

Лабораторная работа № 4.27.11

Изучение вынужденных электрических колебаний в колебательном контуре

Цель работы: – исследование зависимости силы тока в колебательном контуре от частоты переменного напряжения, приложенного к контуру;
- измерение резонансной частоты контура;
- исследование резонансных кривых и определение добротности колебательного контура при различных значениях емкости и активного сопротивления.

Теоретическое введение

Если в колебательном контуре возбудить электрические колебания, то они будут со временем затухать из-за потерь энергии на нагревание проводников (т.н. «джоулево» тепло).

Чтобы сделать колебания незатухающими, необходимо извне периодически подводить в контур энергию от какого-либо источника энергии, например, разорвав контур, подать на образовавшиеся контакты переменное напряжение, изменяющееся по гармоническому закону (см. рис. 1):

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

где U_m – амплитуда напряжения, ω – циклическая (круговая) частота переменного напряжения, подведенного к контуру.

Как показывает теория и опыт, через некоторое время в контуре **установятся** незатухающие колебания с частотой ω напряжения, подведенного к контуру.

Эти электромагнитные колебания называются **вынужденными электромагнитными колебаниями**.

При установившихся вынужденных колебаниях сила тока в контуре становится равной

$$I = I_m \cos(\omega t - \phi), \quad (2)$$

где I_m – амплитуда силы тока:

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

ϕ – отставание по фазе тока от приложенного напряжения.

Как видим, амплитуда силы тока I_m пропорциональна амплитуде приложенного напряжения U_m и зависит от частоты ω .

О собственных колебаниях с частотой ω_0 контур «забывает». Однако, наличие у контура собственной частоты ω_0 скажется на величине амплитуды I_m установившихся колебаний.

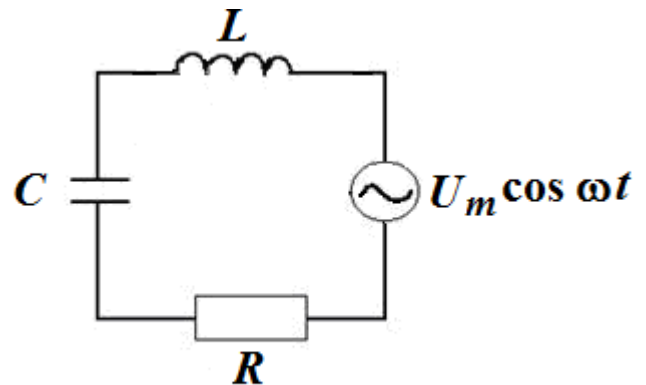


Рис. 1.

Зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающего напряжения приводит к тому, что при некоторой частоте амплитуда силы тока достигает максимального значения. Это явление резкого возрастания амплитуды силы тока в контуре при приближении частоты вынужденных колебаний к резонансной называется **резонансом**, а соответствующая частота - **резонансной частотой**.

Максимум амплитуды силы тока (3) достигается при минимуме подкоренного выражения. Продифференцировав подкоренное выражение по ω , приравняв нулю и решив получившееся уравнение относительно ω , получим для **резонансной циклической частоты**

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

Таким образом, резонансная частота $\omega_{рез}$ для силы тока совпадает с собственной частотой ω_0 контура.

Напряжение U_R на активном сопротивлении R в этом случае равно внешнему напряжению, приложенному к цепи ($U_R = U$). При этом сила тока и внешнее напряжение совпадают по фазе.

Кривая зависимости амплитуды силы тока I_m в контуре от частоты внешнего напряжения называется **резонансной кривой** колебательно-го контура.

Резонансные кривые для силы тока показаны на рис. 2.

Добротность контура Q показывает, во сколько раз напряжение на конденсаторе (или катушке) больше напряжения, приложенного к цепи.

Это свойство широко используется в радиотехнике. Пусть напряжение, приложенное к контуру, содержит колебания разных частот $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ и т.д.

Настроив контур на одну из частот (4) (т.е. подобрав соответствующие параметры C и L), можно получить на конденсаторе напряжение, в Q раз превышающее значение данной составляющей. В то время, как напряжение, создаваемое на конденсаторе другими составляющими, будет слабым. Такой процесс осуществляется при настройке радиоприемника на нужную длину волны. Поэтому явление резонанса используется в технике для усиления колебания напряжения какой-либо определенной частоты, или выделения из многих сигналов одного колебания определенной частоты.

Добротность контура определяет остроту резонансных кривых. На рис. 3 показана одна из резонансных кривых для силы тока в контуре.

Под **шириной резонансной кривой** понимают разность частот

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

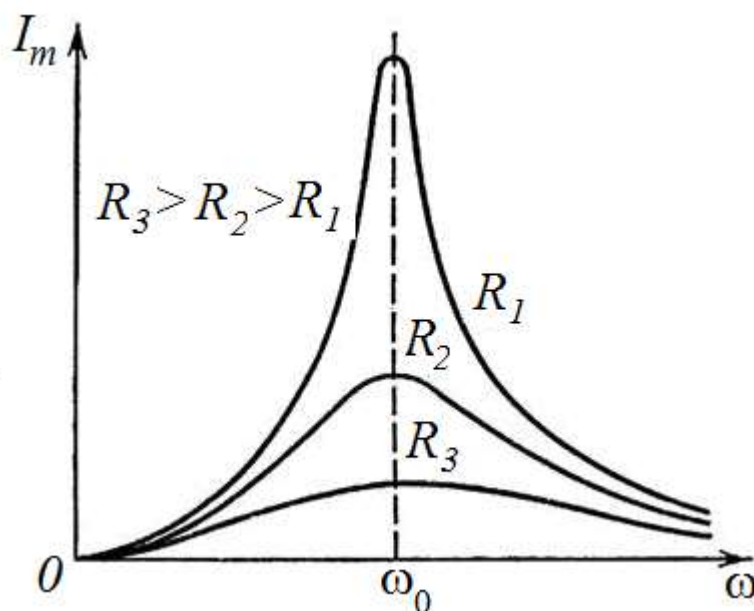


Рис. 2.

для которых энергия колебаний в два раза меньше энергии для частоты, при которой амплитуда достигает максимума. Для этого ширина кривой берется на высоте 0,7 от резонансного значения силы тока.

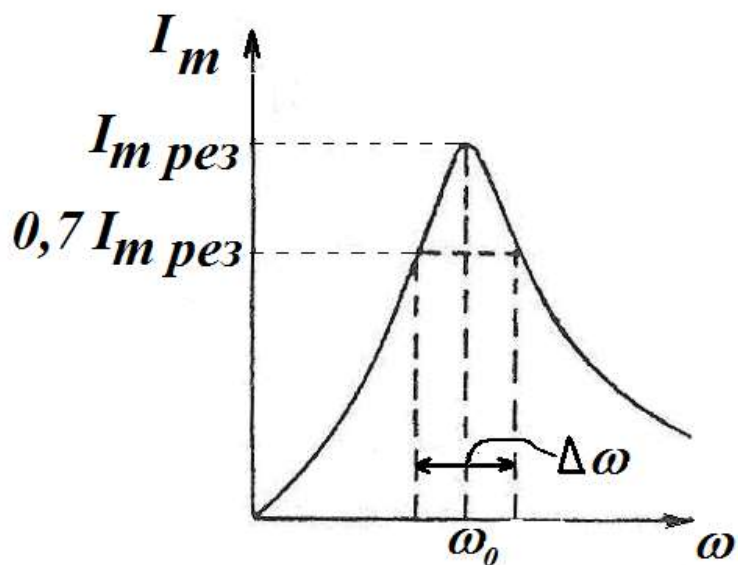


Рис.3.

Отдельно показывается (см., например, учебники [1,2]), что для малых затуханий ($\beta^2 \ll \omega_0^2$) ширина резонансной кривой связана с добротностью колебательного контура Q соотношением

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

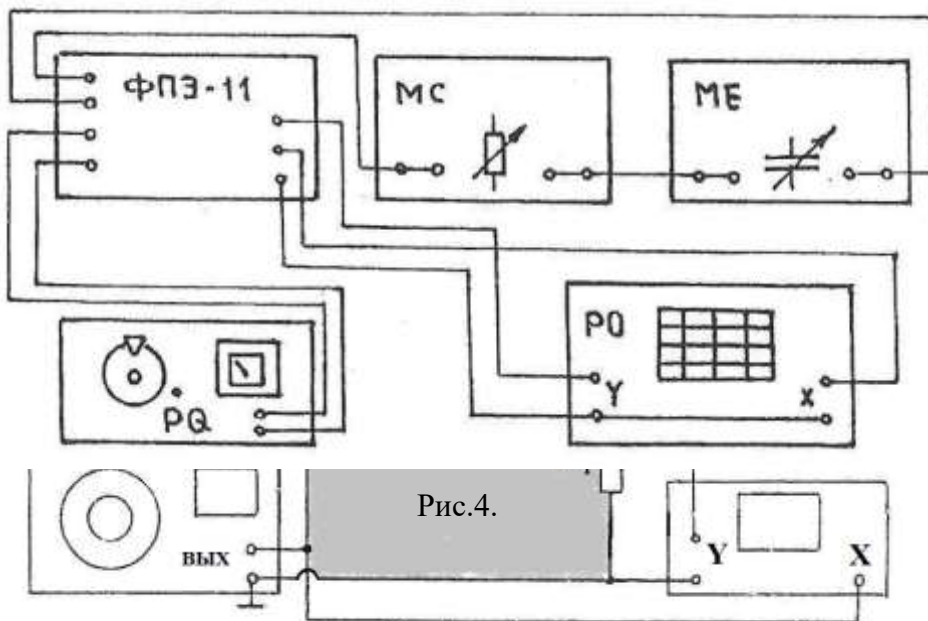
а также

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

Приборы

В лаборатории на стенде 4.11 уже собрана электрическая схема, показанная на рис. 4. Здесь: PQ – звуковой генератор; РО – электронный осциллограф; ФПЭ-11 – модуль; МС – магазин сопротивлений; МЕ – магазин емкостей.

Принципиальная электрическая схема опыта приведена на рис. 5.



альная схема ведена на

Рис. 5.

Колебательный контур (выделен на рис. 5) состоит из катушки L , магазина емкостей C , переменного сопротивления R и сопротивления R_1 . Напряжение на сопротивлении R_1 , пропорциональное току I в контуре, подается на вход Y электронного осциллографа, а на вход X – напряжение со звукового генератора.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте приборы к работе. Для этого установите переключателями магазина сопротивлений и емкостей $R = 0$ и $C = 3 \cdot 10^{-2}$ мкФ.

2. Включите развертку электронного осциллографа с запуском от усилителя Y , и частоту развертки, удобную для наблюдения сигналов напряжением 1 В и частотой 2 – 10 кГц.

3. Установите следующие параметры выходного напряжения звукового генератора: напряжение до 3 В, частота 2 кГц.

4. Включите приборы: генератор, вольтметр и осциллограф.

5. Напряжение звукового генератора установите равным 1 В. Это значение при всех измерениях поддерживайте неизменным. Получите на экране осциллографа устойчивое изображение синусоиды. Измерьте амплитуду U_m синусоидального напряжения в делениях сетки осциллографа и переведите ее в вольты.

Напомним, что амплитуда равна абсолютному значению наибольшего отклонения (рис.6).

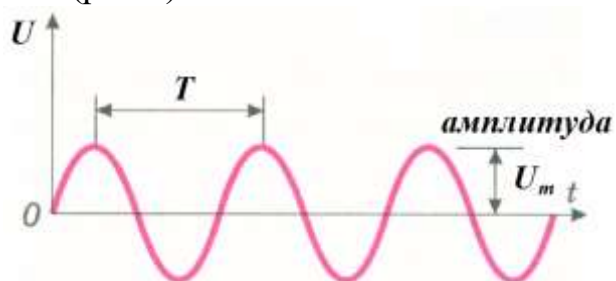


Рис. 6.

Для перевода амплитуды в вольты необходимо высоту сигнала в сантиметрах умножить на коэффициент усиления $(\frac{V}{\text{см}})$, указанный на панели осциллографа и на множитель (0,5, 1, 2) на панели блока Y на осциллографе.

Результат измерения запишите в таблицу 1.

Т а б л и ц а 1
($R = 0$)

| | | | | | | | | | | |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ν , Гц | | | | | | | | | | |
| U_m , В | | | | | | | | | | |
| I_m , мА | | | | | | | | | | |

6. Плавно изменяя частоту звукового генератора, *наблюдайте* на осциллографе зависимость напряжения U_m от частоты вынуждающих колебаний ν и *приблизительно определите значение резонансной частоты* $\nu_{рез}$. Вблизи резонанса частоту изменяйте медленно, чтобы не пройти максимального значения.

7. Используя установленную емкость $C = 3 \cdot 10^{-2}$ мкФ и приблизительное значение индуктивности $L = 400$ мГн, **рассчитайте резонансную линейную частоту** контура по формуле

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

Сравните рассчитанное значение с найденным на опыте в п.6.

8. Проведите измерения амплитуды U_m при других частотах в диапазоне 2 – 16 кГц. Частоту изменять с интервалом 0,5 – 1 кГц, вблизи резонанса (в пределах $\nu = \pm 1$ кГц) с интервалом 0,2 кГц. Результаты измерений занесите в табл. 1.

9. Рассчитайте амплитуду I_m силы тока в колебательном контуре по формуле $I_m = \frac{U_m}{R_1}$, где $R_1 = 75$ Ом. Расчет проведите для каждого значения частоты, результаты вычислений запишите в табл. 1 в миллиамперах.

10. Установите сопротивление магазина $R = 100$ Ом и снова проведите измерения (п. 8). Результаты измерений запишите в таблицу 2.

Т а б л и ц а 2
($R = 500$ Ом)

| | | | | | | | | | | |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ν , Гц | | | | | | | | | | |
| U_m , В | | | | | | | | | | |
| I_m , мА | | | | | | | | | | |

11. Установите сопротивление магазина $R = 300$ Ом и произведите измерения (п. 8). Результаты измерений запишите в таблицу 3.

Т а б л и ц а 3
($R = 3000$ Ом)

| | | | | | | | | | | |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ν , Гц | | | | | | | | | | |
| U_m , В | | | | | | | | | | |
| I_m , мА | | | | | | | | | | |

12. По данным таблиц 1, 2 и 3 постройте **на одном чертеже три графика** зависимостей $I_m(\nu)$.

13. По графику для $R = 0$ найдите резонансную частоту ν_0 и ширину $\Delta\nu$ резонансной кривой на высоте $0,7 I_{m \text{ рез}}$. Рассчитайте добротность колебательного контура по формуле

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

Контрольные вопросы

1. Рассмотрите колебательный контур, который содержит источник переменного напряжения. Какой будет частота установившихся колебаний?

2. Что такое резонансная частота колебательного контура? Чем определяется резонансная частота силы тока в колебательном контуре?

3. Какую зависимость от частоты приложенного напряжения отображает резонансная кривая для силы тока: силы тока от частоты или амплитуды силы тока от частоты?

4. К какому значению будет стремиться амплитуда силы тока, если частоту устремить к нулю? А если к бесконечности?

5. Какую роль играет явление электрического резонанса при настройке радиоприемника на нужную радиостанцию?

6. Каким образом по резонансной кривой можно определить добротность колебательной системы? Запишите расчётную формулу.

Рекомендованная литература

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т, Луцик П.П. Загальний курс фізики. У 3 т. Т.2: Електрика і магнетизм. – К.; «Техніка», 2006, § 12.3.
2. Савельев І.В. Курс фізики. М.: Наука, 1989. Т.2. §71.

Составили Гаркуша І.П., Зайцев А.С.