Лабораторна робота №4.27.11

Вивчення вимушених електричних коливань у коливальному контурі

Мета роботи: - дослідження залежності сили струму в коливальному контурі від частоти змінної напруги, прикладеної до контура;
- вимірювання резонансної частоти контура;
- дослідження резонансних кривих та визначення добротності коливального контура за різних значень електроємності та активного опору.

Теоретичний вступ

Якщо в коливальному контурі збудити електричні коливання, то вони з часом згасатимуть через втрати енергії на нагрівання провідників (т.зв. «джоулеве» тепло).

Щоб зробити коливання незатухаючими, необхідно ззовні періодично підводити в контур енергію від будь-якого джерела енергії, наприклад, розірвавши контур, подати на контакти, що утворилися, змінну напругу, яка змінюється за гармонічним законом (див. рис. 1):

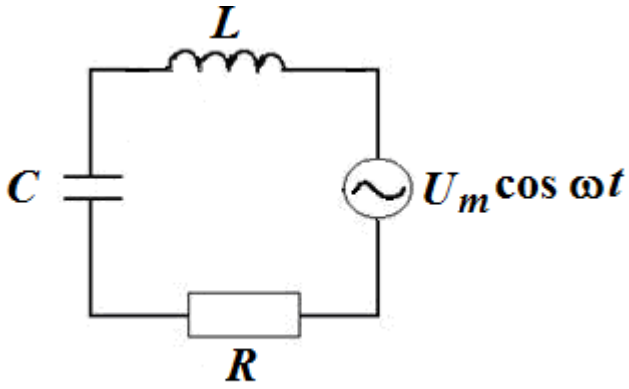

Рис. 1.

$$U = U_m \cos \omega t\,, \qquad (1)$$

де U_m – амплітуда напруги, ω – циклічна (кругова) частота змінної напруги, підведеної до контура.

Як показує теорія і дослід, через деякий час *в контурі встановляться коливання, що не загасають,* з частотою ω напруги, підведеної до контура.

Ці електромагнітні коливання називаються ***вимушеними електромагнітними коливаннями.***

При вимушених коливаннях, що встановилися, сила струму в контурі стає рівною

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi)\,, \qquad (2)$$

где I_m - амплітуда сили струму:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}\,, \qquad (3)$$

φ - відставання фази струму від прикладеної напруги.

Як бачимо, амплітуда сили струму I_m пропорційна амплітуді прикладеної напруги U_m і залежить від частоти ω.

Про власні коливання з частотою ω_0 контур «забуває». Однак, наявність у контура власної частоти ω_0 позначиться на величині амплітуди I_m коливань, що встановилися.

Залежність амплітуди вимушених коливань від частоти змушуючої напруги призводить до того, що за деякої частоти амплітуда сили струму досягає максимального значення. Це ***різке збільшення амплітуди вимушених коливань сили струму в контурі при наближенні частоти зовнішнього періодичного впливу до власної частоти*** називається ***резонансом***, а відповідна частота - ***резонансною частотою.***

Максимум амплітуди сили струму (3) досягається при мінімумі підкореного виразу. Продиференціювавши підкорений вираз за ω, прирівнявши нулю і вирішивши отримане рівняння відносно ω, отримаємо для резонансної циклічної частоти

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 . \qquad (4)$$

Таким чином, резонансна частота $\omega_{рез}$ для сили струму збігається з власною частотою ω_0 контура.

Напруга U_R на активному опорі R у цьому випадку дорівнює зовнішній напрузі, прикладеній до кола ($U_R = U$). При цьому сила струму та зовнішня напруга збігаються за фазою.

Крива залежності амплітуди сили струму I_m у контурі від частоти зовнішньої напруги називається ***резонансною кривою*** коливального контура.

Резонансні криві для сили струму показані на рис. 2.

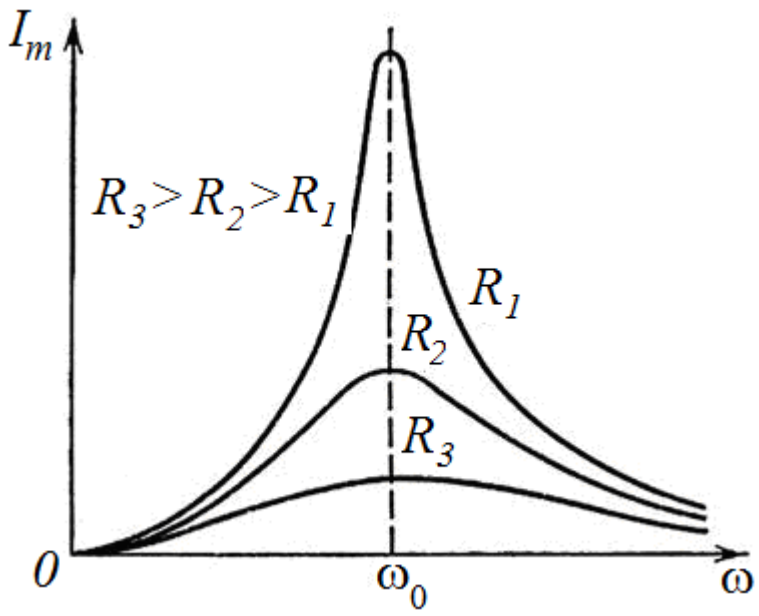

Рис. 2.

Добротність контура Q показує, у скільки разів напруга на конденсаторі (або котушці) більша за напругу, прикладеній до кола.

Ця властивість широко використовується у радіотехніці. Нехай напруга, прикладена до контура, містить коливання різних частот ω_1 ,ω_2 , ω_3 и т.д.

Настроївши контур на одну з частот (4) (тобто підібравши відповідні параметри C і L), можна отримати на конденсаторі напругу, що в Q разів перевищує значення даної складової. У той час, як напруга, яка створюється на конденсаторі іншими складовими, буде слабкою. Такий процес здійснюється при настройці радіоприймача на потрібну довжину хвилі. Тому явище резонансу використовується в техніці для посилення коливання напруги якоїсь певної частоти, або виділення з багатьох сигналів одного коливання певної частоти.

Добротність контура визначає гостроту резонансних кривих. На рис. 3 показано одну з резонансних кривих для сили струму в контурі.

Під ***шириною резонансної кривої*** розуміють різницю частот

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 , \qquad (5)$$

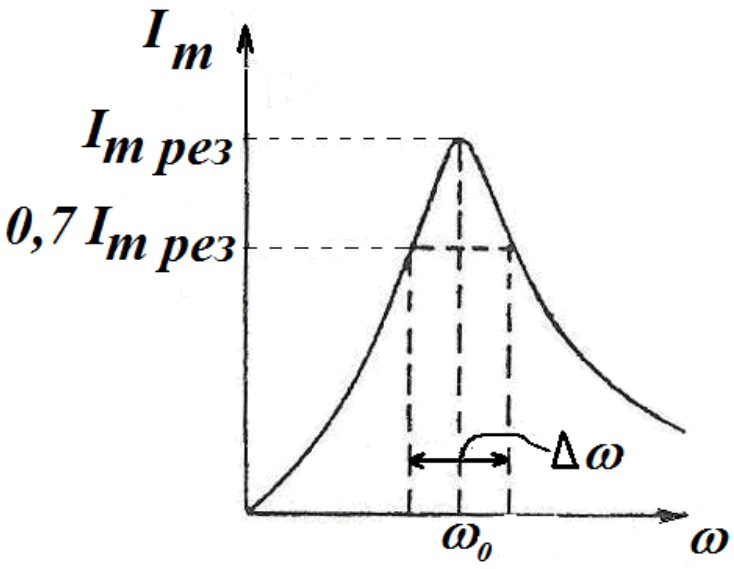

Рис.3.

для яких енергія коливань у два рази менша за енергію для частоти, за якої амплітуда досягає максимуму. Для цього ширина кривої береться на висоті 0,7 від резонансного значення сили струму.

Окремо показується (див., наприклад, підручники [1,2]), що для малих загасань ($\beta^2 << \omega_0^2$) ширина резонансної кривої пов'язана з добротністю коливального контуру Q співвідношенням

$$\omega_0/\Delta\omega = Q \qquad (6)$$

а також

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} . \qquad (7)$$

Прилади

У лабораторії на стенді 4.11 вже зібрано електричну схему, показану на рис. 4. Тут: PQ - звуковий генератор; PO – електронний осцилограф; ФПЕ-11 – модуль; МО – магазин опорів; МЄ – магазин ємностей.

Принципова електрична схема досліду наведена на рис. 5.

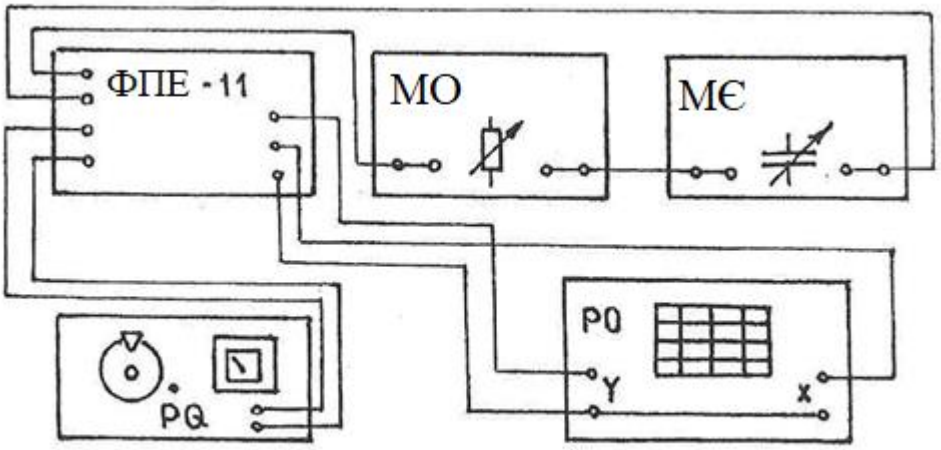

Рис.4.

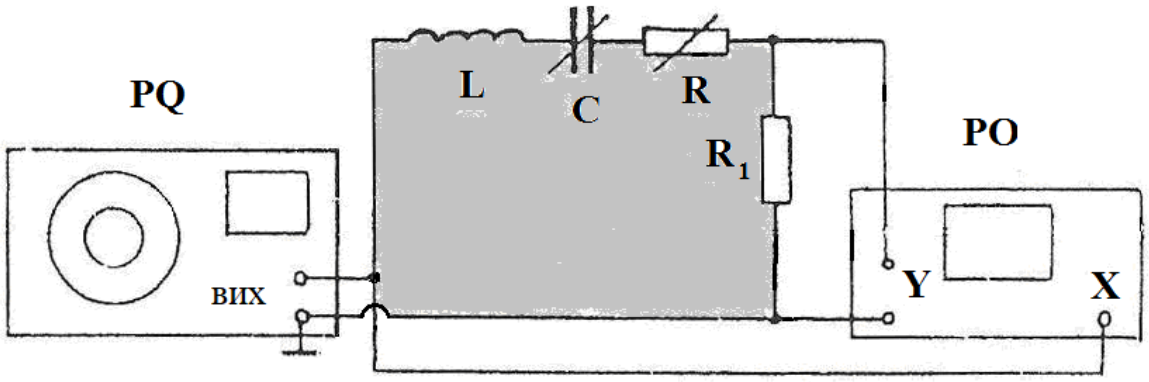

Рис. 5.

Коливальний контур (виділений на рис. 5 сірим кольором) складається з котушки L, магазину ємностей С , змінного опору R і опору R_1. Напруга на опорі R_1, яка пропорційнаа струму I в контурі, подається на вхід Y електронного осцилографа , а на вхід X – напруга зі звукового генератора.

Порядок виконання роботи

1. Підготуйте прилади для роботи. Для цього встановіть перемикачами магазинів опорів і ємностей $R = 0$ і $C = 3 \cdot 10^{-2}$ мкФ .

2. Увімкніть розгортку електронного осцилографа із запуском від підсилювача Y, та частоту розгортки, зручну для спостереження сигналів напругою 1 В та частотою 2 – 10 кГц.

3. Встановіть наступні параметри вихідної напруги звукового генератора: напруга до 3 В, частота 2 кГц.

4. Увімкніть прилади: генератор, вольтметр та осцилограф.

5. Напругу звукового генератора встановіть рівною 1 В. Це значення при всіх вимірах підтримуйте незмінним. Отримайте на екрані осцилографа стійке зображення синусоїди. Виміряйте амплітуду U_m синусоїдальної напруги в поділах сітки осцилографа і переведіть її у вольти.

Нагадаємо, що амплітуда дорівнює абсолютному значенню найбільшого відхилення (рис.6).

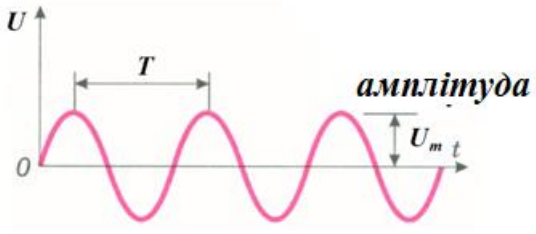

Рис. 6.

Для переведення амплітуди у вольти необхідно висоту сигналу в сантиметрах помножити на коефіцієнт підсилення ($\frac{V}{\text{см}}$), вказаний на панелі осцилографа та на множник (0,5, 1, 2) на панелі блоку Y на осцилографі.

Результат виміру запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

ν, Гц										
U_m, В										
I_m, мА										

Плавно змінюючи частоту звукового генератора, спостерігайте на осцилографі залежність напруги U_m від частоти змушуючих коливань і ***приблизно***

визначте значення резонансної частоти $\nu_{рез}$. Поблизу резонансу частоту змінюйте повільно, щоб не пройти максимального значення.

7. Використовуючи встановлену ємність $C = 3 \cdot 10^{-2}$ мкФ і приблизне значення індуктивності L = 400 мГн, ***розрахуйте резонансну лінійну частоту*** контура за формулою

$$\nu_{рез} = \frac{\omega_{рез}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Порівняйте розраховане значення зі знайденим на досліді у п.6.

8. Проведіть вимірювання амплітуди U_m за інших частот у діапазоні 2 – 16 кГц. Частоту змінювати з інтервалом 0,5 – 1 кГц поблизу резонансу (у межах ν = ± 1 кГц) з інтервалом 0,2 кГц. Результати вимірів занесіть у табл. 1.

9. Розрахуйте амплітуду I_m сили струму в коливальному контурі за формулою $I_m = \frac{U_m}{R_1}$, де R_1 = 75 Ом. Розрахунок проведіть для кожного значення частоти, результати обчислень запишіть в табл. 1 у міліамперах.

10. Встановіть опір магазину R = 100 Ом і знову проведіть вимірювання (п. 8). Результати вимірювань запишіть до таблиці 2.

Таблиця 2
R = 500 Ом)

ν, Гц										
U_m, В										
I_m, мА										

11. Встановіть опір магазину R = 300 Ом та здійсніть вимірювання (п. 8). Результати вимірів запишіть у таблицю 3.

Т а б л и ц а 3
(R = 3 000 Ом)

ν, Гц										
U_m, В										
I_m, мА										

12. За даними таблиць 1, 2 і 3 побудуйте на одному рисунку три графіки залежностей I_m (ν).

13. За графіком для R = 0 знайдіть резонансну частоту ν_0 і ширину Δν резонансної кривої на висоті 0,7 $I_{m\ рез}$. Розрахуйте добротність коливального контурf за формулою

$$Q = \omega_0/\Delta\omega = \nu_0/\Delta\nu.$$

Контрольні питання

1. Розгляньте коливальний контур, що містить джерело змінної напруги. Якою буде частота коливань, що встановилися?
2. Що таке резонансна частота коливального контуру? Чим визначається резонансна частота сили струму в коливальному контурі?
3. Яку залежність від частоти прикладеної напруги відображає резонансна крива для сили струму: сили струму від частоти або амплітуди сили струму від частоти?
4. До якого значення прагнутиме амплітуда сили струму, якщо частоту спрямувати до нуля? А якщо до нескінченості?
5. Яку роль відіграє явище електричного резонансу при настройці радіоприймача на потрібну радіостанцію?
6. Яким чином за резонансною кривою можна визначити добротність коливальної системи? Запишіть розрахункову формулу.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 389 – 392.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум.:Навч. Посібник / В. М. Барановський, П. В. Бережний, І. Т. Горбачук та ін.:За аг.ред. І.Т.Горбачука.- К.: Вища шк. 1992 – 509 с.

Склали Гаркуша І.П., Зайцев А.С.