

Лабораторна робота № 42

ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРОРЕЗОНАНСУ НАПРУГ

Мета роботи

Аналіз особливостей фізичної сутності явища ферорезонансу в колі, яке містить послідовно з'єднані котушку з феромагнітним осердям і конденсатор, при живленні його від регульованих джерел напруги і струму та ознайомлення з можливостями практичного застосування ферорезонансу напруг у стабілізаторах напруги.

Підготовка до роботи

Вивчити рекомендовану літературу, ознайомитися з методичними вказівками до роботи, описом лабораторної установки, робочим завданням, підготувати протокол звіту й відповіді на такі питання:

- 1) У чому полягає умова резонансу напруг?
- 2) Як можна налаштувати в резонанс контур, складений з послідовно ввімкнених котушки індуктивності й конденсатора?
- 3) Які методи застосовують для аналізу процесів у колах змінного струму з нелінійними елементами?
- 4) У чому полягає явище ферорезонансу напруг?
- 5) Які допущення приймаються при аналізі процесів у послідовному ферорезонансному колі, що живиться від регульованого джерела напруги або джерела струму?
- 6) Який вигляд мають вольт-амперні характеристики котушки з феромагнітним осердям і конденсатора з постійною ємністю?
- 7) Як пов'язана вольт-амперна характеристика котушки з феромагнітним осердям з кривою намагнічування матеріалу осердя?
- 8) Як побудувати розрахункову вольт-амперну характеристику кола, яке містить послідовно ввімкненні котушку з феромагнітним магнітопроводом і конденсатор?
- 9) Яким чином можна експериментально перевірити розрахункову вольт-амперну характеристику ферорезонансного контуру?
- 10) Чим пояснюється можливість налаштування послідовного ферорезонансного контуру в резонанс шляхом зміни параметрів джерела живлення?
- 11) У чому сутність тригерного ефекту й при яких умовах він проявляється в послідовному ферорезонансному контурі?
- 12) Чому напруга зворотного стрибка відрізняється від напруги прямого стрибка?

13) Як у лабораторних умовах імітувати джерело струму?

14) Яке практичне застосування мають послідовні резонансні контури?

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить:

- котушки з феромагнітним магнітопроводом;
- конденсатор;
- реостат;
- три вольтметри електромагнітної системи;
- амперметр електромагнітної системи;
- фазометр електродинамічної системи;
- регульований перетворювач змінної напруги (лабораторний автотрансформатор ЛАТР-2).

Порядок виконання роботи

1. Скласти коло відповідно до схеми, зображеної на рис. 42.1. При використанні котушки з затискачами 0-127, 220В, 250 В, підключаються до затискачів 0-127 В, а ємність вибирають 16-18 мкФ.

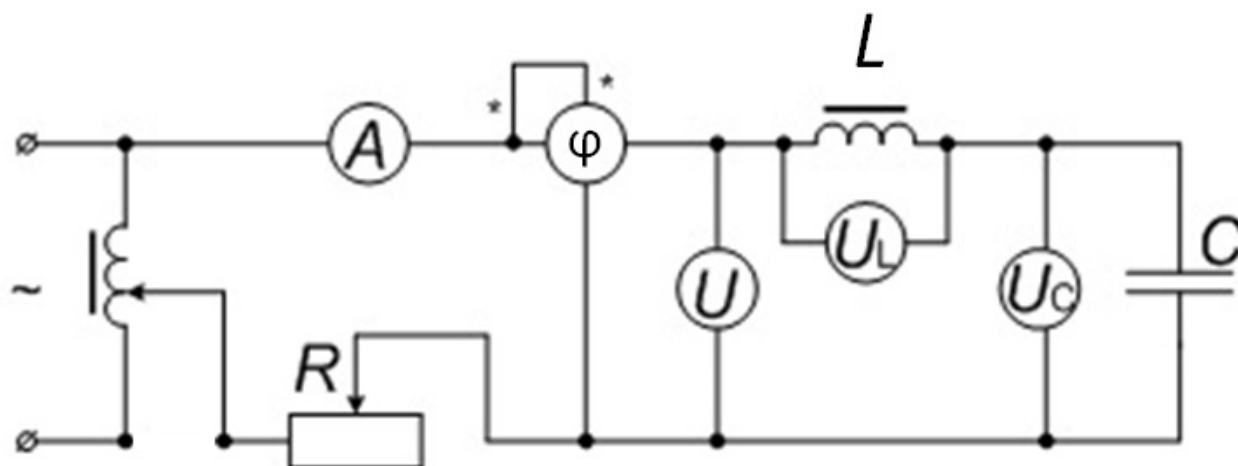


Рис. 42.1

2. Зняти вольт-амперну характеристику послідовного ферорезонансного контуру, його індуктивного і ємнісного елементів при живленні кола від джерела струму, для чого ввести повністю опір реостата, що імітує внутрішній опір джерела живлення, і плавно збільшувати вихідну напругу автотрансформатора. Результати вимірів занести в табл. 42.1.

3. Зняти вольт-амперну характеристику послідовного ферорезонансного контуру, його індуктивного і ємнісного елементів при живленні кола від джерела напруги, для чого опір реостата R повністю вивести і зробити виміри режиму спочатку при плавному збільшенні вихідної напруги автотрансформатора (3-4 значення до стрибка струму в колі та 3-4 значення - після нього), а потім при плавному зменшенні вихідної напруги до нуля. При

виконанні досліду зафіксувати значення напруг, при яких відбувається прямий і зворотний стрибки струму. Результати вимірів занести в табл. 42.2.

Таблиця 42.1

№	I, A	U, B	U_L, B	U_C, B	$\varphi, ^\circ$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					

Обробка результатів роботи

1. Побудувати в одній координатній системі графіки $U = f_1(I)$, $U_L = f_2(I)$, $U_C = f_3(I)$, $\varphi = f_4(I)$

2. У тій же координатній системі, використовуючи дослідні дані залежностей $U_L = f_2(I)$ і $U_C = f_3(I)$, побудувати ідеалізовану вольт-амперну характеристику послідовного ферорезонансного контуру. Пояснити причини розбіжності між експериментальною й розрахунковою характеристиками.

3. Використовуючи експериментальну вольт-амперну характеристику послідовного ферорезонансного контуру, визначити значення напруг, при яких у колі буде спостерігатися тригерний ефект, а також визначити величини очікуваних стрибків струму.

4. Використовуючи графіки вольт-амперних характеристик (п.1), визначити ємність конденсатора, при якій напруга тригерного ефекту в 2 рази менше в порівнянні з напругою в робочій установці.

5. За даними табл. 42.2 побудувати графіки залежностей $I = \psi_1(U)$, $U_L = \psi_2(U)$, $U_C = \psi_3(U)$, $\varphi = \psi_4(U)$

Порівняти значення напруг, при яких настає тригерний ефект, і значення стрибків струмів з результатами розрахунку (п.3).

1. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 42.2

№	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$U_L, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$\varphi, ^\circ$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

Методичні вказівки

У колах з послідовним з'єднанням котушки з феромагнітним осердям і конденсатором (рис.42.2а) плавна зміна напруги джерела живлення може викликати стрибки фази і амплітуди основної гармоніки струму.

Явище зміни знака кута зсуву фаз між основними гармоніками напруги і струму при зміні напруги або струму джерела живлення, яка обумовлена не лінійністю котушки з феромагнітним осердям, називається ферорезонансом напруг.

У лінійному колі таке явище принципово неможливе.

Як відомо, резонансу напруг у лінійному колі можна домогтися шляхом зміни ємності конденсатора, індуктивності котушки або частоти напруги живлення. На відміну від кіл з постійними параметрами резонанс у розглянутому колі може бути досягнуто шляхом зміни значення прикладеної напруги. Це пояснюється тим, що індуктивність котушки з феромагнітним осердям залежить від значення струму, і, отже, зміниться при зміні напруги всього кола.

Точний аналіз ферорезонансу з урахуванням несинусоїдної форми кривих зробити досить важко, тому зазвичай використовують такі допущення:

1) несинусоїдні напруги і струм заміняють еквівалентними синусоїдами, вибравши їх рівними першим гармонікам дійсних кривих, іншими словами, зневажають наявністю вищих гармонік;

2) конденсатор і котушку з феромагнітним осердям вважають такими, що не мають втрат.

При зазначених умовах напруга на котушці \dot{U}_L випереджає струм \dot{I} на кут 90° , напруга на конденсаторі \dot{U}_C відстає від струму \dot{I} на кут 90° , а прикладена напруга $\dot{U} = \dot{U}_L + \dot{U}_C$ (рис.42.2б). Залежність напруги на котушці від струму задана кривою $U_L(I)$, залежність напруги на конденсаторі від струму $U_C(I)$ являє собою похилу пряму, що проходить через початок координат (рис.42.3). Ємність C завжди можна підібрати так, щоб пряма $U_C(I)$ перетинала криву $U_L(I)$. Різниця ординат кривої $U_L(I)$ і прямої $U_C(I)$ дає криву $U'(I)$ яка визначає значення прикладеної напруги при різних значеннях струму. Оскільки діюче значення напруги $U(I)$ - позитивна величина, то $U = |U_L - U_C|$ і крива $U(I)$ збігається з кривою $U'(I)$ тільки при значеннях $I < I_0$. При значеннях $I > I_0$ крива $U(I)$ являє собою дзеркальне відображення кривої $U'(I)$ (рис.42.3).

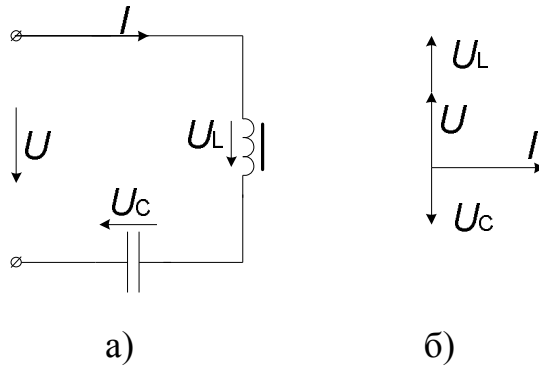


Рис.42.2

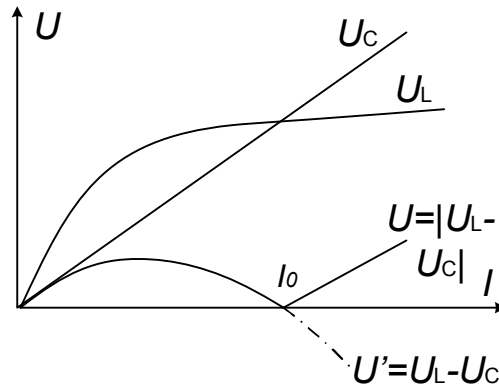


Рис.42.3

Особлива точка характеристики $U(I)$, що лежить на осі абсцис (струм I_0), є точкою резонансу, тому що в цій точці напруги U_L та U_C взаємно компенсуються. Кут зсуву фаз між першими гармоніками напруги і струму в цій точці близький до нуля. Ділянки графіка $U(I)$ поблизу точки I_0 чисто теоретичні. Практично через втрати в сталі та в опорі обмоток, а також через наявність вищих гармонік у струмі й напрузі, крива $U(I)$ має трохи інший вигляд (рис.42.4).

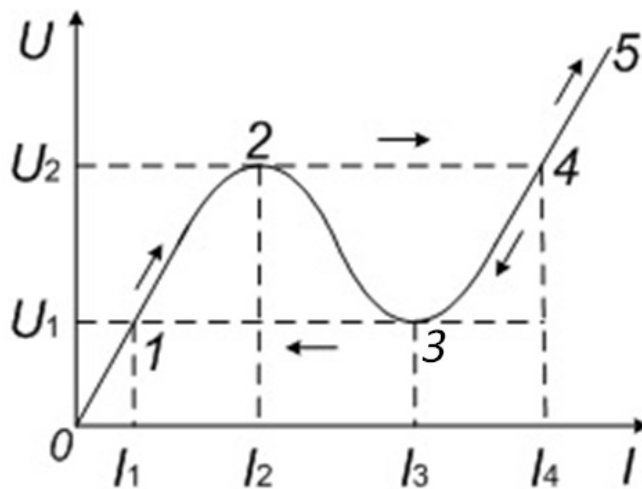


Рис 42. 4

Якщо коло живиться від джерела напруги, то при збільшенні напруги джерела живлення від нуля до значення U_2 (робоча точка на рис.42.4 переміщається від 0 через точку 1 до точки 2), струм по фазі відстає від напруги (кут φ індуктивний).

У точці 2 відбувається стрибок, при якому струм зростає до величини I_4 , тепер по фазі струм випереджає напругу (кут - ємнісний). Подальше зростання напруги викликає плавне збільшення струму. При зменшенні напруги до величини U_3 (робоча точка переміщається від точки 5 через точку 4 до точки 3) струм по фазі випереджає напругу. У точці 3 відбувається стрибкоподібне зменшення струму до значення I_1 , що супроводжується перекиданням фази, кут φ стає індуктивним.

Явище різкої зміни струму в колі при незначній зміні напруги на вході будемо називати тригерним ефектом у послідовному ферорезонансному колі.

При вмиканні кола до напруги, значення якої перебуває в інтервалі між U_1 і U_2 , у колі встановиться один із двох можливих режимів. Перший режим відповідає положенню робочої точки на ділянці між точками 1 і 2, другий - на ділянці між точками 3 і 4. Те, на якому із двох ділянок виявиться робоча точка залежить від характеру перехідного процесу при вмиканні.

Характеристики $U(I)$ при всіх значеннях струму можна отримати при живленні кола від джерела струму.

На рис.5 показані залежності струму і напруг на елементах кола від вхідної напруги. Порівнюючи криві $U_L(U)$ й $U_C(U)$, можна помітити, що при деякому значенні вхідної напруги, яке більше так званої критичної напруги $U_{кр}$, нахил кривої $U_L(U)$ набагато менший, ніж нахил кривої $U_C(U)$.

Малий нахил характеристики $U_L(U)$ в області більших насичень сталі дозволяють здійснити ферорезонансні стабілізатори напруги. Схема найпростішого стабілізатора показана на рис.42.6.

Визначивши для ряду значень вхідної напруги U_1 відповідні значення вихідної напруги U_2 , можна встановити значення $U_1 = U_{кр}$ при перевищенні яких починають проявлятися стабілізуючі властивості кола. Коефіцієнт стабілізації при цьому визначається формулою

$$k_{ст} = \frac{\Delta U_1}{U_1} : \frac{\Delta U_2}{U_2},$$

де $\Delta U_1, \Delta U_2$ - зміна напруги відповідно на вході кола і при навантаженні.

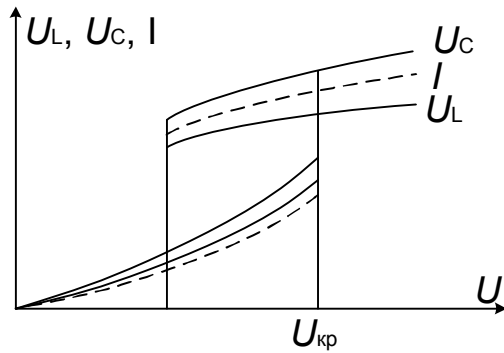


Рис.5

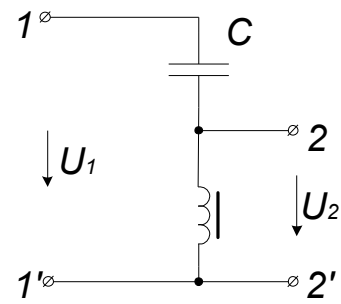


Рис.6

Сутність явища стабілізації в такому колі полягає в наступному. Зі збільшенням напруги живлення струм у колі різко зростає; збільшення струму призводить до зменшення індуктивності котушки з феромагнітним осердям, у той час як ємність конденсатора залишається без зміни. Таким чином, відносна зміна напруги на котушці виявляється значно меншою, ніж на вході кола.

Замість конденсатора можуть бути використані реостат або лінійна котушка, однак стабілізація при цьому погіршиться, тому що струм у колі буде менше і, отже, насичення сталі осердя не настільки великим, як у випадку застосування конденсатора. Очевидно, що стабілізація буде тим краще, чим більше насичення, тобто чим більше пологою буде кінцева частина характеристики котушки.

При вмиканні навантаження утворюється гілка, паралельна котушці з феромагнітним осердям, у результаті чого струм в останній зменшується, і, отже, погіршуються стабілізуючі властивості кола.

До недоліків феромагнітних стабілізаторів напруги також варто віднести несинусоїдність форми вихідної напруги й залежність стабілізуючих властивостей від частоти.

Питання для самостійної роботи

1. Скласти схему найпростішого ферорезонансного стабілізатора напруг.
2. Визначити критичну напругу $U_{кр}$ для даного стабілізатора.
3. Розрахувати значення коефіцієнта стабілізації $k_{СТ}$ в режимі неробочого ходу і у навантажувальному режимі (як навантаження використати реостат).
4. Замість конденсатора ввімкнути в коло реостат, опір якого $|R| = |Z_C|$, потім замінити реостат котушкою без осердя, дотримуючи $|Z_L| = |Z_C|$. З'ясувати, як впливає значення і характер опору навантаження на ефект стабілізації. Результати дослідів порівняти з результатами, отриманими в п.3.

Література

1. Нейман Л. Р., Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники. - Л.: Энергоиздат, 1981, т. 2. - 415 с.
2. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. - М.: Энергия, 1975. - 752 с.
3. Жуховицкий Б. Я., Негневицкий И. Б. Четырехполюсники, длинные линии, нелинейные цепи. - М.: Энергия, 1965. - 230 с.
4. Нейман Л. Р., Калантаров П. Л. Теоретические основы электротехники. - М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1959, т. 2. - 444 с.
5. Зевеке Г. В., Ионкин П. А. Основы электротехники. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1955, т. I. - 216 с.
6. Калантаров П. Л. Руководство к лаборатории переменных токов. - М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1949. - 140 с.
7. Курило И. А., Толпыго О. Б. Нелинейные электрические цепи и методы их анализа. - Киев.: КПИ, 1979. - 140 с.