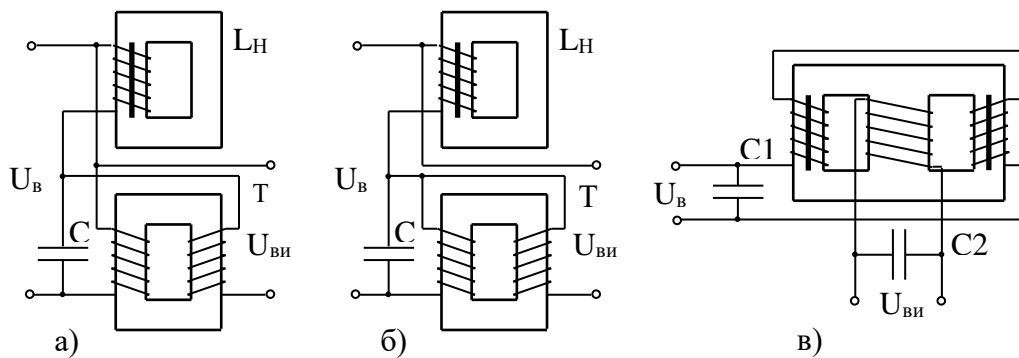


Рис. 7

первинна обмотка трансформатора, який слугує для компенсації, включена в мережу; на рис.7,б вона включена паралельно ємності, падіння напруги на котрій пропорційно струму; у іншому ці схеми ідентичні. Стабілізатор по рис.7,в виконаний на Ш-образному сердечнику без компенсаційної обмотки. Ємність C_2 розширює діапазон стабілізації.

Загальним недоліком розглянутих схем є те, що вони вимагають сталості навантаження. Треба зазначити, що в послідовному контурі ємність використовується невигідно. Як відомо, енергія, що запасується конденсатором, пропорційна квадрату напруги, тим часом як у схемах по рис.7 розмір останнього малий. Більш доцільно, із цього погляду, застосовувати паралельні контури, що забезпечують до того ж і кращу форму кривої вихідної напруги. Побудовані на їхній базі стабілізатори напруги подані на рис 8,а і 9.

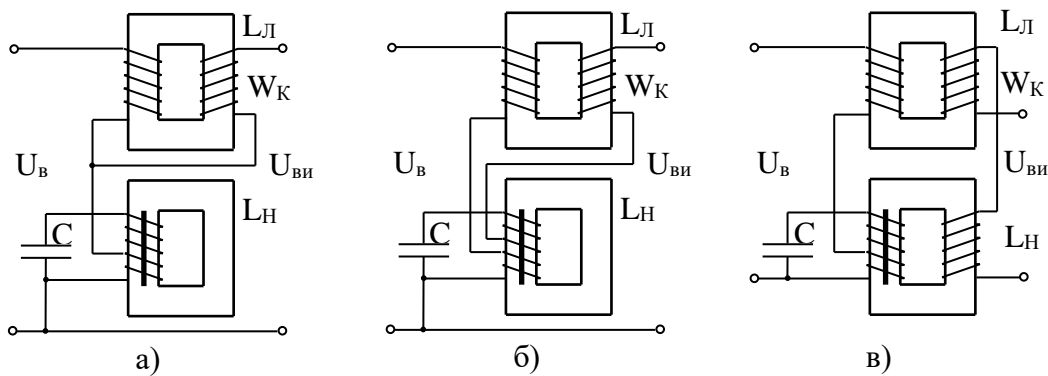


Рис. 8

Роль лінійного опору тут грає первинна обмотка ω_B ненасиченого трансформатора, що виконує роль баластового опору і включена послідовно з контуром. При змінах вхідної напруги відповідно змінюються струм і падіння напруги на обмотці ω_B . Таким чином, напруга, що доводиться на контур, відповідно до його характеристики залишається майже незмінною.

Щоб зменшити ємність конденсатора, останній включають на підвищену напругу, для створення якої використовують додаткову обмотку ω'' . Напруга U_B , що знімається з контура, у схемі по рис.8,а включена зустрічно до напруги U_K компенсаційної обмотки, і їхня різниця $U_{ст}$ подається на вихід стабілізатора. Картина явищ пояснена на рис.8,б, що носить, однак, лише орієнтований характер, тому що зрушення фаз розрізнене; через різну індуктивність варто було б додавання і вирахування напруг робити геометрично.

Недоліком стабілізатора, поданого на рис.8,а, є зв'язаність розміру стабілізованої напруги з напругою мережі. Ця нестача усувається застосуванням автотрансформаторної схеми по рис.9, а, у якій розмір U'_B може бути будь-яким - як більше U_B , так і менше неї, що дозволяє одержувати будь-які стабілізовані напруги. У тих випадках, коли потрібно кондуктивно відокремити навантаження від мережі, використовують трансформаторну схему по рис.9,б.

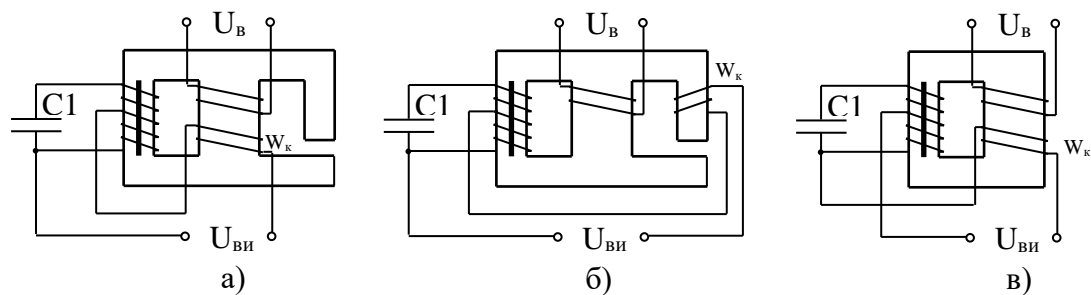


Рис. 9

На рис.9,а і 9,б подані різновиди стабілізаторів напруги, виконаних на одному тристрижневому сердечнику замість двох. Лівий стрижень сердечника насичений, на ньому розташована обмотка контуру. Первинна обмотка ω_1 приміщена на середньому стрижні. Створюваний нею потік, як відомо, пропорційний вхідній напрузі.

Тим часом, унаслідок насичення потік лівого стрижня сердечника змінюється мало, і, таким чином, усі зміни потоку, створюваного обмоткою ω_1 , відбуваються за рахунок відповідної зміни потоку, що замикається через правий (ненасичений) стрижень і повітряний зазор. Варіація потоку в середньому стрижні використовується в схемі рис.9,а для компенсації: на ньому розташована обмотка ω_k . Стабілізатор, поданий на рис.9,б, відрізняється лише тим, що в нього компенсаційна обмотка перенесена на правий стрижень сердечника.

У стабілізаторі, показаному на рис.9,в, роль баластового опору виконує індуктивність, створювана потоками розсіювання, що змінюються по розміру зі зміною вхідної напруги.

К.к.д. ферорезонансних стабілізаторів складає 70- 80%, $\cos\varphi$ лежить у межах 0,7-0,8.

Час перехідного процесу при змінах живлячої напруги або величини навантаження залежить від потужності стабілізатора і складає 0,02-0,2 сек.

Основним недоліком ферорезонансних стабілізаторів є залежність розміру вихідної напруги від частоти; похибка складає 1-1,5% коливань напруги при відхиленні частоти на 1 % від номіналу.

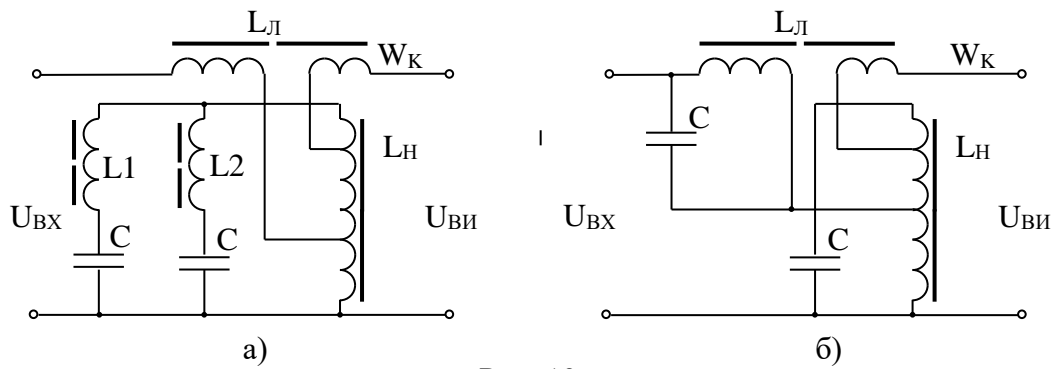


Рис. 10

Для компенсації частотної похибки були запропоновані дві схеми, подані на рис.10. Опір контуру в схемі по рис.10,а зі зміною частоти змінюється так, що напруга на навантаженні залишається незмінною. Щоб використовувати цю схему, треба збільшити напругу на виході стабілізатора, при цьому декілька знижується к.к.д., тому що частина потужності втрачається в контурі. В другій схемі (рис.10,б) при зміні частоти ємність C_2 компенсує зміну індуктивного опору ненасиченого трансформатора (обмотки ω_6).

5. Лабораторна робота №5 Дослідження згладжуючого дроселя

1. Мета роботи

- Ознайомитись із принципом роботи згладжуючого дроселя.
- Визначити основні характеристики згладжуючого дроселя.

2. Програма роботи

1. З'ясувати призначення елементів схеми лабораторної установки (рис.1). Підключити до лабораторної установки вимірювальні прилади. Для цього необхідно :

- підключити I-ий канал двоканального осцилографа до затискачів X7-X8, для встановлення амплітуди вхідної напруги U_{1m} (див. п. 2. 1.).
- підключити закритий II-ий канал осцилографа до затискачів X9-X10, для спостереження вихідної напруги U_{2m} .

Увага!!!

Один з загальних ("земляних") виводів вимірювальних кабелів I-го або II-го каналів осцилографа до макета не підключати.

- переключити відкритий вхід I-го каналу осцилографа на резистор $R_{огр}$ (затискачі X5-X6) для зняття значень струму підмагнічування $I_о$ за відомим значенням опору $R_{огр} = 60 \text{ Ом}$ і постійної, що складає напругу на цьому резисторі.

2. Зняти залежність амплітуди вихідної напруги U_{2m} від струму підмагнічування дроселя $I_о$ для різних (трьох) значень частоти вхідного сигналу.

2.1. Використовуючи осцилограф, встановити вхідну амплітуду синусоїдального сигналу $U_{1m} = 5 \text{ В}$, частоту вхідного сигналу $f = 50 \text{ Гц}$. Змінюючи величину струму підмагнічування $I_о = 0 \dots 100 \text{ ма}$, виміряти

значення вихідної напруги U_{2m} , занести одержані дані в Таблицю 1. За формулами (6.1-6.2) розрахувати значення індуктивності L_d згладжуючого дроселя і коефіцієнт згладжування $K_{сг}$, занести результати в Таблицю 1.

2.2. Повторити п. 2.1. встановлюючи частоту вхідного сигналу $f=100, 1000$ Гц. Заповнити Таблицю 1 одержаними результатами.

Таблиця 1.

$f, \text{ Гц} / I_0, \text{ мА0}$	10	20	...	80	90	100
50 $U_{2m}, \text{ В}$						
$L_d, \text{ Гн}$						
$K_{сг}$						
100 $U_{2m}, \text{ В}$						
$L_d, \text{ Гн}$						
$K_{сг}$						
1000 $U_{2m}, \text{ В}$						
$L_d, \text{ Гн}$						
$K_{сг}$						

2.3. На підставі даних із Таблиці 1 побудувати сімейство характеристик $L_d=f(I_0)$ і $K_{сг}=f(I_0)$.

3. Зняти залежність амплітуди вихідної напруги U_{2m} від частоти f вхідної напруги для різних (трьох) значень струму підмагнічування дроселя I_0 .

3.1. Використовуючи осцилограф, встановити вхідну амплітуду синусоїдального сигналу $U_{1m} = 5 \text{ В}$, величину струму підмагнічування $I_0=20$ ма. Змінюючи частоту вхідного сигналу f від 50 Гц до 1 кГц, виміряти значення вихідної напруги U_{2m} , занести одержані дані в Таблицю 2.

За формулами (6.2-6.3) розрахувати значення реактивного опору X_d згладжуючого дроселя і коефіцієнт згладжування $K_{сг}$, занести результати в Таблицю 2.

3.2. Повторити п. 3.1. встановлюючи величину струму підмагнічування $I_0 = 50, 100$ ма. Заповнити Таблицю 2 одержаними результатами.

3.3. На підставі даних із Таблиці 2 побудувати сімейство характеристик $L_d = f(f)$ і $K_{сг} = f(f)$.

Таблиця 2.

$I_0, \text{мА}$	$f, \text{Гц}$	50	100	200	...	800	900	1000
0	$U_{2m}, \text{В}$							
	$L_d, \text{Гн}$							
	$K_{сг}$							
50	$U_{2m}, \text{В}$							
	$L_d, \text{Гн}$							
	$K_{сг}$							
100	$U_{2m}, \text{В}$							
	$L_d, \text{Гн}$							
	$K_{сг}$							

3. Опис експериментальної установки

Електричну схему експериментальної установки наведено на рис.1, де:

$R_{огр} = 60 \text{ Ом}; R_H = 39 \text{ Ом}; R_1 = 4 \text{ Ом}; I_3 = 2200 \text{ мкф.}$

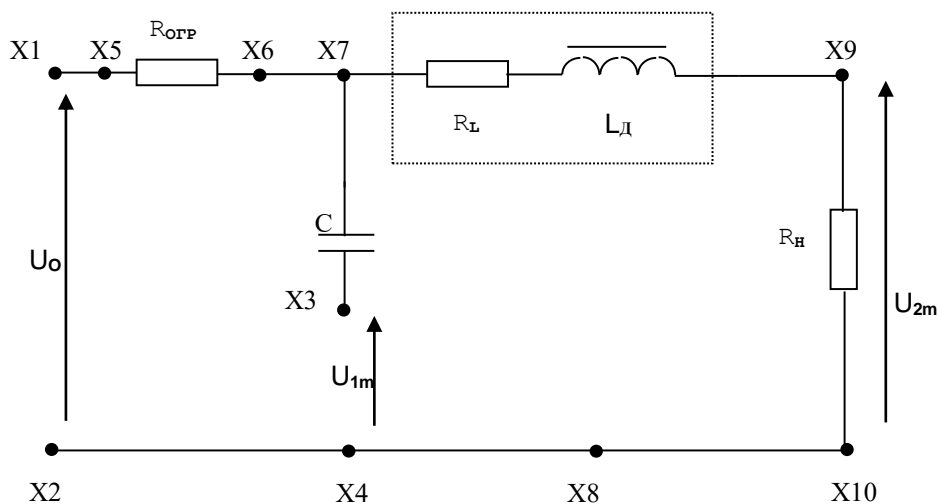


Рис. 1. Електрична схема для дослідження характеристик згладжуючого дроселя.

4. Зміст звіту

1. Титульний лист із назвою роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема лабораторного макету.
5. Результати вимірів.
6. Розрахункові дані та графіки.

5. Контрольні запитання

1. Пояснити фізичні основи роботи згладжуючого дроселя.
2. Пояснити поводження всіх знятих характеристик згладжуючого дроселя. Як вплине введення немагнітного проміжку в дроселі на його характеристики?
3. Пояснити принцип вимірювання величини індуктивності дроселя, що застосовано в експериментальній схемі.

6. Література

1. Грязнов Н..М. Трансформатори і дроселі в імпульсних пристроях. М. Радіо і зв'язок. 1986.
2. Найвельт Г.С. , Мазель К.Б. та ін. Джерела електроживлення радіоелектронної апаратури. Довідник. М. Радіо і зв'язок. 1985.
3. Каретнікова Є. І. та ін. Трансформатори живлення та дроселі фільтрів для радіоелектронної апаратури. М. Радянське радіо. 1973.
4. Сідоров І. Н. Та ін. Малогабаритні трансформатори і дроселі. Довідник. М. Радіо і зв'язок. 1985.

7. Розрахункові співвідношення

1. Розрахунок індуктивності згладжуючого дроселя L_d :

$$L_{д} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U_{1m}}{U_{2m}} R_H\right)^2 - (R_H + R_L)^2} \quad (6.1)$$

$$L_{д} = \frac{R_H + R_L}{2\pi f} \sqrt{K_{cr}^2 - 1} \quad (6.1^*)$$

2. Розрахунок коефіцієнту згладжування K_{cr} :

$$K_{cr} = \frac{U_{1m}}{U_{2m}} \cdot \frac{R_H}{R_H + R_L} \quad (6.2)$$

3. Розрахунок реактивного опору згладжувачого дроселя $X_{д}$:

$$X_{д} = \sqrt{\left(\frac{U_{1m}}{U_{2m}} R_H\right)^2 - (R_H + R_L)^2} \quad (6.3)$$

8. Теоретичні відомості

Згладжуючі дроселі використовуються у випрямлячах для зменшення пульсацій в колах випрямленої напруги. Згладжуючий дросель, як і дросель змінного струму, складається із замкнутого магнітопроводу і однієї обмотки. Обмотка згладжувачого дроселя вмикається послідовно з навантаженням і обтикається випрямленим струмом.

Як відомо, в будь-якій схемі випрямлення струм має пульсуючий характер. Його можна представити у вигляді суми постійної і ряду змінних складових різноманітних частот, що змінюються за синусоїдальним законом. Амплітуди змінних, що складають випрямлений струм значно зменшуються із збільшенням їх частоти, і тому можна приблизно вважати, що випрямлений струм змінюється у відповідності з виразом виду:

$$i \approx I_0 + I_{макс} \cdot \sin \omega t \quad (7.1)$$

де $I_{макс}$ і ω - амплітуда і частота основної гармоніки.

Розглянемо фізичні процеси в сердечнику згладжувачого дроселя при його намагнічуванні пульсуючим струмом виду (7.1). На рис. 2 наведені для

порівняння криві зміни магнітного струму в сердечнику при намагнічуванні синусоїдальним струмом для двох режимів роботи: за відсутності та при наявності підмагнічування постійним струмом.

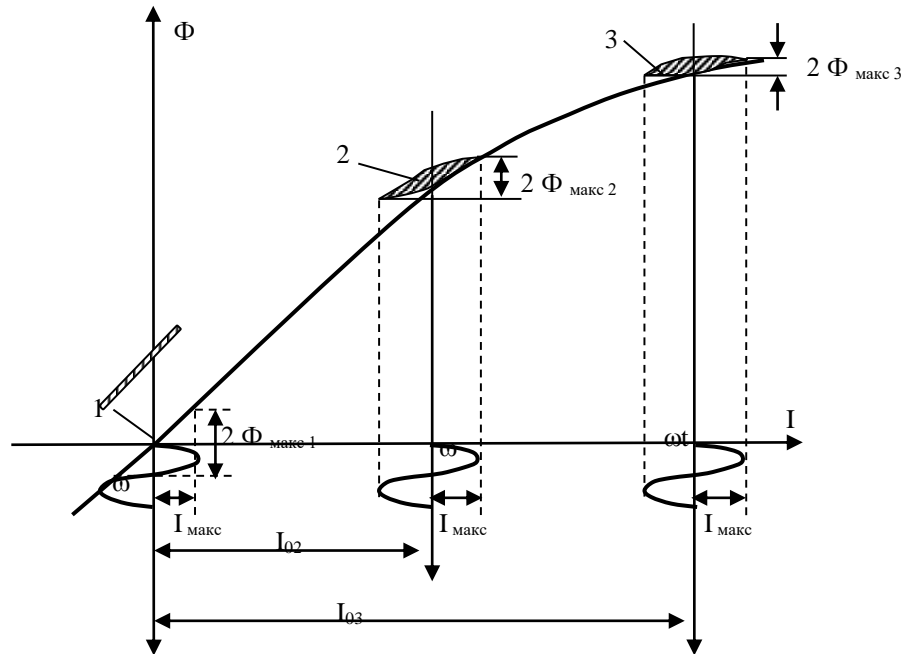


Рис. 2 Робота згладжуючого дроселя при підмагнічуванні.

Відомо, що при циклічному намагнічуванні сердечника магнітний струм змінюється за замкнутою петлею, що носить назву несиметричної петлі намагнічування.

Для випадку, коли постійне підмагнічування відсутнє, ця петля зображує криву 1, симетричну щодо кривої початкового намагнічування. При наявності постійного підмагнічування процес намагнічування іде по окремим петлям перемагнічування (криві 2 і 3). Окремі цикли характеризуються збільшеною площею, тобто зростанням втрат, порушенням симетрії петлі щодо кривої початкового намагнічування і зменшення нахилу по відношенню до осі абсцис.

Із рівняння окремих циклів 1, 2 і 3 (рис. 2) видно, що значення Φ_{\max}/I_{\max} , а отже і індуктивність дроселя зменшуються із збільшенням струму підмагнічування. Приблизний вид залежності $L=f(I_0)$ наведено на рис.3.

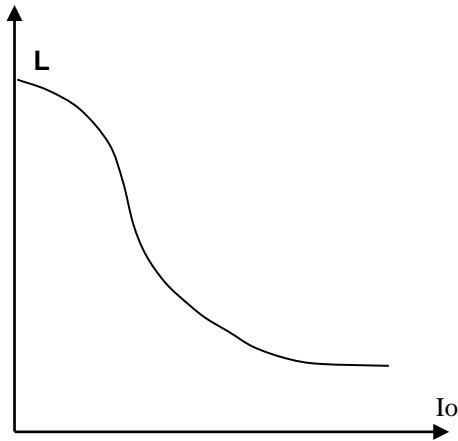


Рис.3 Крива залежності індуктивності згладжуючого дроселя від струму підмагнічування.

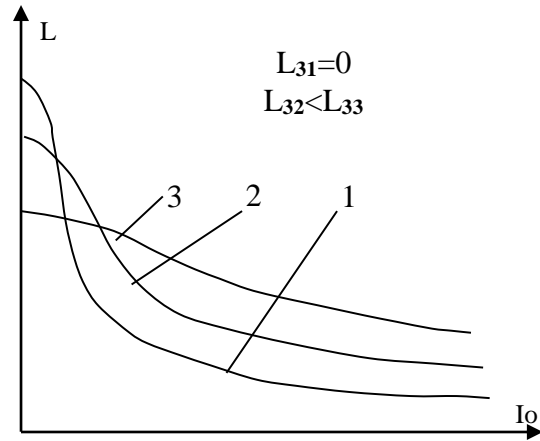


Рис. 4 Крива залежності індуктивності згладжуючого дроселя від струму підмагнічування.

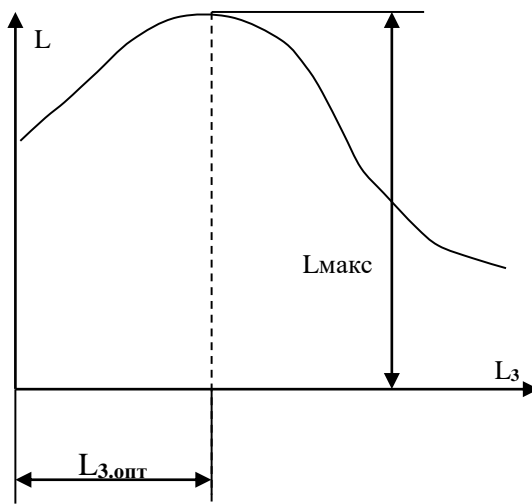


Рис. 5 Крива залежності індуктивності згладжуючого дроселя від довжини повітряного проміжку.

Фізично зменшення індуктивності із збільшенням підмагнічуючого струму пов'язане із тим, що при збільшенні цього струму магнітопровід дроселя все більше й більше насичується.

Введення в магнітне коло повітряного (або, точніше, немагнітного) проміжку дозволяє зменшити падіння індуктивності із збільшенням підмагнічуючого струму. При наявності проміжку сумарна крива намагнічування

дроселя спрямляється, а його магнітопровід насичується при відносно великих значеннях струму, ніж магнітопровід дроселя, що не має проміжку. На рис.4. наведені для порівняння криві залежностей $L=f(I_0)$ для згладжуючих дроселів без проміжку (крива 1) і дроселів із малим (крива 2) і великим (крива 3)

проміжками. Із рис. 4. видно, що при збільшенні струму підмагнічування треба вибирати більше значення немагнітного проміжку для збільшення індуктивності дроселя.

На рис.5. наведена крива залежності $L=f(I_3)$, яка показує, що для заданого струму підмагнічування існує оптимальна величина немагнітного проміжку, відповідно до максимально можливої величини індуктивності згладжувачого дроселя. В згладжувачих дроселях введення проміжку знижує постійну складову індукції, від чого підвищується проникність матеріалу сердечника і падає його магнітний опір. При оптимальному проміжку зменшення магнітного опору матеріалу сердечника знижує повний магнітний опір для змінної складової струму значно сильніше, ніж його збільшує введення проміжку.

Індуктивність дроселя можна визначити із виразу :

$$L = \frac{0,4 \pi \omega^2 S_{CT} k_{CT} 10^{-4}}{l_{CT} \left(\frac{1}{\mu_D} + \frac{l_3}{l_{CT}} \right)}, \quad (7.2)$$

де l_{CT} - довжина шляху магнітного струму в сердечнику; l_3 - довжина шляху магнітного струму в проміжку. Із рівняння видно, що величина індуктивності дроселя при заданих геометричних розмірах сердечника і заданому числі витків залежить від величини магнітної проникності і довжини проміжку l_3 .

Максимальне значення індуктивності при наявності оптимального повітряного проміжку дорівнює :

$$L = \frac{0,4 \pi \omega^2 \mu_{эфф} S_{CT} k_{CT} 10^{-4}}{l_{CT}}, \quad (7.3)$$

де

$$L = \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu_D} + \frac{l_{3,опт}}{l_{CT}} \right)} \quad (7.4)$$

- ефективна магнітна проникність при наявності немагнітного проміжку.

Індуктивність L , знайдена за формулою (7.3), і струм підмагнічування I_0 є основними параметрами згладжуючого дроселя.

Габаритні розміри дроселя визначаються величиною енергії, що запасється в магнітному полі його сердечника.

Для згладжуючого дроселя, який працює в колі пульсуючого випрямленого струму, середнє значення енергії дорівнює :

$$W_{cp} = \frac{1}{2}LI^2, \quad (7.5)$$

де I - діюче значення пульсуючого струму ,

$$I = \sqrt{I_0^2 + \left(\frac{E}{\omega L}\right)^2}. \quad (7.6)$$

Типова потужність згладжуючого дроселя може бути визначена із виразу :

$$(S_{тип})_{с.д.} = Q_{сд} \approx 2\pi fLI^2. \quad (7.7)$$

На практиці для визначення габаритних розмірів згладжуючих дроселів користуються експериментально знайденими залежностями обсягу сталі сердечника від величини додатку L , пропорційної енергії дроселя.

Зміст

	Стор.
Вступ	4
1. Загальні положення.....	5
2. Лабораторна робота №1 Дослідження найпростішого магнітного підсилювача	7
3. Лабораторна робота №2 Дослідження магнітних підсилювачів із зворотним зв'язком	16
4. Лабораторна робота №3 Дослідження параметрів електромагнітних реле	28
5. Лабораторна робота №4 Ферорезонансний стабілізатор напруги.....	42
6. Лабораторна робота №5 Дослідження згладжуючого дроселя..	58