

Лабораторна робота № 3

Загальні теоретичні відомості

Якщо до кола, схема якого наведена на рис. 3.1, підвести напругу, то котушка індуктивності і батарея конденсаторів будуть знаходитися під однією і тою ж напругою U .

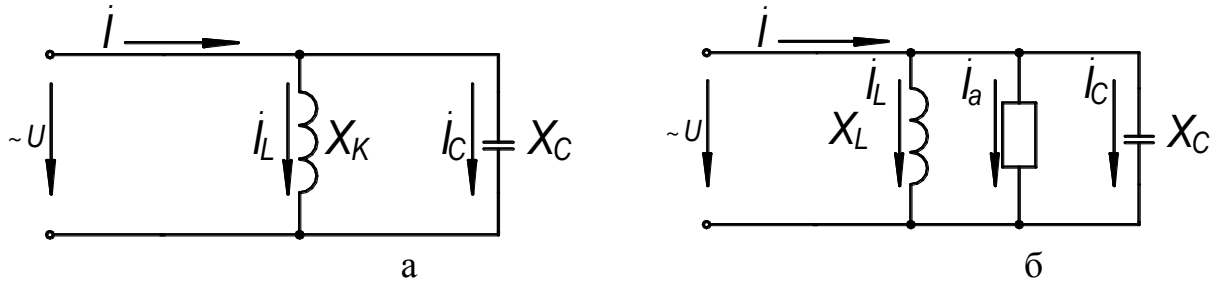


Рисунок 3.1 – Паралельне з'єднання котушки індуктивності та конденсатора (а) та еквівалентна схема заміщення (б)

Струм в котушці індуктивності I_k :

$$I_k = \frac{U}{Z_k} = \frac{U}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad \text{або} \quad I_k = UY_k, \quad (3.1)$$

де Z_k , R_k , X_k – відповідно повний, активний та індуктивний опір котушки;

$$Y_k = \frac{1}{Z_k} \quad \text{– повна провідність котушки.}$$

Цей струм відстає за фазою від напруги на деякий кут φ_k , косинус та синус якого дорівнюють:

$$\cos\varphi_k = \frac{R_k}{Z_k}; \quad \sin\varphi_k = \frac{X_k}{Z_k}. \quad (3.2)$$

Струм в котушці індуктивності можна розкласти на дві складові: активну I_{kA} , яка співпадає за фазою з напругою і реактивну I_{kP} , яка відстає за фазою від напруги на кут 90° .

Складові струму I_k визначається:

$$I_{kA} = I_k \cos\varphi_k; \quad I_{kP} = I_k \sin\varphi_k. \quad (3.3)$$

Струм у вітках батареї конденсаторів:

$$I_C = \frac{U}{X_C} = U\omega C \quad (3.4)$$

де X_C – ємнісний опір батареї конденсаторів;
 ω – кутова частота ($\omega = 2\pi f$, $f=50$ Гц).

Цей струм є реактивним і випереджає за фазою напругу на 90° . Реактивні струми котушки і конденсаторної батареї знаходяться в протифазі. Загальний струм (до розгалуження) визначається як геометрична сума струмів віток:

$$\vec{I} = \vec{I}_K + \vec{I}_C = \vec{I}_{KA} + \vec{I}_{KP} + \vec{I}_C \quad (3.5)$$

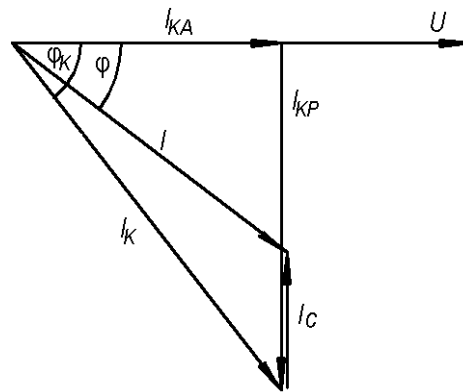


Рисунок 3.2 – Векторна діаграма струмів при паралельному з'єднанні індуктивного і ємнісного опорів

На рис. 3.2 наведена векторна діаграма напруги і струмів кола, яка відображає вираз, що розглядався вище. Показаний випадок, коли $I_{KP} > I_C$. Побудову векторної діаграми проводять в такій послідовності. Вибирають зручні для побудови масштаби струму і напруги. Далі у вибраному масштабі із початку координат в будь-якому напрямку (наприклад, горизонтально) відкладають вектор загальної для всіх елементів кола напруги U . Із цієї ж точки в масштабі струму відкладають вектори струмів – активного струму котушки $I_{KA} = I_K \cos \varphi_K$ за напрямком вектора напруги, реактивного струму котушки $I_{KP} = I_K \sin \varphi_K$, який відстає від вектора напруги на 90° (донизу) і струму батареї конденсаторів I_C , який випереджує вектор напруги U на 90° (доверху). Склавши вектори струмів I_{KA} і I_{KP} , отримують вектор струму котушки I_K , який відстає від напруги на кут φ_K . Склавши його з вектором струму батареї конденсаторів I_C , отримують вектор загального струму I (струму до розгалуження).

Дослідження кола однофазного змінного струму з паралельним з'єднанням індуктивного і ємнісного опорів

У загальному випадку цей струм не співпадає за фазою з напругою. Залежно від величини струмів I_{KP} і I_C , загальний струм відстає або випереджає за фазою напругу на деякий кут φ .

Режим, при якому загальний струм відстає за фазою від напруги при $I_{KP} > I_C$ називають недокомпенсацією.

Режим, при якому загальний струм випереджає напругу при $I_{KP} < I_C$ називають перекомпенсацією.

Режим, повної компенсації спостерігається при $I_{KP} = I_C$, при цьому струм та напруга співпадають за фазою.

В останньому випадку в колі спостерігається явище резонансу струмів, при якому загальний струм має найменше значення – він дорівнює активній складовій струму кола, тобто $I = I_{KA}$ (рис. 3.3). Струми в окремих вітках при цьому, як правило, в декілька разів перевищують загальний струм.

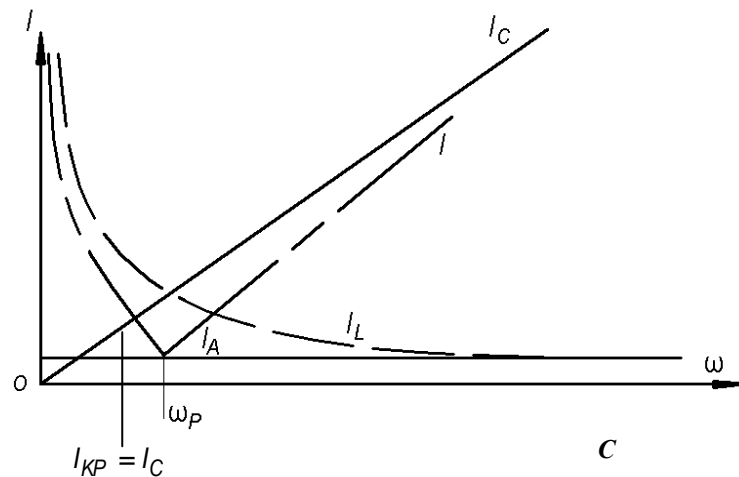


Рисунок 3.3 – Графіки залежності струмів у колі з паралельним з'єднанням індуктивного і ємнісного опорів від ємності батареї конденсаторів

Явище резонансу струмів – найвигідніший в економічному відношенні режиму роботи електричного кола. Використовуючи його на практиці, здійснюють компенсацію реактивної потужності струмоприймачів.

В елементах електричного кола, які характеризуються активним опором R та індуктивністю L , тільки частина електричної енергії перетворюється в енергію неелектричних видів (теплову і механічну). Друга її частина безперервно коливається між елементами і джерелом енергії: під час формування магнітного поля енергія надходить від джерела, а при його розпаді повертається знову до джерела.

Відомо, що електрична енергія змінного струму буває активною і реактивною. Активна енергія – це та енергія, яка перетворюється в енергію інших видів – механічну, теплову, променисту; реактивна енергія – це енергія, що накопичується в магнітних та електричних полях перетворюючих

пристроїв і, яка повертається до генераторів електростанцій у тій самій кількості.

За характером реактивна енергія буває двох видів – індуктивна (створює магнітні поля в різних пристроях) та ємнісна (створює електричні поля). Реактивна енергія з точки зору перетворення в інші види енергії є нібито не потрібною, але без її споживання не можуть працювати асинхронні електродвигуни, різноманітні трансформатори, дроселі тощо. Індуктивна та ємнісна енергія супроводжує роботу ліній електропередач. Отже, реактивна енергія – це незмінний супутник активної енергії змінного струму; без її наявності не може здійснюватися транспортування електроенергії, її перетворення.

Фізичним проявом реактивної енергії є наявність фазового зсуву між синусоїдою напруги та синусоїдою струму: в разі випереджуючого струму має місце ємнісна реактивна енергія, у разі відстаючого струму – індуктивна реактивна енергія. Кількісним показником реактивної енергії є реактивна потужність (вимірюється у *Var*, *kVar*), яка для кіл трифазного синусоїдного струму з симетричним навантаженням визначається за формулою:

$$Q = \sqrt{3}UI \sin\varphi, \quad (3.6)$$

де: U – лінійна напруга, В;

I – сила струму, А;

φ – кут зсуву між синусоїдою струму та синусоїдою напруги в кожній з фаз.

Збільшення реактивної потужності під час транспортування електроенергії призводить до зниження пропускної здатності всіх ланок і елементів (ліній електропередачі, силових трансформаторів), по яких вона транспортується. Транспортування реактивної потужності у випадку централізованого електропостачання перетворюється на проблему з таких причин:

1) збільшення реактивної потужності Q , що передається по елементах централізованого електропостачання, призводить до збільшення втрат електроенергії в цих елементах;

2) транспортування реактивної потужності призводить до збільшення втрат напруги в усіх елементах централізованої системи електропостачання: генераторах, трансформаторах, лініях електропередачі, а це, в свою чергу, обумовлює погіршення якості електроенергії. В лініях електропередачі, генераторах і трансформаторах протікання реактивної потужності викликає появу реактивної складової втрати напруги.

Найпоширенішими і найважливішими струмоприймачами, для роботи яких необхідна реактивна індуктивна потужність, є однофазні і трифазні електродвигуни. Відомо, що реактивна потужність, яку споживає асинхронний двигун, практично не залежить від механічного навантаження

на валу і визначається рівнем напруги живлення електродвигуна. Враховуючи те, що більшу частину електричної енергії, виробленої генераторами електростанцій, споживають асинхронні електродвигуни, реактивна потужність в елементах системи централізованого електропостачання визначається кількістю цих електродвигунів, що працюють у даний момент.

Іншими споживачами реактивної індуктивної потужності є різні трансформатори і дроселі, що також мають широке застосування у процесі перетворення та споживання електроенергії. Ще одним споживачем реактивної індуктивної потужності є кабельні лінії електропередачі.

Головним джерелом реактивної потужності є синхронні генератори електростанцій. Залежно від характеру навантаження синхронні генератори або виробляють, або споживають реактивну потужність внаслідок зміни інтенсивності магнітного поля ротора. На практиці генератори електростанцій виробляють реактивну індуктивну потужність через те, що існує багато її споживачів. Для генерування реактивної потужності синхронними генераторами електростанцій не потрібно витратити паливо чи інші енергоносії, а тому здається, що реактивна потужність безкоштовна. Але в разі централізованого виробництва реактивної енергії відстань передачі її найбільша і небажані наслідки цього (розглянуто вище) виявляються найбільш повною мірою.

У сільськогосподарському виробництві використовуються електродвигуни малої і середньої потужності, тому для цих електроприводів найчастіше застосовується групова компенсація реактивної потужності - приєднання конденсаторних установок до шин розподільчих пристроїв, групових шитків або інших розподільчих вузлів, що живлять групу споживачів. Для групи електродвигунів у зв'язку з коливаннями потужності доцільно встановити багатосекційну конденсаторну установку, яка б забезпечила можливість компенсації як максимального значення споживаної реактивної потужності, так і її мінімального значення. Такі конденсаторні установки є регульованими і випускаються промисловістю комплектно (всі елементи містяться в одній чи кількох спеціалізованих шафах).

Таким чином, у загальному випадку активна потужність кола P , характеризується інтенсивністю перетворення електричної енергії в енергію інших неелектричних видів, складає лише частину повної потужності S , яка дорівнює добутку діючих значень напруги та струму.

Якщо в колі має місце зсув за фазою між напругою і струмом ($\varphi \neq 0$) а $S = UI$, то активна потужність:

$$P = UI \cos \varphi = S \cos \varphi \quad (3.7)$$

В останньому виразі $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, що вказує, яку частину повної потужності складає активна. Із наведеного вище виразу:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI} . \quad (3.8)$$

Для кількісної оцінки процесу обміну (коливання) енергії між джерелом і реактивними елементами кола введено поняття реактивної потужності Q , яка визначається виразом:

$$Q = UI \sin\varphi = S \sin\varphi . \quad (3.9)$$

Якщо паралельно з розглянутим вище елементом електричного кола (індуктивність) ввімкнути конденсатор, реактивний опір якого $X_C = X_{KP}$, то під час розкладу магнітного поля енергія не буде повертатись до споживача, а піде на формування електричного поля конденсатора. Формування ж магнітного поля індуктивного елемента буде проходити за рахунок розпаду електричного поля конденсатора. Коливання енергії буде проходити не між струмоприймачем і джерелом, а між струмоприймачем та приєднаним паралельно до нього конденсатором. Повна потужність джерела S і його струм I у цьому випадку будуть меншими, ніж струм та повна потужність струмоприймача. Тому, втрата енергії в джерелі та мережі електропередачі буде менша, тому меншою може бути і її встановлена потужність.