

Работа 357

Определение импеданса в цепях с конденсаторами и катушками индуктивности

Решаемые задачи

- Определение резонансной частоты в цепях при последовательном и параллельном соединении конденсатора и катушки индуктивности.
 - Определение сопротивления переменному току в зависимости от частоты в цепях при последовательном и параллельном соединении конденсатора и катушки индуктивности.
 - Наблюдение фазового сдвига
-
-

С целью изучения сопротивления переменному току схема построена из катушки (индуктивностью L), конденсатора (емкости C) и резистора R . Этот тип цепи также известен как колебательный контур. Если заряженный конденсатор разряжается в нем через катушку индуктивности, то напряжение на конденсаторе не падает до нуля экспоненциально, а, вместо этого осциллирует. Энергия, таким образом, перераспределяется между электрическими и магнитными полями. Для резонансной частоты применяется уравнение Томсона

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

где L — индуктивность, C — емкость.

Явлением резонанса называется резкое возрастание амплитуды сигнала в контуре, когда

подаваемая частота совпадает с собственной частотой колебаний контура (1).

В ходе эксперимента резонансный контур с емкостью и индуктивностью исследуется при последовательном и параллельном соединении. Для этой цели измеряется падение напряжения на резисторе с помощью осциллографа и, следовательно, зависимость силы тока от подаваемой частоты.

Следующие формулы относятся к сопротивлению переменному току части LC цепочки, когда она подсоединена последовательно

$$Z_s = \left| 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \right| \quad (2)$$

и параллельно:

$$\frac{1}{Z_p} = \left| \frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC \right|. \quad (3)$$

При умножении на резонансную частоту f_R , правая часть уравнения обращается в нуль, т. е. сопротивление исчезает в цепи с последовательным соединением и обращается в бесконечность в цепи с параллельным соединением.

Последовательная схема соединения известна как фильтрующий контур или полосовой фильтр. Только определенная полоса частот входного сигнала в состоянии пройти фильтр. Частоты вне резонансной частоты, соответственно, ослабляются.

Параллельная схема соединения используется как режекторный (полосно-задерживающий, заграждающий) фильтр или полосовой заградительный фильтр. Резонансные частоты блокируются. Все другие частоты могут пройти фильтр.

Для сдвига по фазе φ в контуре с последовательным соединением (см. рис. 1), применяется

следующее уравнение:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R}. \quad (4)$$

При резонансной частоте фазовый сдвиг равен 0° . При очень низких частотах он сменяется на -90° , а при очень высоких частотах на $+90^\circ$.

При параллельном соединении для сдвига фаз φ применимо следующее (см. рис. 2):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{R \left(\frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC \right)}. \quad (5)$$

При очень низких частотах и при очень высоких частотах сдвиг фаз стремится к 0° . При приближении к резонансной частоте он стремится к $+90^\circ$ или -90° . При повышении резонансной частоты фаза испытывает скачок на 180° .

Оборудование

Растровая панель с разъемами DIN A4	1 шт.	57674
Резистор 1 Ом, 2 Вт	1 шт.	57719
Резистор 100 Ом, 2 Вт	1 шт.	57732
Катушка 500 витков	1 шт.	59083
Катушка 1000 витков	1 шт.	59084
Функциональный генератор S 12	1 шт.	522621
Двухканальный осциллограф 400	1 шт.	575212
Экранированный кабель BNC/4 мм штекер	2 шт.	57524
Пара кабелей красный/синий, 100 см	1 шт.	50146

Порядок выполнения работы

Определение резонансной частоты

Последовательное соединение

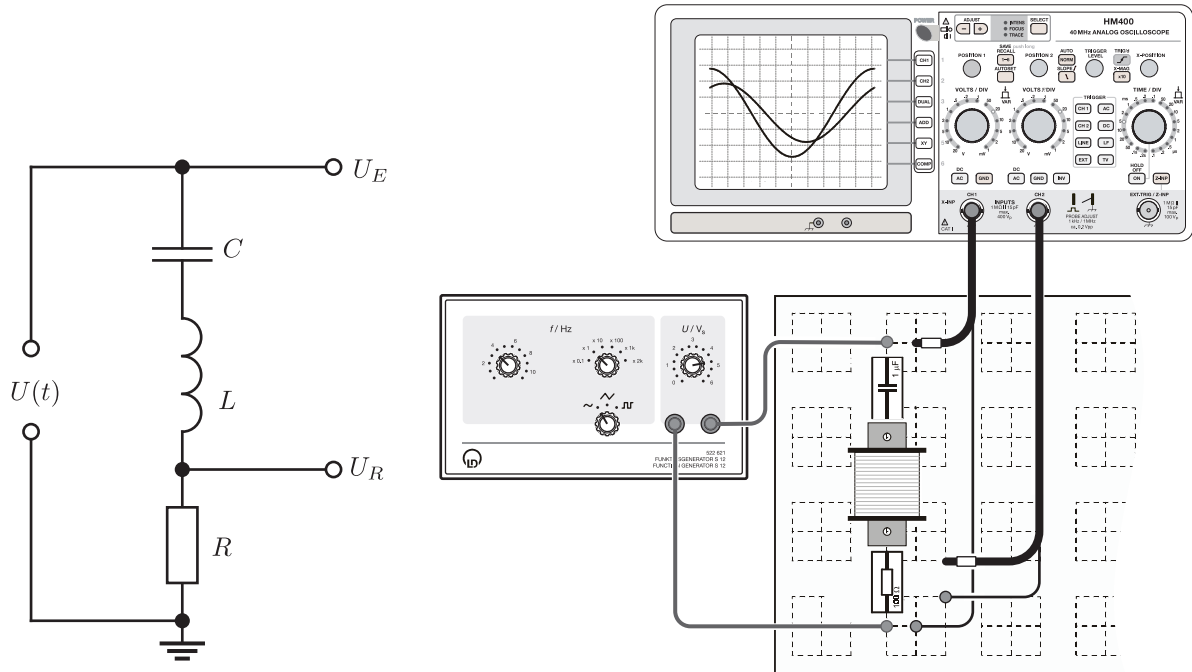


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения последовательного колебательного контура.

Таблица 1. Резонансные частоты при последовательном соединении.

Катушка индуктивности	Конденсатор, емкость C	
		1 мкФ
500 витков		
1000 витков		

- Соберите электрическую цепь согласно рис. 1. Используйте конденсатор $C = 1$ мкФ, катушку с $N = 500$ витков и резистор $R = 100$ Ом. **Внимание!** Важно использовать только указанный резистор, потому что из-за резонанса в катушке и конденсаторе могут возникнуть значительно более высокие напряжения, чем входное напряжение. Это возможно при последовательном соединении конденсатора и катушки индуктивности.
- Подключите генератор сигналов в качестве источника переменного напряжения и включите режим синусоидального сигнала (« \sim »).

- Подключите вход канала «СН.1» осциллографа к выходу генератора сигналов, а резистор сопротивлением 100 Ом (с он используется для измерения силы тока) – к входу канала «СН.2» осциллографа.
- Кнопкой «DUAL» на панели осциллографа включите режим отображения обоих каналов, и задайте для входов обоих каналов осциллографа режим работы по переменному току («АС»).
- Включите генератор сигналов, подключив источник питания, и настройте (его) на частоту 100 Гц ($T = 0,1$ мс) в режиме синусоидальных колебаний.
- Выберите подходящую временную развертку в осциллографе.
- Ручкой генератора « U/V_s » подстройте амплитуду выходного напряжения U_E (измеряя ее с помощью канала «СН.1» осциллографа), так чтобы она равнялась 6 В.
- Во время эксперимента временная развертка осциллографа должна быть согласована с соответствующими настройками частоты, т.е. осуществлена синхронизация.
- Увеличивайте частоту генератора, до наступления резонанса, то есть до тех пор, пока напряжение U_R не достигнет *максимума* (Z при этом минимально).
- Запишите резонансную частоту в табл. 1.
- Повторите измерения, используя другие сочетания конденсаторов и катушек индуктивности в соответствии с таблицей 1.

Параллельное соединение

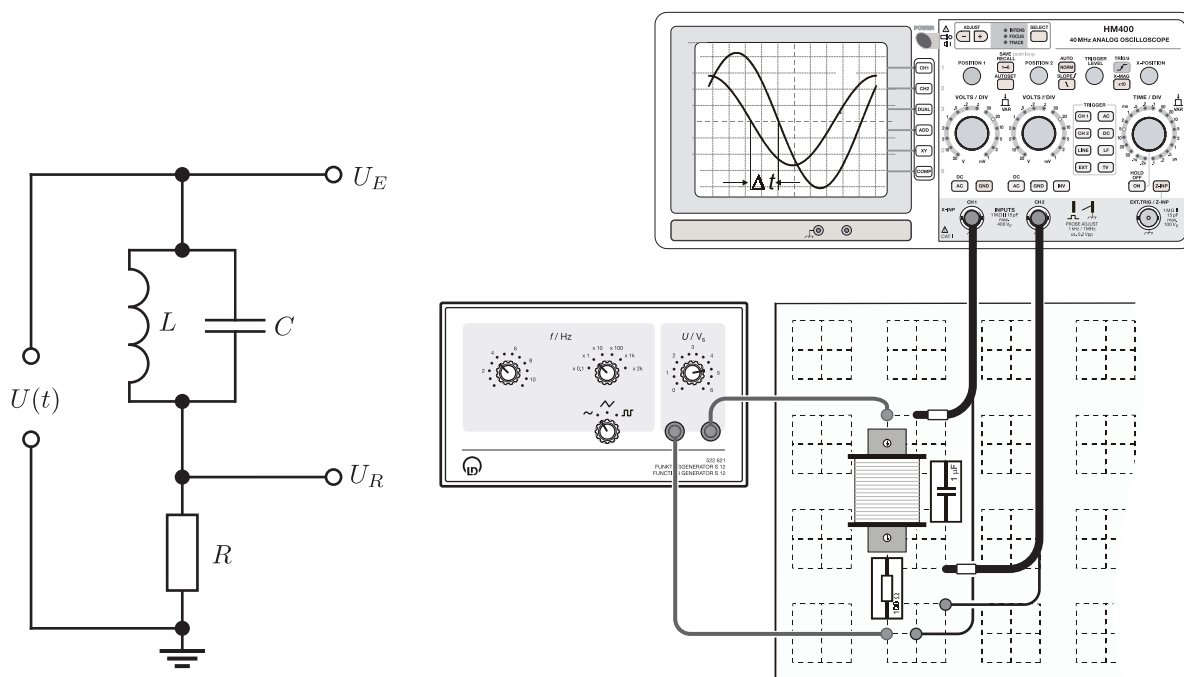


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения параллельного колебательного контура .

Таблица 2. Резонансные частоты при параллельном соединении.

Катушка индуктивности	Конденсатор, емкость C	
	1 мкФ	4,7 мкФ
500 витков		
1000 витков		

- Соберите электрическую цепь согласно рис. 2. Используйте конденсатор емкостью $C = 1$ мкФ, катушку с $N = 500$ витков и резистор $R = 100$ Ом.
- Подключите генератор сигналов в качестве источника переменного напряжения и включите режим синусоидального сигнала (« \sim »).
- Подключите вход канала «СН.1» осциллографа к выходу генератора сигналов, а резистор сопротивлением 100 Ом (с он используется для измерения силы тока) — к входу канала «СН.2» осциллографа.
- Кнопкой «DUAL» на панели осциллографа включите режим отображения обоих каналов, и задайте для входов обоих каналов осциллографа режим работы по переменному току («АС»).
- Включите генератор сигналов, подключив источник питания, и настройте (его) на частоту 100 Гц ($T = 0,1$ мс) в режиме синусоидальных колебаний.
- Выберите подходящую временную развертку в осциллографе.
- Ручкой генератора « U/V_s » подстройте амплитуду выходного напряжения U_E (измеряя ее с помощью канала «СН.1» осциллографа), так чтобы она равнялась 6 В.
- Во время эксперимента временная развертка осциллографа должна быть согласована с соответствующими настройками частоты, т.е. осуществлена синхронизация.
- Увеличивайте частоту генератора, до наступления резонанса, то есть до тех пор, пока напряжение U_R не достигнет *минимума* (Z при этом максимально).
- Запишите резонансную частоту в табл. 2.
- Повторите измерения, используя другие сочетания конденсаторов и катушек индуктивности в соответствии с таблицей 2.

Определение сопротивления переменному току

Последовательное соединение

- Соберите электрическую цепь согласно рис. 1. Используйте конденсатор $C = 1$ мкФ, катушку с $N = 1000$ витков и резистор $R = 100$ Ом.
- Включите генератор сигналов, подключив источник питания, и настройте (его) на частоту 100 Гц ($T = 0,1$ мс) в режиме синусоидальных колебаний.

Таблица 3. Амплитуда напряжения U_R на омическом сопротивлении R .

	Последовательное соединение		Параллельное соединение	
	$R = 100 \text{ Ом}$	$R = 10 \text{ Ом}$	$R = 100 \text{ Ом}$	$R = 10 \text{ Ом}$
$f, \text{ Гц}$	$U_R, \text{ В}$			
50				
200				
500				
1000				
1220				
1500				
5000				
10000				
20000				

- Выберите подходящую временную развертку в осциллографе.
- Ручкой генератора « U/V_s » подстройте амплитуду выходного напряжения U_E (изменяя ее с помощью канала «I» осциллографа), так чтобы она равнялась 6 В.
- Увеличивайте частоту генератора от 50 Гц до 20000 Гц в несколько этапов. Для каждого значения измерьте амплитуду U_R (сигнала на входе «СН.2» осциллографа), Запишите частоту f и U_R в Таблицу 3.

Параллельное соединение

Повторите измерения для параллельного колебательного контура для тех же значений частоты и сопротивления (табл.3).

Наблюдение соотношения фаз

Последовательное соединение

- Соберите электрическую цепь согласно рис. 1. Используйте конденсатор $C = 1 \text{ мкФ}$, катушку с $N = 1000$ витков и резистор $R = 100 \text{ Ом}$.
- Установите резонансную частоту и наблюдайте фазовый сдвиг между напряжением и током в контуре (сигналы каналов «СН.1» и «СН.2» осциллографа).
- Увеличьте немного частоту, а затем уменьшите еще раз. При этом следует наблюдать соотношение фаз.
- Установите низкую частоту (около 100 Гц), а затем высокую частоту и наблюдайте фазовые соотношения. При необходимости увеличьте усиление выходного сигнала.

Параллельное соединение

Повторите измерения для параллельного колебательного контура.

Обработка результатов

Для расчета индуктивности катушки применяется следующая формула:

$$L = \mu_0 N^2 \frac{A}{l},$$

где $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ (Генри/м), N — число витков и $\frac{A}{l} \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$ м для использованной формы катушки. Это приводит к значениям: $L_{500} \approx 4,4$ мГн, $L_{1000} \approx 17,6$ мГн.

Расчет резонансной частоты

Рассчитайте теоретические значения резонансной частоты согласно (1) для значений индуктивности и емкости, использованных в первом задании и сравните с экспериментально измеренными.

Определение сопротивления переменному току

Рассчитайте сопротивление переменному току цепи с последовательным соединением и параллельным соединением (табл.4) с помощью измеренных значений напряжения, а также теоретические значения в соответствии с формулами (2) и (3) и заполните таблицу.

Таблица 4. Сопротивление переменному току.

	Последовательное соединение			Параллельное соединение		
	$R = 100 \text{ Ом}$	$R = 10 \text{ Ом}$	Теор.	$R = 100 \text{ Ом}$	$R = 10 \text{ Ом}$	Теор.
$f, \text{ Гц}$	$Z = \frac{(U_E - U_R) \cdot R}{U_R}, \text{ В}$		Z_s	$Z = \frac{(U_E - U_R) \cdot R}{U_R}, \text{ В}$		Z_p
50						
200						
500						
1000						
1220						
1500						
5000						
10000						
20000						

Постройте графики зависимости сопротивления Z цепи от частоты: (экспериментальные и теоретические — на одном чертеже, используйте логарифмическую шкалу для частоты f)

- Для последовательного соединения индуктивности и емкости
- Для параллельного соединения L и C .

Вопросы для подготовки

1. Переменный ток. Его получение. Квазистационарный ток.
2. Поведение резистора R , индуктивности L и емкости C в цепи переменного тока.
3. Индуктивное и емкостное реактивное сопротивление. Применение метода векторных диаграмм для расчета электрических цепей переменного тока.
4. Мощность, амплитудные и эффективные значения силы тока и напряжения.
5. Закон Ома для переменного тока. Полное сопротивление цепи (импеданс). Угол сдвига фаз между током и напряжением.
6. Электронный осциллограф. Назначение осциллографа и его блок-схема.
7. Осциллографический метод изучения сигнала: частоты следования, периода, амплитуды, длительности и фазы.