

Работа 352

Определение ёмкостного сопротивления конденсатора в цепи переменного тока

Решаемые задачи

- Знакомство с устройством, принципами работы и включением в рабочую схему двухканального осциллографа.
 - Наблюдение сдвига фаз между током и напряжением в цепи переменного тока с конденсатором.
 - Определение емкостного сопротивления $X_C = \frac{1}{2\pi C f}$
-
-

В цепи постоянного тока конденсатор представляет собой бесконечное сопротивление. Ток в такой цепи возникает только при ее включении и выключении.

В цепи переменного тока с конденсатором, однако, электрический ток наблюдается. Разность потенциалов на обкладках конденсатора $U_a - U_b = U$ в какой-либо момент времени определяется существующим зарядом конденсатора q и его ёмкостью C :

$$U = \frac{q}{C}. \quad (1)$$

С другой стороны, сила тока $I = dq/dt$, и, следовательно,

$$q = \int I dt. \quad (2)$$

Если сила тока в цепи имеет синусоидальную форму, т.е.

$$I = I_0 \sin \omega t, \quad (3)$$

то заряд конденсатора равен

$$q = \int I_0 \sin \omega t dt = -\frac{I_0}{\omega} \cos \omega t. \quad (4)$$

Следовательно,

$$U = -\frac{I_0}{\omega C} \cos \omega t = -\frac{I_0}{\omega C} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (5)$$

Из сравнения (3) и (5) видно, что когда сила тока имеет синусоидальную форму, между напряжением и током возникает разность фаз $\varphi = \pi/2$. Напряжение достигает максимального значения, когда ток в цепи равен нулю, а напряжение равно нулю, когда ток максимален, т.е. ток опережает напряжение по фазе на $\varphi = \pi/2$ (рис. 1).

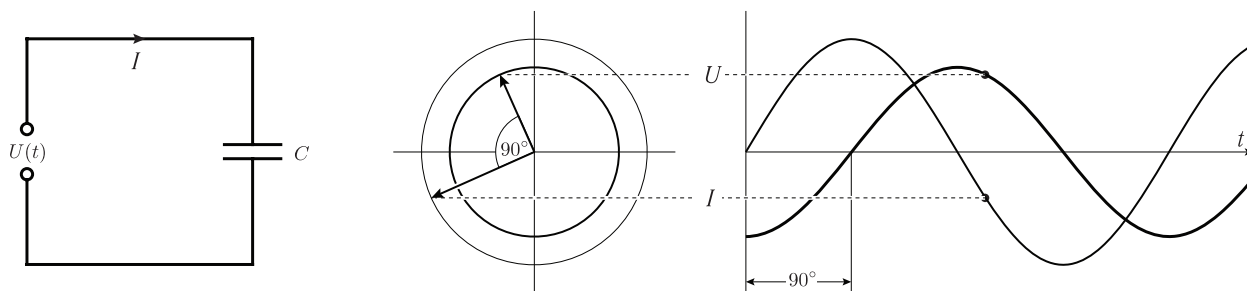


Рис. 1. Конденсатор в цепи переменного тока (электрическая схема, векторная диаграмма, графики зависимости U и I от времени).

Амплитуда напряжения на конденсаторе равна

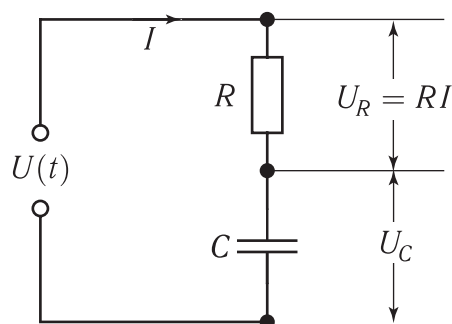
$$U_0 = \frac{I_0}{\omega C}. \quad (6)$$

Сравнивая это выражение с законом Ома для постоянного тока ($U = IR$), можно определить ёмкостное сопротивление (импеданс), конденсатора X_C :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi C f}. \quad (7)$$

При этом в конденсаторе не происходит потеря энергии — при заряде конденсатор накапливает энергию и отдает её во внешнюю цепь при разряде. Поэтому ёмкостное сопротивление называют *реактивным*, в отличие от *активного* омического сопротивления.

В этой работе на цепь, состоящую из конденсатора и резистора, подается переменное напряжение синусоидальной формы, с помощью электронного осциллографа напряжение на конденсаторе U регистрируется напрямую, а силу тока I можно вычислить, зная падение напряжения U_R на резисторе R .



Для определения X_C измеряются амплитудные значения напряжений U и U_C . Тогда амплитудное значение I силы тока можно найти, используя закон Ома:

$$I = \frac{U_R}{R}. \quad (8)$$

Зная амплитудные значения тока и напряжения можно найти значение емкостного сопротивления:

$$X_C = \frac{U_C}{I}. \quad (9)$$

Оборудование

Растровая панель с разъемами DIN A4	1 шт.	57674
Резистор 1 Ом, 2 Вт	1 шт.	57719
Резистор 10 Ом, 2 Вт	1 шт.	57720
Конденсатор 1 мкФ, 100 В	3 шт.	57815
Функциональный генератор S 12	1 шт.	522621
Двухканальный осциллограф 400	1 шт.	572612
Экранированный кабель BNC/4 мм штекер	2 шт.	57524
Пара кабелей красный/синий, 100 см	2 шт.	50146

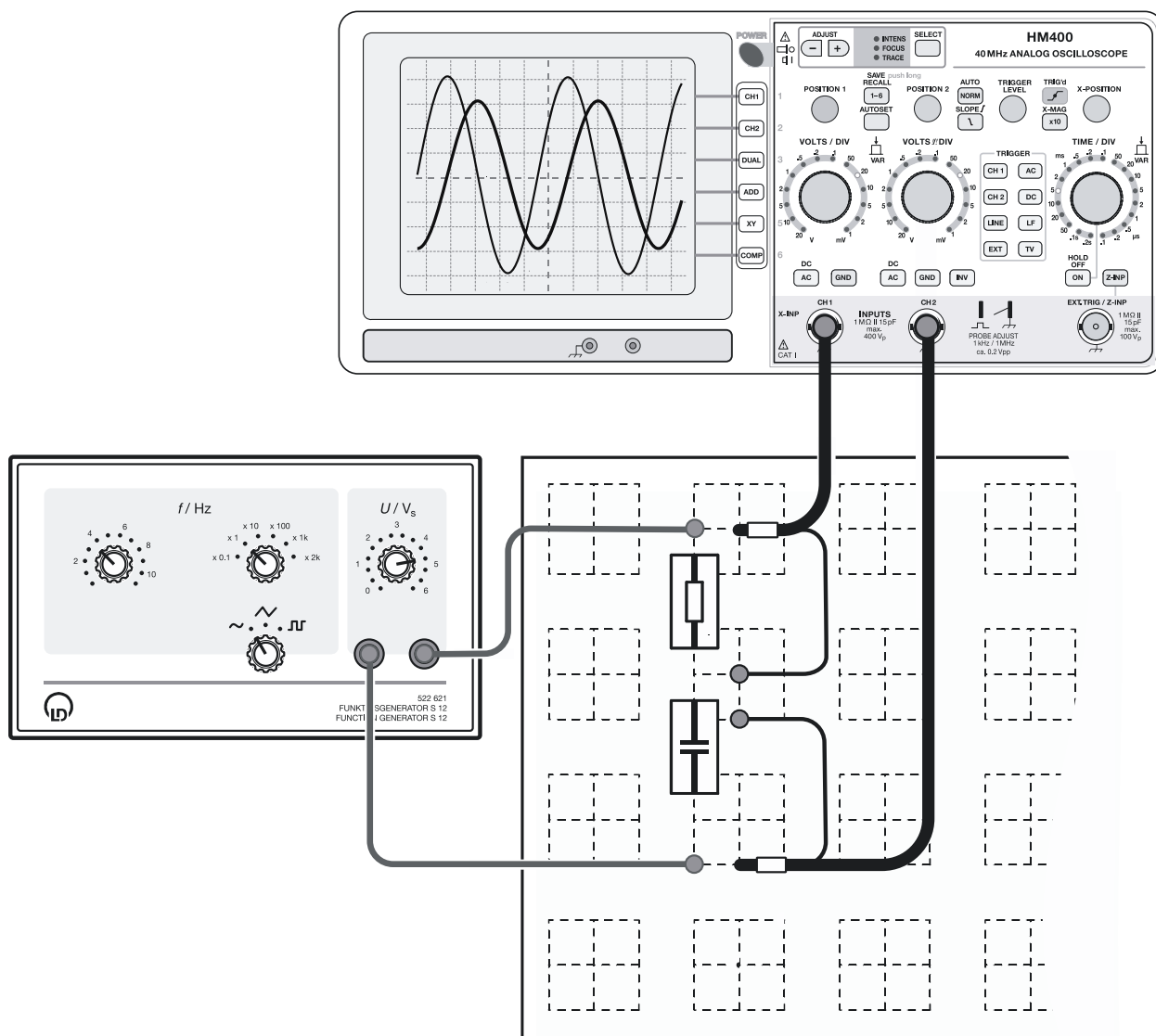


Рис.2. Экспериментальная установка для определения емкостного сопротивления.

Порядок выполнения работы

- Соберите экспериментальную установку согласно рис. 2, используя резистор с сопротивлением $R = 1 \text{ Ом}$ и конденсатор емкостью $C = 1 \text{ мкФ}$.
- Подключите к цепи функциональный генератор и переключите его в режим синусоидального сигнала « \sim ».
- Подключите вход «CH. 2» осциллографа параллельно выводам конденсатора, а вход «CH. 1» – параллельно резистору.
- Кнопкой «DUAL» на панели осциллографа включите режим отображения обоих каналов, и задайте для входов обоих каналов осциллографа режим работы по переменному току (кнопками «AC» около входов).
- Для корректного отображения фазы сигналов инвертируйте сигнал канала «CH. 2» (кнопкой «INV» около входа)

Наблюдение разности фаз

- Включите генератор сигналов, подключив источник питания, и настройте его на частоту $f \approx 5$ кГц. Ручкой генератора « U/V_s » подстройте амплитуду выходного напряжения, так чтобы она равнялась 6 В.
- Выберите подходящую временную развертку в осциллографе, так чтобы на экране было видно несколько полных колебаний.
- Сравните положения максимумов и минимумов напряжения на конденсаторе (канал «СН. 2») с прохождением через ноль напряжения на резисторе (канал «СН. 1») и установите сдвиг фаз между этими сигналами.

Зависимость ёмкостного сопротивления от ёмкости конденсатора

- Установите частоту генератора $f \approx 5$ кГц. Подстройте точное значение частоты по сигналу на экране осциллографа, добиваясь того, чтобы период полного колебания на экране был равен $T = 200$ мс.

Таблица 1. Результаты измерений амплитуды напряжения на конденсаторе U_C и резисторе U_R , а также рассчитанные значения амплитуды силы тока I в цепи и емкостного сопротивления X_C ($R = 1$ Ом, $f = 5000$ Гц)

C , мкФ	U_R , мВ	U_C , В	$I = \frac{U_R}{R}$, мА	$X_C = \frac{U_C}{I}$, Ом
0,5				
0,67				
1,0				
2,0				

- Для значений ¹ ёмкости C , указанных в таблице 1, измерьте при помощи осциллографа амплитуды напряжения на конденсаторе и резисторе, результаты измерений U_C и U_R занесите в таблицу.

Зависимость ёмкостного сопротивления от частоты

- Замените в экспериментальной установке резистор и конденсатор на $R = 10$ Ом и $C = 1$ мкФ соответственно.
- Для значений частоты сигнала генератора f , указанных в таблице 2, измерьте при помощи осциллографа амплитуды напряжения на конденсаторе и резисторе, результаты измерений U_C и U_R занесите в таблицу.

¹При необходимости подключайте несколько конденсаторов последовательно или параллельно, например $C = 0,33$ мкФ можно получить, соединив последовательно три конденсатора на 1 мкФ.

Таблица 2. Результаты измерений амплитуды напряжения на конденсаторе U_C и резисторе U_R , а также рассчитанные значения амплитуды силы тока I в цепи и емкостного сопротивления X_C ($R = 10 \text{ Ом}$, $C = 1 \text{ мкФ}$)

f , Гц	U_R , мВ	U_C , В	$I = \frac{U_R}{R}$, мА	$X_C = \frac{U_C}{I}$, Ом
400				
500				
1000				
2000				
4000				
5000				

Обработка результатов

- Для полученных пар значений U_C U_R рассчитайте значения силы тока и емкостного сопротивления и заполните таблицы 1 и 2.
- По данным из таблицы 1 постройте график зависимости емкостного сопротивления X_C от емкости C .
- По данным из таблицы 1 постройте график зависимости емкостного сопротивления X_C от $1/C$.
- По данным из таблицы 2 постройте график зависимости емкостного сопротивления X_C от частоты f .
- По данным из таблицы 2 постройте график зависимости емкостного сопротивления X_C от $1/f$.
- Для всех использованных в работе комбинаций ёмкости конденсатора C и частоты сигнала f заполните таблицу 3, используя данные из таблиц 1 и 2.
- По данным из таблицы 3 постройте график зависимости емкостного сопротивления X_C от $\frac{1}{fC}$. Через экспериментальные точки проведите прямую и найдите ее наклон. Сравните полученное значение с теоретическим коэффициентом пропорциональности $\frac{1}{2\pi}$.
- Объясните полученные результаты.

Таблица 3. Результаты измерений ёмкостного сопротивления X_C для различных комбинаций частоты f и ёмкости конденсатора C .

C , мкФ	f , Гц	$\frac{1}{fC}$, $\text{Гц}^{-1} \Phi^{-1}$	$X_C = \frac{U_C}{I}$, Ом
2,0	5000	100	
1,0	5000	200	
⋮	⋮	⋮	
1,0	400	2500	

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.