

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський електромеханічний фаховий коледж

МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА

З навчальної дисципліни

Електротехніки та основи електроніки

« Методичні вказівки для виконання домашньої
контрольної роботи №2»

Тема: «Кола змінного струму»

для спеціальності 174 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології”

Викладач М. Рудь

Київ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський електромеханічний фаховий коледж

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з навчальної роботи

_____ О.Марченко

“ ____ ” _____ 2024р

комісі _____ С.Губар

УХВАЛЕНО

Цикловою комісією :

174 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

Протокол № _____ від “ ____ ” квітня_2024_р

Голова циклової

З навчальної дисципліни

Електротехніки та основи електроніки

« Методичні вказівки для виконання домашньої

контрольної роботи №2»

Тема: «Кола змінного струму»

для спеціальності 174 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Викладач М. Рудь

Київ2024

Завдання

1. Електричні кола змінного струму

1.1 Основні поняття про змінний струм Отримання синусоїдальної Е.Р.С.

Програма.

Означення змінного струму. Графіки змінного струму. Миттєве значення величини змінного струму. Період, частота і одиниці її вимірювання. Діапазони частот, які використовуються в різних областях електротехніки і зв'язку. Отримання синусоїдальної змінної ЕРС. Кутова частота означення миттєвих величин змінного струму. Залежність частоти Е.Р.С. від числа пар полюсів генератора та швидкості обертання його ротора. Графічне зображення синусоїдальних величин за допомогою векторної і хвильової (розгорнутої) діаграм.

Фаза, початкова фаза, кут зміщення фаз. Додавання змінних Е.Р.С. і струмів за допомогою хвильової та векторної діаграм. Середнє значення напруги і струму за повний період і половину періоду (без доведення). Діюче значення величин змінного струму (без доведення). Коефіцієнти форми кривої і амплітуди. Вимірювання діючих значень Е.Р.С., напруги, струму.

1.2 Кола змінного струму з активним опором, індуктивністю та опором.

Програма

Елементи кіл змінного струму: резистори, котушки індуктивності, конденсатори. Опір, індуктивність і ємність параметри електричних кіл змінного струму. Явище поверхневого ефекту. Коло з активним опором.

Означення реактивного опору. Хвильова і векторна діаграми струму і напруги. Закон Ома. Миттєва і середня потужності. Коло з індуктивністю. Хвильова і векторна діаграми. Рівняння струму, магнітного потоку, напруги Е.Р.С. самоіндукції.

Індуктивний опір і його фізичний сенс. Закон Ома. Графік залежності індуктивного опору від частоти. Графік миттєвої потужності. Енергетичний процес в даному колі. Реактивна потужність та її одиниця вимірювання. Коло з ємністю. Поняття про процес заряду та розряду конденсатора. Хвильова та векторна діаграми кола з ємністю. Причини проходження струму в даному колі. Рівняння миттєвих значень струму і напруги в даному колі. Закон Ома. Ємнісний опір та його фізичний сенс. Графік миттєвої потужності. Енергетичний процес в даному колі. Реактивна потужність.

1.3 Кола змінного струму з послідовним

з'єднанням приймачів.

Програма

Коло з активним опором і індуктивністю. Рівняння миттєвих значень струмів і напруг на ділянках кола. Хвильова і векторна діаграми струму і напруги. Трикутники напруг і струмів. Закон Ома. Енергетичний процес в даному колі. Трикутник потужностей. Активна реактивна і повна потужності. Коефіцієнт потужності. Коло з активним опором і ємністю. Рівняння миттєвих значень струму і напруг на ділянках кола. Хвильова і векторна діаграми для даного кола. Трикутники напруг і опорів. Закон Ома. Трикутник потужностей. Активна реактивна і повна потужності. Коефіцієнт потужності. Коло з активним опором, індуктивністю і ємністю. Рівняння миттєвих значень напруг на ділянках кола. Трикутники напруг і опорів. Закон Ома. Трикутник потужностей. Енергетичний процес в

даному колі. Енергетичний процес в коливальному контурі. Частота і період власних коливань. Хвильовий опір. Незатухаючі і затухаючі коливання.

1.4 Резонанс напруг

Програма

Умова виникнення резонансу напруг. Повний і реактивний опір при резонансі напруг. Векторна діаграма. Коефіцієнт потужності. Закон Ома. Графіки залежності реактивного і повного опорів від частоти. Енергетичний процес в даному колі. Добротність кола. Резонансні криві. Використання резонанса напруг в пристроях зв'язку. Коло змінного струму з декількома користувачами, які мають активні, реактивні та ємнісні опори. Векторна діаграма. Закон Ома для даного кола.

1.5 Коло змінного струму з паралельним з'єднанням приймачів

Програма

Коло з паралельним з'єднанням котушок індуктивності. Активна і реактивна складові струму. Активна, реактивна повна провідності. Означення коефіцієнту потужності, величини струму, активної і повної потужностей в результаті провідностей. Спільний випадок поля з паралельними вітками. Конденсатор з втратами. Кут втрат.

1.6 Резонанс струмів

Програма

Умова використання резонансу струмів. Векторна діаграма кола при резонансі струмів. Резонансні криві. Практичне застосування резонансу струмів. Коефіцієнт потужності, економічне значення. Методи підвищення коефіцієнту потужності.

Питання для самоперевірки і підготовки до екзамену по розділу

"Електричні кола змінного струму".

1. Змінний струм. Означення. Графік струму. Миттєве і максимальне значення змінного струму. Період, частота одиниці їх вимірювання. Кутова частота струму. Діапазон частот змінних струмів, які використовуються в техніці.
2. Отримання синусоїдально змінної Е.Р.С. при обертанні витка у магнітному полі. Хвильова діаграма Е.Р.С. Рівняння миттєвого значення Е.Р.С. Залежність частоти Е.Р.С. від числа пар полюсів генератора і швидкості обертання ротора. Кутова частота.
3. Фаза, початкова фаза, зсув фаз. Хвильові діаграми двох синусоїдальних струмів, не співпадаючих за фазою; співпадаючих за фазою і змінюючих у протифазі.
4. Графічне зображення синусоїдальних змінних Е.Р.С. при допомозі хвильової та векторної діаграм. Означення амплітуди фази синусоїдальної Е.Р.С. (привести приклади побудови хвильової та векторної діаграми в загальному виді для двох змінних струмів, зсунеті по фазі) .
5. Середнє значення змінного струму за період і півперіод. Діючі значення

струму, напруга і Е.Р.С. Коефіцієнт амплітуди. Коефіцієнт форми кривої. Вимірювання діючих значень Е.Р.С. напруги і струму.

6. Коло змінного струму з активним опором. Схема. Напруга і струм в електричному колі. Хвильові діаграми струму і напруги. Закон Ома для максимальних і діючих значень. Векторна діаграма кола.

7. Індуктивність в колі змінного струму. Схема кола. Аналітичний вираз струму, магнітного потоку, Е.Р.С. самоіндукції, і напруги кола. Хвильова і векторна діаграми кола. Індуктивний опір кола і його фізичний зміст. Графік залежності індуктивного опору від частоти. Енергетичний процес в колі. Реактивна потужність кола, її одиниці вимірювання.

8. Коло з ємністю. Схема. Заряд і розряд конденсатора. Аналітичні вираження напруги і струму в колі. Хвильова діаграма кола. Закон Ома. Векторна діаграма. Ємнісний опір, його фізичний зміст, графічне зображення. Енергетичний процес в колі. Реактивна потужність, її одиниці вимірювання.

9. Параметри електричних кіл змінного струму: активний опір, індуктивність, ємність, їх особливості.

10. Послідовне з'єднання активного опору і індуктивності. Схема кола. Аналітичне вираження струму, активної та індуктивної складових напруги. Векторна діаграма кола. Закон Ома. Трикутник опору і потужності. Коефіцієнт потужності.

11. Послідовне з'єднання двох катушок індуктивності. Схема кола. Аналітичне вираження струму та напруги на окремих ділянках кола. Векторна діаграма кола. Закон Ома. Трикутник опору і потужності. Коефіцієнт потужності. Повна, активна, реактивна потужності всього кола.

12. Послідовне з'єднання активного опору, індуктивності і ємності. Схема кола. Аналітичне вираження струму та напруги на окремих ділянках кола.

Векторна діаграма кола. Закон Ома. Повний опір. Трикутники опорів і потужностей всього кола. Коефіцієнт потужності кола.

13. Коливальний контур з дуже малим активним опором. Частота власних коливань і їх залежність від індуктивності і ємності контура. Хвильовий опір контура. Незатухаючі коливання. Добротність коливального контура.

14. Резонанс напруг. Умова виникнення резонансу напруг. Векторна діаграма кола. Закон Ома. Опір кола. Напруга на окремих ділянках кола. Добротність контура.

15. Резонансні криві послідовного коливального контура. Використання явища резонанса.

16. Послідовне з'єднання декількох споживачів, які мають активний, реактивний та ємнісний опір. Схема кола. Закон Ома. Розрахунок повного опору кола, активної, реактивної та повної потужності. Векторна діаграма кола.

17. Розрахунок кола, яке складається з двох паралельних віток з активним і індуктивним опором (дві котушки індуктивності), схема кола. Векторна діаграма струмів.

18. Означення струмів віток за законом Ома і загального струму. Активна, реактивна і повна потужність кола. Коефіцієнт потужності кола.

19. Розрахунок розгалужених кіл методом провідності.

Активний і реактивний струм. Активна, реактивна і повна провідності. Значення коефіцієнта потужності, струму, активної, реактивної та повної потужності через провідність. Розрахунок кола з паралельним з'єднанням активного опору, індуктивності, ємності. Схема кола. Векторна діаграма. Розрахунок струму віток, всього струму.

20. Резонанс струмів. Схема кола. Умови виникнення резонансу струмів. Векторна діаграма. Властивості кола при резонансі струмів.

21. Резонансні криві паралельного коливального контура.

Використання явища резонансу струмів в техніці радіо і провідного зв'язку.

22. Коефіцієнт потужності, його значення в енергетиці. Способи його підвищення.

23. Конденсатор з втратами. Кут втрат. Повне позначення конденсатора з втратами, його послідовна еквівалентна схема. Векторна діаграма цієї схеми.

Завдання для домашньої контрольної роботи №2

Задача 1

В колі змінного струму включена котушка, індуктивність якої $L=51\text{ мГ}$. До кола прикладено напругу $u=169\sin(314t+54)\text{ В}$. Скласти рівняння миттєвого значення струму. Знайти активний і індуктивний опір котушок, частоту покази амперметра і вольтметра підключений в коло. Амплітуду напруги і струму. Накреслити схему струму і побудувати векторну діаграму струму і напруги в масштабі $M_u=248\text{ В/см}$.

Задача 2

В коло змінного струму включений резистор опір якого $R=16\text{ Ом}$ і послідовно з ним конденсатор. Рівняння напруги на клеммах $u=141\sin(314t-36)\text{ В}$. Скласти рівняння миттєвого значення струму, ємність, частоту, амплітуду струму, і напруги, діючі значення струму і напруги. Накреслить схему струму і побудувати векторну діаграму струму і напруги а масштабі $M_u=20\text{ В/см}$

Задача 3

В коло змінного струму включені паралельно резистор $R=40\text{ Ом}$ і конденсатор $C=100\text{ мкФ}$, до кола підведена напруга $u=84,6\sin 314t\text{ В}$. Скласти рівняння загального струму i . Знайти амплітуду і діючі значення струмів і напруги, частоту. Накреслити схему кола, побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_i=0.5\text{ А/см}$.

Задача 4

В коло змінного струму включені паралельно котушки з індуктивністю $L=0.35\text{ Гн}$ з дуже малим активним опором і резистор опором $R=110\text{ Ом}$. до кола підведена напруга $u=310\sin 314t$. Скласти рівняння загального струму i . Знайти амплітуду всіх струмів і напруг. Частоту діючих значень струмів і напруг. Накреслити схему кола, побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_i=0.5\text{ А/см}$.

Задача 5

В коло змінного струму включена котушка індуктивності, активний опір якої $R=40\text{ Ом}$. В колі протікає струм $i=2,92\sin 314t\text{ А}$, покази вольметра $U=100\text{ В}$. Скласти рівняння миттєвого значення загальної напруги кола. Знайти частоту, індуктивність котушки, покази амперметра, амплітуду струму. Накреслити схему кола, побудувати векторну діаграму напруги в масштабі $M_u=20\text{ В/см}$

Задача 6

В коло змінного струму включені послідовно резистор і конденсатор, ємність якого $C=79,5 \text{ мкФ}$, рівняння струму $i=3,58\sin 314t \text{ А}$, рівняння активної напруги $u_a=107,5\sin 314t \text{ В}$. Скласти рівняння миттєвого значення напруги. Знайти частоту, активний опір, покази амперметра і вольтметра, амплітуди струму активної ємності і загальної напруги. Накреслити схему кола, побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=258\text{В/см}$.

Задача 7

Котушка індуктивності з параметрами: $R=20 \text{ Ом}$ і $L=102 \text{ мГн}$, два конденсатори, ємність яких $C_1=C_2=113,5 \text{ мкФ}$ і резистор опором з'єднані послідовно і ввімкнені в мережу змінного струму з частотою $f=50\text{Гц}$. Активна потужність кола $P=200\text{Вт}$.

Знайти:

1. Повний опір кола Z .
2. Напругу на затискачах кола, на котушці.
3. Струм в колі I .
4. Повну S , реактивну Q потужності, коефіцієнт потужності $\cos\varphi$.
5. Накреслити схему кола з приладами для вимірювання струму, напруги, активної потужності
6. Побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=208 \text{ В/см}$. Знайти також індуктивність при якій в даному колі виникає резонанс напруг.

Задача 8

Дві котушки індуктивності з параметрами $R_1=16 \text{ Ом}$, $L_1=38,8 \text{ мГн}$, $R_2=24 \text{ Ом}$, $L_2=102 \text{ мГн}$ C_1 конденсатор з ємністю 227 мкФ з'єднані послідовно і ввімкнені в мережу змінного струму з частотою $f=50 \text{ Гц}$. Напруга на конденсаторі $U=35 \text{ В}$

Знайти:

1. Повний опір кола Z_1, Z_2 .
2. Напругу на затискачах кола, на котушках U_{L1}, U_{L2}
3. Струм в колі.
4. Повну, реактивну потужності, коефіцієнт потужності.
5. Накреслити схему кола з приладами для вимірювання струму, напруги, активної потужності
6. Побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=208 \text{ В/см}$.

Задача 9

Резистор з опором $R_1=26,5 \text{ Ом}$, конденсатор ємністю $C=28,5 \text{ мкФ}$ і котушка індуктивності з'єднанні послідовно і ввімкнені в мережу змінного струму з частотою $f=50 \text{ Гц}$. Покази ватметра $P=113 \text{ Вт}$. Параметри котушки $R_2=30 \text{ Ом}$, $L_2=127,5 \text{ мГн}$.

Знайти:

1. Повний опір кола.
2. Напругу на затискачах кола, на котушці потужності
3. Струм в колі .
4. Повну, реактивну потужності, коефіцієнт потужності
5. Накреслити схему кола з приладами для вимірювання струму, напруги, активної потужності.

6. Побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=208 \text{ В/см}$. Знайти також ємність при якій в даному колі виникає резонанс.

Задача 10

Резистор з опором $R_2=50 \text{ Ом}$, конденсатор ємністю $C=30,2 \text{ мкФ}$ і котушка індуктивності з'єднані послідовно і ввімкнені в мережу змінного струму з частотою $f=50 \text{ Гц}$. Активний опір котушки $R_1=30 \text{ Ом}$. Напруга на резисторі $U_{a2}=100 \text{ В}$. Напруга на котушці $U_L=100 \text{ В}$.

Знайти:

1. Індуктивність котушки .
2. Повний опір кола
2. Напругу на затискачах кола, струм в колі.
3. Повну , реактивну потужності, коефіцієнт потужності
5. Накреслити схему кола з приладами для вимірювання струму, напруги, активної потужності
6. Побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=208 \text{ В/см}$.

Задача 11

Два конденсатори ємністю $C_1=C_2=98 \text{ мкФ}$, і дві котушки з'єднані послідовно і ввімкнені в мережу змінного струму з частотою $f=50 \text{ Гц}$. Напруга на першій котушці $U_{L1}=145 \text{ В}$, а її активний опір $R_1=20 \text{ Ом}$ напруга на конденсаторі $U_{c1}=U_{c2} \text{ В}$, активна потужність кола $P=58 \text{ Вт}$, індуктивність другої котушки $L_2=31,1 \text{ мГн}$.

Знайти:

1. Активний опір другої котушки, індуктивність першої котушки.
2. Повний опір котушок Z_1 , Z_2 і всього кола.
3. Струм в колі, напругу на клеммах кола, напругу на другій котушці.
4. Повну S , реактивну потужності, коефіцієнт потужності.
5. Накреслити схему кола з приладами для вимірювання струму, напруги, активної потужності.
6. Побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=228\text{В/см}$.

Задача 12

Котушка індуктивності з параметрами $R=15\text{ Ом}$ $L=63,7\text{мГн}$, резистор опором $R=25\text{ Ом}$ і конденсатор ємністю $C=63,5\text{ мкФ}$ з'єднані послідовно і ввімкнені в мережу змінного струму з частотою $f=50\text{Гц}$ і напругою $U=150\text{В}$

Знайти:

1. Повний опір кола Z , котушки Z_k і напругу на ній. Струм в колі.
3. Повну S , реактивну Q потужності, коефіцієнт потужності.
4. Накреслити схему кола з приладами для вимірювання струму, напруги, активної потужності
5. Побудувати векторну діаграму напруги і струму в масштабі $M_u=258\text{В/см}$.
6. Знайти ємність при якій в даному колі виникає резонанс.

Задача13

Послідовно з котушкою, маючою опір $R=20$ Ом індуктивність $L=20$ мГн, включений конденсатор змінної ємності $C=0, 16, 24, 32, 40, 48, 64$ мкФ. Напруга джерела енергії $U=60$ В, кутова частота $\omega=1250$ рад/с. Накреслити схему кола. Розрахувати величину повного опору кола Z , струми при заданих ємностях. Результати занести в таблицю. Побудувати графік залежності струму від ємності в масштабі $M_i=4$ А/см, $M_c=8$ мкФ/см на міліметровому папері. Визначити резонансну ємність. При резонансі вирахувати струм, напругу котушки і конденсатора, активну потужність кола реактивні потужності котушки і конденсатора. Вирахувати добротність контура при резонансі.

Задача14

Послідовний коливальний контур підключений до джерела енергії з напругою $U=100$ мВ, активний опір $R=200$ Ом. Ємність конденсатора $C=500$ пФ в колі режим напруги, т.е. $\omega=\omega_0=2 \cdot 10^5$ рад/с. Накреслити схему кола. Знайти індуктивність котушки L на резонансній частоті накреслити струм I_0 , добротність контура Q , активну потужність кола P , реактивні потужності Q_L і Q_C котушки і конденсатора. Знайти величину повного опору кола Z , і струму i при заданих значеннях кутової частоти $\omega=0; 10^5; 10^5; 1.5 \cdot 10^5; 1.8 \cdot 10^5; 2 \cdot 10^5; 2.1 \cdot 10^5; 3 \cdot 10^5; 5 \cdot 10^5$ рад/с. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати резонансну криву струму I від частоти ω в масштабі $M_I=40$ мкА/см, $M_\omega=0.5 \cdot 10^5$ рад/с на міліметровому папері.

Задача15

Коливальний контур складається з послідовно з'єднаних котушок індуктивності з активним опором $R=1,2 \text{ Ом}$, індуктивністю $L=3,2 \text{ мГн}$ і конденсатора ємністю 50 мкФ . Напруга джерела енергії $U=120\text{В}$. Накресліть схему кола. Визначити резонансну кутову частоту ω_0 і при резонансі побудувати струм I_0 , активну потужність P , реактивні потужності і котушки і конденсатора, добротність контура. Знайти величину повного опору кола Z і струму I при заданих значеннях кутової частоти $\omega = 0; 1000; 1500; 2000; 2500; 3000; 4000; 6000 \text{ рад/с}$. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати резонансну криву струму I від частоти ω в масштабі $M_I=10\text{А/см}$, $M_\omega=500\text{рад/с}$ на міліметровому папері.

Задача16

Котушка і конденсатор з'єднані послідовно. Активний опір котушки $R=2 \text{ Ом}$, індуктивність $L=50 \text{ мГн}$, ємність конденсатора $C=20 \text{ мкФ}$. Напруга джерела енергії $U=88$. Накреслити схему кола. Накреслити схему кола. Визначити резонансну кутову частоту і в режимі резонансу визначити струм, добротність контура Q , напругу на котушці і конденсаторі, активну потужність кола, реактивну потужність котушки і конденсатора. Розрахувати величину повного опору кола і струму, при заданих значеннях кутової частоти $\omega = 0; 500; 900; 100; 1500; 2000 \text{ рад/с}$. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати резонансну криву струму I від частоти ω в масштабі $M_I=0,5 \text{ А/см}$, $M_\omega=200 \text{ рад/с}$ на міліметровому папері.

Задача17

Котушка з активним опором $R=2$ Ом і змінною індуктивністю $L=0; 20; 40; 50; 60; 80; 100$ мкГн з'єднан конденсатором ємністю $C=5$ мкФ і ввімкнена в мережу змінного струму з напругою $U=20$ В. Кутова частота $\omega=2 \cdot 10^3$ рад/с. Накреслити схему кола. Визначити при резонансі величину індуктивності котушки, струм, напругу на котушці і конденсаторі, а також активну потужність P , реактивні потужності Q_1 котушки і конденсатора, добротність контура Q . Визначити значення повного опору z і струму I при заданих значеннях індуктивності $L=0; 20; 40; 50; 60; 80; 100$ мкГн. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графік залежності струму I від індуктивності L в масштабі $M_I=14$ А/см, $M_L=10$ мГн/см на міліметровому папері.

Задача18

В мережу змінного струму включені послідовно котушка з активним опором $R=2,5$ Ом і індуктивністю $L=40$ мГ і Конденсатор ємністю $C=16$ мкФ. Напруга на зажимах кола $U=50$ В. Визначити при резонансі кутову частоту ω_0 , струм I , напругу на котушці і конденсаторі, а також активну потужність P , реактивні потужності Q_L і Q_C котушки і конденсатора, добротність контура Q . Накреслити схему кола. Визначити значення повного опору z і струму I при заданих значеннях кутової частоти $\omega=0; 625; 1125; 1250; 1375; 1500; 2500$ рад/с. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графік залежності струму I від частоти в масштабі $M_I=2$ А/см, $M_\omega=250$ рад/с. на міліметровому папері.

Задача 19

Паралельний коливальний контур підключений до джерела енергії напругою $U=50\text{В}$ і кутовою частотою $\omega=2\cdot 10^3$ рад/с. Параметри котушки: активний опір $R=2,5$ Ом і індуктивність $L=25\text{мГ}$. Визначити резонансну ємність C_0 , струми I_1, I_2, I_3 в момент резонансу, добротність контура Q , обчислити струми I_1, I_2, I_3 при заданих значеннях ємності конденсатора $C=0, 5, 10, 15$ мкФ. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графіки залежності струмів I_1, I_2, I_3 від ємності конденсатора в масштабі $M_I=200\text{мкА/см}$, $M_C=2\text{мкФ/см}$. на міліметровому папері.

Задача 20

Паралельний коливальний контур підключений до джерела енергії напругою $U=125\text{В}$ і кутовою частотою $\omega=0,4\cdot 10^6$ рад/с. Параметри котушки: активний опір $R=250$ Ом і індуктивність $L=12,5$ мГ. Визначити ємність конденсатора C , струми I_1, I_2, I_3 в момент резонансу, добротність контура Q . Обчислити струми I_1, I_2, I_3 при заданих значеннях кутової частоти $\omega=0, 0,1\cdot 10^6, 0,2\cdot 10^6, 0,4\cdot 10^6, 0,6\cdot 10^6, 0,8\cdot 10^6$ рад/с. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графіки залежності струмів I_1, I_2, I_3 від кутової частоти ω в масштабі $M_I=10\text{мА/см}$, $M_\omega=0,1\cdot 10^6\text{рад/см}$. на міліметровому папері.

Задача 21

Паралельний коливальний контур підключений до джерела енергії напругою $U=250\text{В}$ і Параметри котушки: активний опір $R=10$ Ом і індуктивність $L=2\text{мГ}$, ємність конденсатора $C=2000\text{пФ}$. Визначити резонансну кутову частоту, струми I_1, I_2, I_3 в момент резонансу, добротність контура Q . Обчислити струми

I_1, I_2, I_3 при заданих значеннях кутової частоти $\omega=0$. Обчислити $0,25 \cdot 10^6, 0,4 \cdot 10^6, 0,5 \cdot 10^6, 0,75 \cdot 10^6, 1,0 \cdot 10^6$ рад/с. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графіки залежності струмів I_1, I_2, I_3 від кутової частоти ω в масштабі $M_I = 50 \text{ мА/см}$, $M_\omega = 0,1$ рад/см на міліметровому папері.

Задача 22

Паралельний коливальний контур підключений до джерела енергії напругою $U=400 \text{ В}$ і кутовою частотою $\omega = 2500$ рад/с. Параметри котушки: активний опір $R=1 \text{ Ом}$ і індуктивність $L=8 \text{ мГ}$. Визначити резонансну ємність C_0 , струми I_1, I_2, I_3 в момент резонансу, добротність контура Q . Обчислити струми I_1, I_2, I_3 при заданих значеннях ємності конденсатора $C=0, 10, 20, 25, 30, 40$ мкФ. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графіки залежності струмів I_1, I_2, I_3 від ємності C в масштабі $M_I=2 \text{ мА/см}$, $M_C=5 \text{ мкФ/см}$. на міліметровому папері.

Задача 23

Паралельний коливальний контур підключений до джерела енергії напругою $U=250 \text{ В}$ і кутовою частотою $\omega = 2000$ рад/с. Параметри котушки: активний опір $R=5 \text{ Ом}$ індуктивність змінна, ємність конденсатора 5 Ом . Визначити резонансну індуктивність, струми I_1, I_2, I_3 в момент резонансу, добротність контура Q . Обчислити струми I_1, I_2, I_3 при заданих значеннях індуктивності котушки $L=0,25, 50, 75, 100$ мГ. Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графіки залежності струмів I_1, I_2, I_3 від індуктивності L в масштабі $M_I=250 \text{ мА/см}$, $M_L=10 \text{ мГ/см}$ на міліметровому папері.

Задача 24

Паралельний коливальний контур підключений до джерела енергії напругою $U = 400\text{В}$ Параметри котушки: активний опір $R = 2500\text{м}$ і індуктивність $L = 250\text{мГ}$, ємність конденсатора $C = 104\text{пФ}$

Визначити резонансну кутову частоту, струми I_1, I_2, I_3 в момент резонансу, добротність контура Q . Обчислити струми I_1, I_2, I_3 при заданих значеннях кутової частоти $\omega = 0, 104, 2 \cdot 104, 3 \cdot 104, 4 \cdot 104$ рад/с.

Результати розрахунку занести в таблицю і побудувати графіки залежності повного опору кола і струмів I_1, I_2, I_3 від кутової частоти и в масштабі $M_I = 20\text{мА/см}$, $M_\omega = 4 \cdot 10^3$ рад/см. $M_Z = 103\text{Ом/см}$ на міліметровому папері.

Задача 25

Для підвищення коефіцієнту потужності паралельно двигуну змінного струму включили конденсатор ємністю $C = 336\text{мкФ}$. Активна потужність, яку споживає двигун $P_1 = 20\text{кВт}$, коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,7$, напруга мережі $U = 380\text{В}$, частота $f = 50\text{Гц}$. Вирахувати струм двигуна I_1 і конденсатора I_2 . Побудувати векторну діаграму струмів в масштабі $M_I = 10\text{А/см}$, відклавши горизонтальний вектор напруги. Із векторної діаграми визначити струм нерозгалуженої частин кола I , і його фазу φ , а потім коефіцієнт потужності всього кола $\cos\varphi$. Якої ємності необхідно вмикнути конденсатор, щоб коефіцієнт потужності зріс до одиниці.?

Задача 26

Двигун змінного струму споживає активну потужність $P = 122\text{кВт}$, коефіцієнт потужності двигуна $\cos\varphi = 0,77$, напруга мережі $U = 220\text{В}$,

частота $f=50\text{Гц}$. Вирахувати струм двигуна I_1 побудувати векторну діаграму струмів в масштабі $M_I=20\text{А/см}$, відклавши горизонтальний вектор напруги. Із векторної діаграми визначити струм конденсатора I_2 , який необхідно включити паралельно двигуну для підвищення коефіцієнту потужності кола до $\cos\varphi=0,9$. Вирахувати ємність цього конденсатора. Визначити також струм в нерозгалуженій ділянці кола I. Якою повинна бути ємність конденсатора для одержання $\cos\varphi=1$

Задача 27

Для підвищення коефіцієнту потужності паралельно двигуну змінного струму включили конденсатор ємністю $C=319\text{мкФ}$. Активна потужність, яку споживає двигун $P_1=35\text{кВт}$, коефіцієнт потужності $\cos\varphi=0,7$, напруга мережі $U=500\text{В}$, частота $f=50\text{Гц}$. Вирахувати струм двигуна I_1 і конденсатора I_2 . Побудувати векторну діаграму струмів в масштабі $M_I=10\text{А/см}$, відклавши горизонтальний вектор напруги. Із векторної діаграми визначити струм нерозгалуженої частини кола I, коефіцієнт потужності всього кола $\cos\varphi$. Визначити повний опір двигуна Z_1 і всього кола Z .

Задача 28

Паралельно котушці з активним опором $R=4\text{ Ом}$ і індуктивністю $L=9,55\text{мГ}$, ввімкнено конденсатор ємністю $C=290\text{мкФ}$. Напруга мережі $U=220\text{В}$, частота $f=50\text{Гц}$. Визначити струм двигуна I_1 , і конденсатора I_2 . Побудувати векторну діаграму струмів в масштабі $M_I=10\text{А/см}$, відклавши горизонтальний вектор напруги. Із векторної діаграми визначити струм нерозгалуженої частини кола I, і його фазу φ , а потім коефіцієнт

потужності всього кола $\cos\varphi$. Визначити також активну P , та реактивну Q потужності кола.

Задача 29

Двигун змінного струму споживає із мережі струм $I_1=16,4\text{A}$, коефіцієнт потужності двигуна $\cos\varphi=0,8$. Напруга мережі $U=380\text{V}$, частота $f=50\text{Гц}$.
Схема зміщення двигуна представлена на малюнку 28. Визначити ємність C конденсатора. Якої ємності необхідно вмикнути конденсатор, щоб коефіцієнт потужності зріс до одиниці.? Побудувати векторну діаграму струмів в масштабі $M_I=2\text{A/см}$, відклавши горизонтальний вектор напруги. Із векторної діаграми визначити струм конденсатора I_2 і струм нерозгалуженої ділянки кола I . Визначити також активну P , та реактивну потужності кола, до підключення конденсатора.

Задача 30

Двигун змінного струму споживає активну потужність $P=100\text{kВт}$ коефіцієнт потужності двигуна $\cos\varphi_1=0,865$. Напруга мережі $U=500\text{V}$, частота $f=50\text{Гц}$

Вирахувати струм двигуна I_1 . Побудувати векторну діаграму струмів в масштабі $M_I=25\text{A/см}$, відклавши горизонтальний вектор напруги. Із векторної діаграми визначити струм конденсатора I_2 , який необхідно включити паралельно двигуну для підвищення коефіцієнту потужності до $\cos\varphi=0.95$.

Визначити також струм в нерозгалуженій ділянці кола I_1 , активну P і реактивну (потужності кола після підключення конденсатора.

$$T = \frac{1}{f}$$

Вимірювальний прилад у колі змінного струму показує точне значення струму, що дорівнює

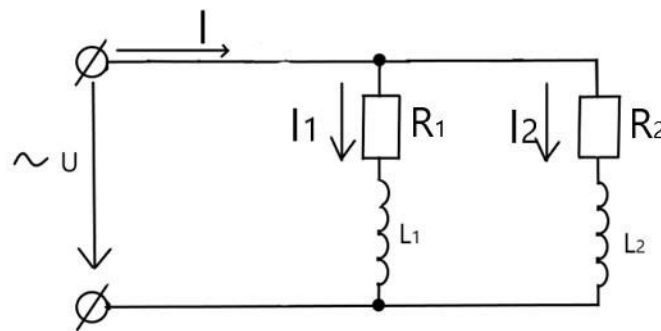
$$I = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$$

Два синусоїдальні змінні струми можуть мати однакові початкові фази, тобто збігатися по фазі або, одночасно досягати нульових та максимальних значень. Наприклад:

$$i_1 = I_{M1} \sin(\omega t - 45);$$

$$i_2 = I_{M2} \sin(\omega t - 45)$$

Такий струм буде проходити в колі при паралельному з'єднанні двох котушок.



Часто в колі струми та напруги не збігаються по фазі. Це означає, що вони мають різні початкові фази. У цьому випадку свідчать про зсув фаз.

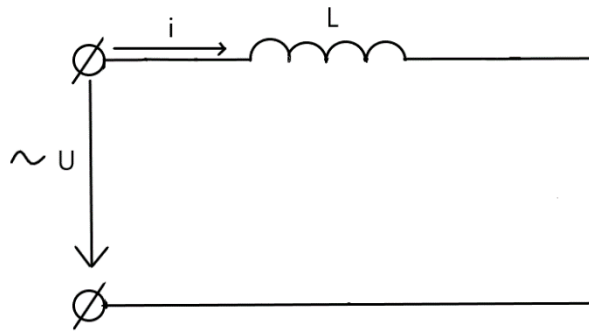
Наприклад:

$$i = I_M \sin \omega t = 141 \sin \omega t, \text{ A,}$$

$u = U_m \sin(\omega t + \psi_U) = 310 \sin(\omega t + 90^\circ)$, В. З цих рівнянь випливає, що амплітуда струму дорівнює $I_m = 141$ А, початкова фаза $\psi_I = 0$; амплітуда напруги дорівнює $U_m = 310$ В; початкова фаза $\psi_U = 90^\circ$. Напруга випереджає струм по фазі на 90° .

$$\varphi = \psi_U - \psi_I = 90^\circ - 0^\circ = 90^\circ$$

У коло підключена котушка індуктивності



Мал. 31.

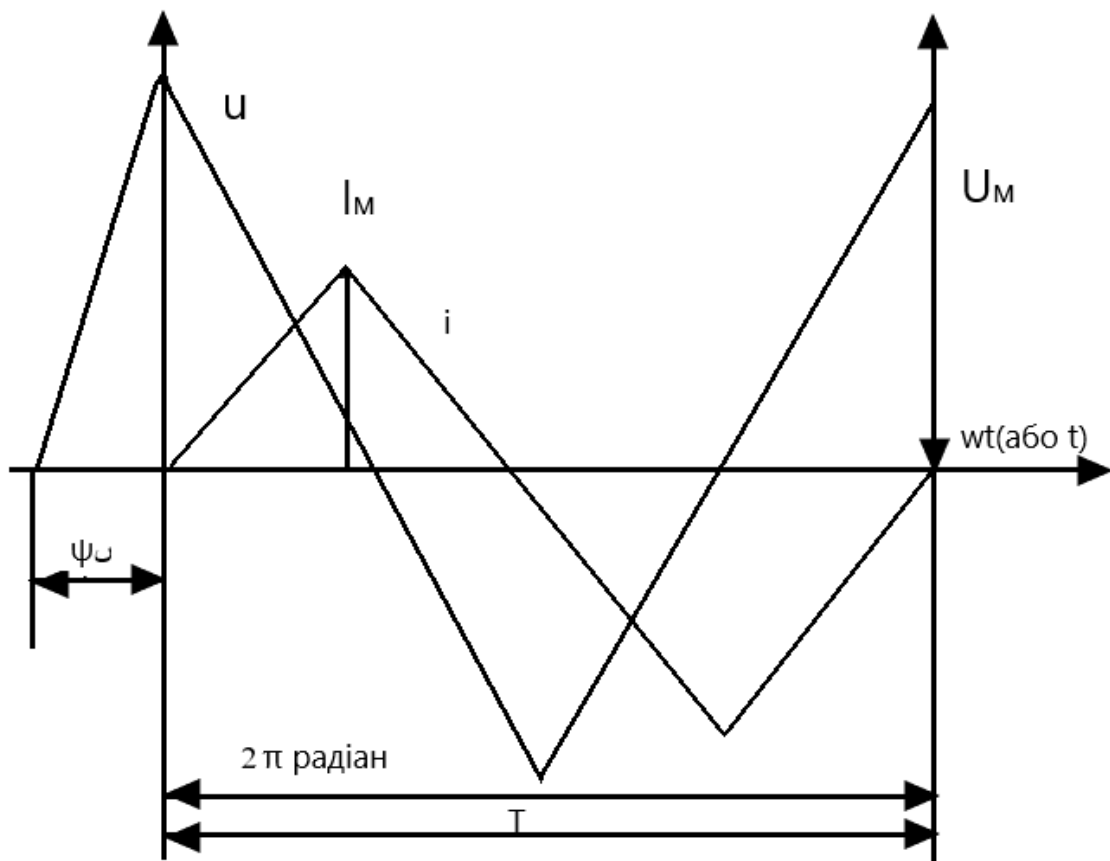
Діюче значення струму та напруги будуть рівні:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{141}{1,41} = 100 \text{ А}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{310}{1,41} = 220 \text{ В}$$

де $\sqrt{2}$ це коефіцієнт амплітуди.

Синусоїдальні струми і напруги зображують графічно хвилястою діаграмою. На хвилястій діаграмі позитивна початкова фаза відкладається вліво від початку координат. Хвилясті діаграми струму і напруги для схеми зображені на малюнку.



Мал. 32

Розрахунки в колах із синусоїдальними напругами і струмами значно спрощуються, якщо замість синусоїд користуватися обертовими векторами. Довжина вектора визначається амплітудою струму або напруги, а напрямок вектора початковою фазою, при цьому позитивна початкова фаза відкладається від горизонтальної осі проти годинникової стрілки, а негативна початкова фаза відкладається за годинниковою стрілкою.

Приклад.

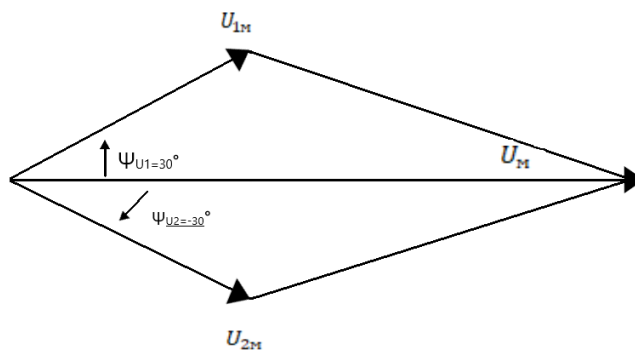
Дві змінні напруги задані рівняннями

$$u_1 = 310 \sin (\omega t + 30^\circ) \quad \text{та} \quad u_2 = 310 \sin (\omega t - 30^\circ)$$

Побудувати векторну діаграму для максимальних значень у масштабі $M_U=62 \text{ В/см}$. З векторної діаграми визначити амплітуду і початкову фазу ψ_i загальної напруги. Скласти рівняння загальної напруги.

Розв'язок.

Векторна діаграма напруг побудована на мал.33. При додаванні заданих напруг одержали синусоїдальну напругу тієї ж частоти з амплітудою і початковою фазою $\psi_i = 0$. Сумарна напруга виражається рівнянням



$$u = U_m \sin(\omega t - \psi_u) = 540 \sin(\omega t + 0^\circ) = 540 \sin \omega t, \text{ В}$$

Задачі 7-12 присвячені розрахунку нерозгалужених кіл, причому розглядаються кола, де послідовно включені кілька активних і реактивних опорів. До розрахунку таких кіл

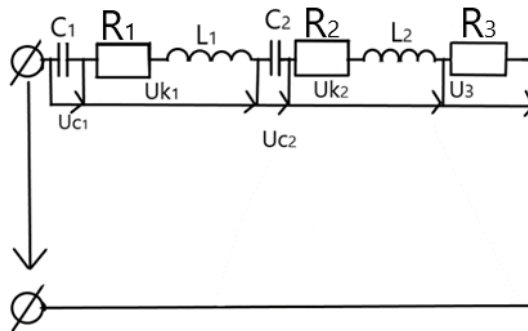
можна приступити тільки за умови глибокого вивчення найпростіших кіл змінного струму, до яких відносяться кола:

- А) з активним опором R ;
- Б) з індуктивністю L ;
- В) із ємністю C .

Реальні електричні кола наводять комбінацію з розглянутих елементів (R, L, C).

Приклад 11.

У коло мал. 34 включені послідовно два конденсатори $C_1=318$ мкФ, $C_2=415$ мкФ, дві котушки з опорами $R_1=2$ Ом, $R_2=2$ Ом, індуктивностями $L_1=15,9$ мГн, $L_2=24,5$ мГн і резистор з опором $R_3=2$ Ом.



Мал. 34.

Прикладена напруга $U=220$ В, частота $f=50$ Гц. Визначити повний опір кола z , струм I , напруги U_{c1} , U_{c2} , U_{k1} , U_{k2} . побудувати векторну діаграму напруг у масштабі $M_U=40$ В/см. Обчислити для всього кола коефіцієнт потужності, активну P , реактивну і повну потужності.

Розв'язок

1. Реактивні опори кола

$$X_{c1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{10^6}{314 \cdot 318} = 10 \text{ Ом}$$

$$X_{c2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{10^6}{314 \cdot 415} = 8 \text{ Ом}$$

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 15,9 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ Ом}$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 314 * 24.5 * 10^{-3} = 7,70 \text{ Ом}$$

2. Реактивний опір кола дорівнює алгебраїчній сумі реактивних опорів

$$X = (X_{L1} + X_{L2}) - (X_{C1} + X_{C2}) = (5 + 7.7) - (10 + 8) = -5,3 \text{ Ом}$$

Знак $< - >$ означає, що навантаження носить ємнісний характер;
прикладена напруга відстає по фазі від струму I у колі на кут φ .

3. Активний опір кола дорівнює арифметичній сумі активних опорів

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 2 + 2 = 6 \text{ Ом}$$

4. Повний опір кола дорівнює геометричній сумі активного і реактивного опорів кола.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{6^2 + 5,3^2} = 8 \text{ Ом}$$

5. Струм в колі

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{8} = 27,5 \text{ А}$$

6. Повні опори котушок:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{2^2 + 5^2} = 5,4 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{2^2 + 7,7^2} = 8 \text{ Ом}$$

7. Падіння напруги:

А) на конденсаторах

$$U_{C1} = I X_{C1} = 27,5 * 10 = 275 \text{ В};$$

$$U_{C2} = I X_{C2} = 27,5 * 8 = 220 \text{ В};$$

Б) на котушках:

$$U_{a1} = IR_1 = 27,5 \cdot 2 = 55 \text{ В};$$

$$U_{L1} = Ix_{L1} = 27,5 \cdot 5 = 137,5 \text{ В};$$

$$U_{k1} = Iz_1 = 27,5 \cdot 5,4 = 148 \text{ В};$$

$$U_{a2} = IR_2 = 27,5 \cdot 2 = 55 \text{ В};$$

$$U_{L2} = Ix_{L2} = 27,5 \cdot 7,7 = 202 \text{ В};$$

$$U_{k2} = Iz_2 = 27,5 \cdot 8 = 220 \text{ В};$$

В) на резисторі:

$$U_{a3} = IR_3 = 27,5 \cdot 2 = 55 \text{ В};$$

8. Коефіцієнт потужності кола

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{8} = 0,75$$

Отже, напруга відстає від струму в колі на кут: $\varphi = \arccos 0,75 = 41^\circ$

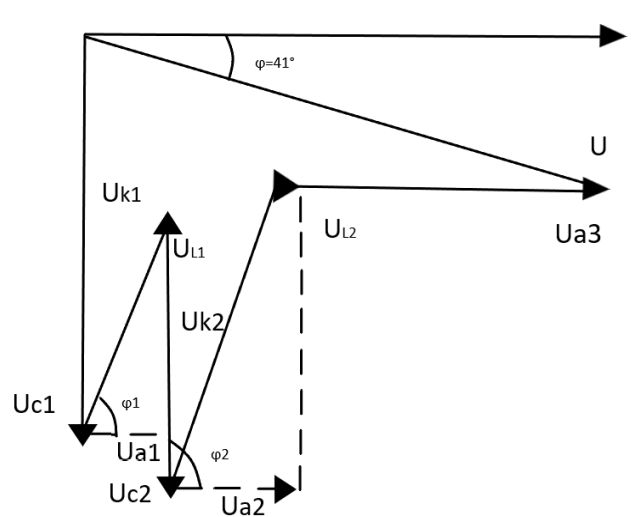
9. Потужність кола:

А) активна $P = I^2 R = (27,5)^2 \cdot 6 = 4538 \text{ Вт}$

Б) реактивна $Q = I^2 x = (27,5)^2 \cdot 5,3 = 4000 \text{ вар};$

В) повна $S = I^2 Z = (27,5)^2 \cdot 2,8 = 6050 \text{ ВА}$

10. Векторна діаграма напруг побудована на мал.35 у масштабі $M_U=40$ В/см.



При побудові векторних діаграм нерозгалужених кіл вихідним є вектор струму, що відкладається горизонтально в довільному масштабі.

Визначимо довжину векторів напруги в масштабі

$$l_{UC1} = \frac{U}{M_u} = \frac{275}{40} = 6,9 \text{ см};$$

$$l_{UC2} = \frac{U_{C2}}{M_u} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ см};$$

$$l_{Ua1} = \frac{U_{a1}}{M_u} = \frac{55}{40} = 1,38 \text{ см} = l_{Ua1} = l_{Ua3}$$

$$l_{UL1} = \frac{U_{L1}}{M_u} = \frac{137,5}{40} = 3,4 \text{ см};$$

$$l_{UL2} = \frac{U_{L2}}{M_u} = \frac{220}{40} = 5,05 \text{ см};$$

$$L_{Uk1} = \frac{U_{k1}}{M_u} = \frac{148}{40} = 3,7 \text{ см};$$

$$L_{Uk2} = \frac{U_{k1}}{M_u} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ см};$$

Вектори напруги відкладаються в масштабі, кожний наступний від кінця попереднього. Вектор активної напруги збігається з вектором струму по фазі, вектор індуктивної напруги випереджає вектор струму по фазі на 90° (вертикально вгору), вектор ємнісної напруги відстає від вектора струму по фазі на 90° (вертикально вниз). Вектор U_{k1} випереджає вектор струму в колі на кут $\varphi_1 = \arccos \frac{R_1}{Z_1} = \arccos \frac{2}{5,4} = 68^\circ$

Вектор U_{k2} випереджає вектор струму в колі на кут $\varphi_2 = \arccos \frac{R_2}{Z_2} = \arccos 0,25 = 75^\circ$

Вектор U відстає від вектора струму в колі на кут

$$\varphi = \arccos \frac{R}{Z} = \arccos 0,75 = 41^\circ$$

Задачі 13-18 присвячені розрахунку послідовних коливальних контурів, тобто кіл із послідовним з'єднанням R , L , C . Відомо, що реактивні опори індуктивності і ємності мають протилежні знаки і, тобто, можуть взаємно компенсуватися. У коливальному контурі при рівності індуктивного і ємнісного опорів загальний реактивний вхідний опір при резонансі стає рівним нулю, тобто

$$x = x_L - x_C = 0 \text{ чи } x_L = x_C \text{ чи}$$

Резонансу можна досягти, змінюючи або частоту прикладеної напруги, або індуктивність котушки, або ємність конденсатора. При цьому значення кутової частоти, індуктивності і ємності, при яких настає резонанс, визначаються формулами:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad L_0 = \frac{1}{\omega^2 C}; \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}$$

Частоту називають резонансною. Варто усвідомити енергетичні співвідношення в коливальному контурі в момент резонансу.

Напруги на котушці або на конденсаторі можуть значно перевершувати прикладене, особливо при малому опорі кола, тобто за умови

$$R < \omega_0 L = L_0 = \frac{1}{\omega^2 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = p$$

Тут p - хвильовий опір контуру

Відношення $Q = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{\omega_0 L}{r}$ називають добротністю

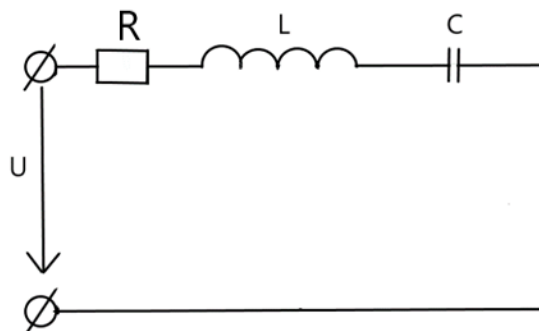
колиального контуру. Величина визначає резонансні властивості контуру і може служити енергетичним параметром контуру, тому що одне з основних вимог котушки індуктивності і конденсатора, полягає в тому, щоб вони по своїх властивостях наближалися до чисто реактивних елементів. Тоді добротність контуру в момент резонансу можна визначити і по співвідношенню

$$Q = \frac{Q_{L0}}{P} = \frac{Q_{C0}}{P}$$

Де $Q_{L0} = Q_{C0}$ – реактивні потужності котушки і конденсатора в момент резонансу.

Приклад 12

У колі (мал.36) заданий опір : котушки $R=100$ Ом та індуктивність $L= 5$ мГн, ємність конденсатора $C=50$ пФ. Наближена напруга $U= 50$ В.



Необхідно обчислити резонансну кутову частоту контуру а потім частоту f_0 , хвильовий опір p . У момент резонансу визначити: струм, напруги на котушці і конденсаторі, добротність контуру, потужність: активну,

реактивні котушки і конденсатора, і повну. Визначити струм у колі, якщо частота збільшиться на 10%. Потім обчислити значення повного опору кола z і струму I на різних частотах, результати розрахунку занести в таблицю і побудувати резонансні криві повного опору і струму, тобто графіки залежності $z = \varphi(\omega)$ $I = \varphi(\omega)$, якщо частота змінюється в такий спосіб:

$$\omega = 0; 1 \cdot 10^6; 2 \cdot 10^6; 3 \cdot 10^6; 4 \cdot 10^6 \text{ рад/с};$$

Розв'язок.

1. Резонансна кутова частота або власна частота коливального контуру дорівнює:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

де - виражається в Гн, ємність C - у Ф.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{5 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-12}}} = 2 \cdot 10^6 \text{ рад/с.}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{2 \cdot 10^6}{6,28} = 3,1 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

2. Хвилястий опір контуру

$$z = p = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-12}}} = 10\,000 \text{ Ом}$$

3. Реактивні опори котушки і конденсатора

$$x_{LO} = \omega_0 = 2 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 10\,000 \text{ Ом}$$

$$X_{LO} = \frac{1}{\omega_{0c}} = \frac{10}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 10\,000 \text{ Ом}$$

Отже, у момент резонансу дотримується рівність $X_{LO} = X_{CO} = \rho = 10\,000 \text{ Ом}$

4. Повний опір кола

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_{LO} - X_{CO})^2} = R = 100 \text{ Ом}$$

5. Струм у колі

$$I_0 = \frac{U}{Z} = \frac{50}{100} = 0,5 \text{ А}$$

6. Напруга на котушці і конденсаторі, що прийнято називати напругою на елементі контуру

$$U_{LO} = U_{CO} = I \cdot X_{LO} = I \cdot X_{CO} = 0,5 \cdot 10\,000 = 5\,000 \text{ В.}$$

7. Добротність контуру

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{10\,000}{100} = 100$$

8. Активна потужність, що поставляється в коло від джерела живлення для покриття теплових втрат

$$P = I_0^2 R = (0,5)^2 \cdot 100 = 25 \text{ Вт.}$$

9. Реактивні потужності котушки і конденсатора

$$Q_{LO} = Q_{CO} = I_0^2 \cdot X_{LO} = (0,5)^2 \cdot 10\,000 = 2\,500 \text{ вар.}$$

10. Повна потужність кола дорівнює активної, тобто

$$S = I_0^2 Z = 0,25 * 100 = 25 \text{ ВА}$$

11. При збільшенні частоти на 10% коло не буде в режимі резонансу, реактивний опір кола різко зростає і струм зменшиться. Індуктивний опір котушки зростає

$$X_L = 2,2^6 * 10^{-3} * 5 * 10 = 1100 \text{ Ом}$$

а ємнісний опір конденсатора зменшиться

$$X_C = \frac{10^{12}}{2,2 * 10^6 * 50} = 9000 \text{ Ом}$$

Реактивний опір кола

$$X = X_L - X_C = 1100 - 9000 = 2000 \text{ Ом}$$

Повний опір кола

$$Z = \sqrt{100^2 + 2000^2} \approx 2000 \text{ Ом}$$

І струм різко зменшиться

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{50}{2000} = 0,025 \text{ А}$$

12. Обчислення повного опору і струму на різних частотах. Опір R враховано тільки в момент резонансу.

$\omega, \text{рад/с}$	0	$1 * 10^6$	$2 * 10^6$	$3 * 10^6$	$4 * 10^6$

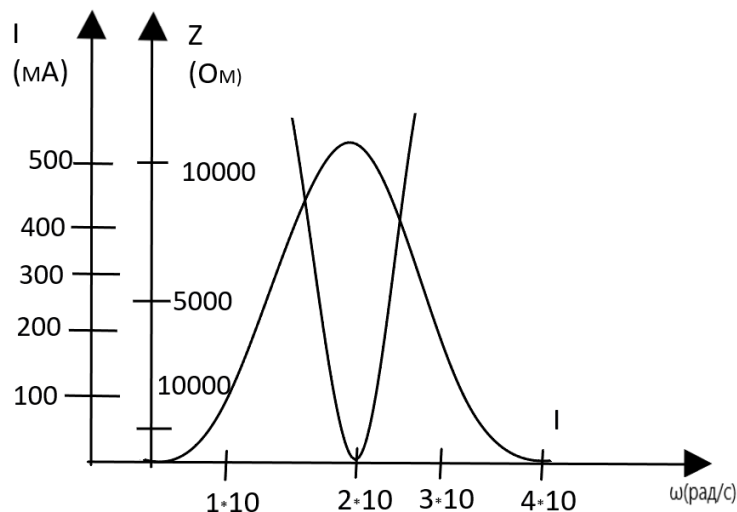
$X_L, \text{ Ом}$	0	5000	10000	15000	200000
$X_C, \text{ Ом}$	∞	200000	10000	6600	5000
$Z, \text{ Ом}$	∞	15000	100	8400	15000
$I, \text{ mA}$	0	3,3	500	6	3,3

На не резонансних частотах повний опір кола

$$Z = X_L - X_C$$

Графіки $Z = \varphi(\omega)$ і $I = \varphi(\omega)$ зображені на мал. 37 у масштабі

$$M_Z = 1000 \text{ Ом/с} \quad M_I = 50 \text{ A/см} \quad M\omega = 0,5 \cdot 10^6 \text{ рад/см}$$



На кінець відзначимо, що резонанс напруг знаходить широке застосування в сучасній електротехніці, в особливо в радіо і провідному зв'язку.

Наприклад, у генераторах високої частоти, в антенних передавальних контурах і приймальних радіостанцій, у багатоканальній телефонії та інше.

Проте, резонанс напруг може призвести і до небажаних наслідків, особливо в колах великої потужності при наявності значної ємності і індуктивності і малому активному опорі (вмикання до трансформатора довгої лінії передачі або кабелю, не замкнутих на зворотному на

приймачі). У цьому випадку на індуктивному і ємнісному ділянках можуть з'явитися дуже висока напруга.

Задачі 19-24 присвячені розрахунку рівнобіжного коливального контуру, складеного з котушки й конденсатора. Умовою резонансу струмів є рівність реактивних провідностей контуру, тобто $B_L = B_C$, а загальна вхідна реактивна провідність дорівнює нулю, тобто $B = B_L - B_C = 0$.

Резонансу струмів можна домогтися або зміною частоти ω , або індуктивності, або ємності. Характерною особливістю контурів високої добротності є різке зменшення загального струму в момент резонансу в порівнянні з струмами у вітках. Вхідний опір такого контуру на частоті ω_0 різко зростає і з великою точністю можна вважати його чисто активним і дорівнює

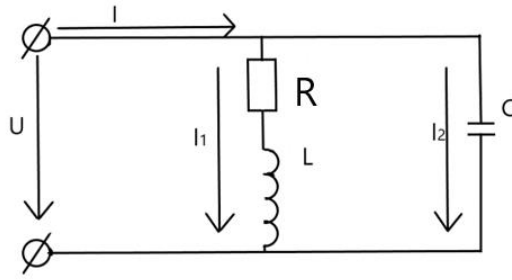
$$Z_{\text{рез}} = \frac{L}{R \cdot C}$$

Енергетична сторона процесу тут така ж, як і у резонансі напруг. Між котушкою і конденсатором відбувається повний обмін енергіями. Джерело забезпечує енергію, що витрачається в активному опорі. Резонансні властивості можна визначити добротністю контуру:

$$Q = \frac{I_{L0}}{I} = \frac{I_{C0}}{I}.$$

Приклад 13.

У колі (мал. 38) заданий опір $R = 100 \text{ Ом}$ і індуктивність котушки $L = 400 \text{ мкГн}$, частота джерела живлення $\omega = \omega_{\text{про}} = 5 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$, напруга $U = 100 \text{ В}$.



Мал. 38

Визначити ємність конденсатора C . У момент резонансу обчислити: загальний струм I_0 , струми I_L і I_C , повний опір контуру Z , добротність, потужність P , Q_L , Q_C . Обчислити струми в колі на різноманітних частотах $\omega = 0; 2,5 \cdot 10^6; 5 \cdot 10^6; 7,5 \cdot 10^6; 10 \cdot 10^6$ рад/с, результати розрахунку занести в таблицю і побудувати на одному малюнку графіки залежності струмів від частоти.

Розв'язок.

1) Ємність конденсатора

$$Z_{\text{рез}} = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{10^{-12}}{(5 \cdot 10^6)^2 - 400 - 10^6} = 100 \text{ пФ}$$

2) Повний опір рівнобіжного контуру в момент резонансу

$$Z_{\text{рез}} = \frac{L}{R} = \frac{400 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = 40.000 \text{ Ом} = 40 \text{ кОм}$$

3) Реактивні опори в момент резонансу

$$X_{L0} = \omega_0 L = 5 \cdot 10^6 \cdot 400 \cdot 10^{-6} = 2000 \text{ Ом} = 2 \text{ кОм}$$

$$X_{C0} = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{1}{5 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = 2000 \text{ Ом} = 2 \text{ кОм}$$

4) струми в момент резонансу:

$$\text{загальний } I_0 = \frac{U}{Z_{\text{рез}}} = \frac{100 \cdot 10^3}{40000} = 2,5 \text{ А},$$

струм котушки

$$I_{L0} = \frac{U}{X_{L0}} = \frac{100 \cdot 10^3}{2000} = 50 \text{ А},$$

струм конденсатора

$$I_{C0} = \frac{U}{X_{C0}} = I_{L0} = 50 \text{ А}.$$

5) Добротність коливального контуру

$$Q = \frac{I_{L0}}{I_0} = \frac{I_{C0}}{I_0} = \frac{50}{2,5} = 20.$$

6) Потужність теплових втрат у контурі

$$P = I^2 R \text{ або}$$

$$P = UI_0 = 100 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 250 \text{ мВт}$$

7) Реактивні потужності котушки і конденсатора

$$Q_{L0} = Q_{C0} = I^2_{L0} X_{L0} \text{ або}$$

$$Q_{L0} = UI_{L0} = 100 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ вар} = 5000 \text{ мВар}$$

$\omega, \text{рад/с}$	0	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$
X, Ом	0	1000	2000	3000	4000
X, Ом	∞	4000	2000	1333	1000
I_L, A	∞	100	50	33,3	25
I_C, A	0	25	50	75	100
I, A	∞	75	2,5	41,7	75

8) Обчислення струмів у колі на різноманітних частотах.

Примітка. Опір врахований тільки в момент резонансу.

Загальний струм на резонансних частотах визначається шляхом алгебраїчного додавання реактивного струму: $I = [I_L - I_C]$, тому що на цих частотах $Z_{КАТ} \approx X_L$. Графіки струму побудовані на мал. 39 у масштабі: $M_\omega = 1,25 \cdot 10^6 \text{ рад/с} \cdot \text{см}$; $M_I = 10 \text{ мА/см}$

Резонанс струму також, як і резонанс напруг, знаходить широке застосування на практику, причому як у техніку зв'язку, так і в електроенергетиці. Наприклад, для компенсації зсуву фаз і, отже, підвищення коефіцієнта потужності кола.

У задачах 25-30 розглядається це питання.

У електроенергетичних системах генератор живлення розраховується на певні напруги і струм, тобто на певну повну потужність S . Задача полягає в тому, щоб цю потужність використовувати найкращим способом, тобто необхідно прагнути до того, щоб корисно витрачає потужність у колі (активна потужність P) була близька до повної потужності. У цих умовах властивості кола зручно оцінювати коефіцієнтом потужності: $\cos \varphi = P/S$, що повинний бути близьким до одиниці. Більшість споживачів електричної енергії має індуктивний

характер (наприклад, асинхронні двигуни). Для того, щоб зменшити споживаний ними від генератора струм за рахунок реактивної складової і тим самим знизити втрати енергії в генераторі й у проводах, паралельно приймачу підключають батарею конденсаторів. Реактивний струм приймача I_L , по суті тут використовується резонанс струмів.

Але потрібно пам'ятати, що на відміну від радіотехнічних контурів, де опір R дуже мало, і в момент резонансу загальний струм різко зменшується, у колах великої потужності різкого зменшення загального струму немає, активна провідність достатньо велика в порівнянні з індуктивною і загальний струм, хоча і зменшується, але не так різко.

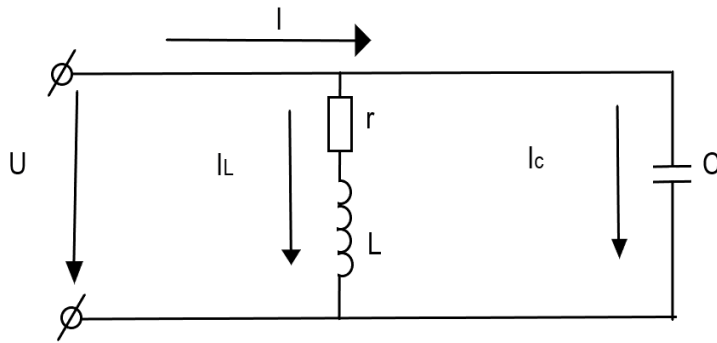
Розглянемо приклад розрахунку ємності батареї конденсаторів для підвищення коефіцієнта потужності.

На мал. 40 подана електрична схема заміщення двигуна змінного струму у вигляді послідовного з'єднання R і x , де активна потужність P_1 , що витрачається в опорі R , дорівнює сумі корисної потужності двигуна і усіх втрат у неї, а реактивна потужність Q_1 , індуктивного опору x , дорівнює реактивної потужності двигуна зв'язаної з його магнітним полем.

Приклад 14.

На схемі мал. 40 опори рівні $R=1,02$ Ом, $x=1,02$ Ом, напруга мережі $U=500$ В, частота $f=50$ Гц. Обчислити активну потужність двигуна P_1 , його

коефіцієнт потужності $\cos\varphi_1$.



Мал. 40

Визначити, якої ємності конденсатор потрібно включити паралельно двигуну, щоб $\cos\varphi$ установки збільшився до 0,85.

Розв'язок.

1) Повний опір кола двигуна

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{1,02^2 + 1,02^2} = 1,45 \text{ Ом}$$

2) Коефіцієнт потужності двигуна

$$\cos\varphi_1 = \frac{R}{z_1} = \frac{1,02}{1,45} = 0,7; \quad \varphi = 45^\circ$$

Струм двигуна відстає по фазі від прикладеної напруги на кут 45° .

3) Струм двигуна

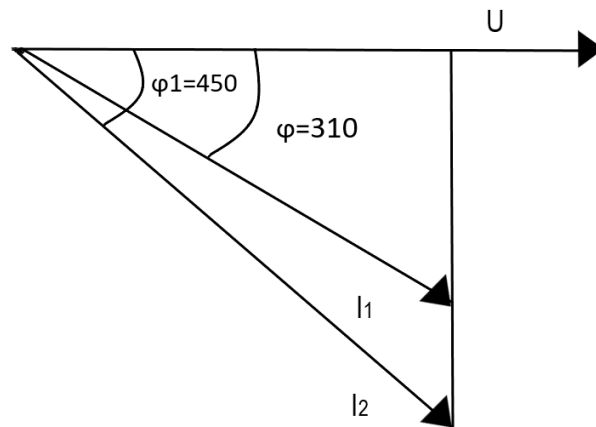
$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{500}{1,45} = 343 \text{ А}$$

4) Активна потужність двигуна

$$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 = 500 \cdot 343 \cdot 0,7 = 120000 \text{ Вт} = 120 \text{ кВт}.$$

5) Для визначення ємності батареї конденсаторів необхідно знати струм I_2 . Його можна обчислити аналітично або графічно, тобто шляхом побудови векторної діаграми струму в масштабі. Розрахунок струму конденсаторів графічно масштаб $M_I = 50 \text{ A/cm}$).

Тому що коло паралельне, то вихідним вектором є вектор напруги, що відкладається горизонтально (мал. 41).



Мал. 41

Довжина вектора струму двигуна

$$L_1 = \frac{I_1}{M_1} = \frac{343}{50} = 6,86 \text{ см.}$$

Після підключення конденсатора загальний струм повинен відставати від напруги на кут $\varphi = 31^\circ$ ($\arccos 0,85 = 31^\circ$). З векторної діаграми струм батареї конденсаторів дорівнює

$$I_2 = I_2 M_1 = 1,95 * 50 = 97 \text{ A.}$$

Опір конденсатора за законом Ома

$$X_C = \frac{U}{I_2} = \frac{500}{97} = 5,15 \text{ Ом}$$

Ємність батареї конденсаторів

$$C = \frac{1}{2\pi f x_c} = \frac{106}{314 * 5,15} = 616 \text{ мкФ}$$

Струм I_2 і ємність C можна визначити аналітично по формулах:

$$I_2 = \frac{p_1}{u} (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi) = \frac{120 * 10^3}{500} (\operatorname{tg} 45^\circ - \operatorname{tg} 31^\circ) = \frac{120 * 10^3}{500} (1 - 0,60) = 96 \text{ А.}$$

З векторної діаграми $I_2 = 97 \text{ А}$, тобто розбіжність не значна.