

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Определение зависимости амплитуды и фазы общего сопротивления от частоты для последовательной цепи.
- Определение зависимости амплитуды и фазы общего сопротивления от частоты для параллельной цепи

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение сопротивления цепи переменного тока с емкостной и резистивной нагрузками

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В цепях переменного тока необходимо учитывать не только омическое сопротивление, но и сопротивление, обусловленное емкостными нагрузками. Эти два вида нагрузок могут быть подключены последовательно или параллельно. Это оказывает влияние и на амплитуды, и на фазы тока и напряжения. В данном опыте это влияние будет исследовано с помощью осциллографа и генератора сигналов различной формы, который подает переменный ток с частотами в диапазоне от 50 до 2000 Гц.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Плата с гнездами для установки элементов схем	U33250
1	Резистор 1 Ом, 2 Вт, P2W19	U333011
1	Резистор 100 Ом, 2 Вт, P2W19	U333018
1	Конденсатор 10 мкФ, 35 В, P2W19	U333065
1	Конденсатор 1 мкФ, 100 В, P2W19	U333063
1	Конденсатор 0,1 мкФ, 100 В, P2W19	U333061
1	Генератор сигналов различной формы FG 100 (230 В, 50/60 Гц)	U8533600-230 или
1	Генератор сигналов различной формы FG 100 (115 В, 50/60 Гц)	U8533600-115
1	USB-осциллограф 2x50 МГц	U112491
2	Высокочастотный соединительный шнур, байонетный разъем/4-мм штекер	U11257
1	Набор из 15 соединительных проводов для опытов длиной 75 и сечением 1 мм ²	U13800

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

В цепях переменного тока принято использовать комплексные числа для описания сопротивлений в цепях, содержащих конденсаторы, поскольку это существенно облегчает расчеты. Это обусловлено тем, что значимым фактором является не только амплитуда тока и напряжения, но и фазовые соотношения между ними, которые также необходимо учитывать (комплексное сопротивление обычно называют импедансом). Тогда последовательные и параллельные цепи с омическими и емкостными сопротивлениями можно описывать довольно легко, хотя в каждом случае измеряемой является только вещественная составляющая.

2

Комплексное сопротивление (импеданс) конденсатора емкостью C в цепи переменного тока с частотой f записывается следующим образом:

$$(1) \quad X_c = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Угловая частота} \quad \omega = 2\pi \cdot f$$

Поэтому последовательные цепи, содержащие конденсатор и омический резистор R , будут иметь следующее общее сопротивление:

$$(2) \quad Z_s = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C} + R$$

Общее сопротивление параллельной цепи можно записать следующим образом

$$(3) \quad Z_p = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C + \frac{1}{R}}$$

Обычно это выражают так:

$$(4) \quad Z = Z_0 \cdot \exp(i \cdot \varphi)$$

Тогда

$$(5) \quad Z_s = \frac{\sqrt{1 + (\omega \cdot C \cdot R)^2}}{\omega \cdot C} \cdot \exp(i \cdot \varphi_s)$$

$$\text{где} \quad \tan \varphi_s = -\frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}$$

и

$$(6) \quad Z_p = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega \cdot C \cdot R)^2}} \cdot \exp(i \cdot \varphi_p)$$

где

$$\tan \varphi_p = -\omega \cdot C \cdot R$$

В этом опыте генератор сигналов различной формы подает напряжение переменного тока частоты f , которая регулируется в диапазоне от 50 до 2000 Гц. Напряжение U и ток I выводятся на экран осциллографа, где ток I отображается в виде падения напряжения на малом вспомогательном резисторе. Это позволяет получить вещественные составляющие напряжения на соответствующем сопротивлении Z .

$$(7) \quad U = U_0 \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot t)$$

В результате получаем следующий ток:

$$(8) \quad I = \frac{U_0}{Z_0} \cdot \exp(i \cdot (\omega \cdot t - \varphi)) = I_0 \cdot \exp(i \cdot (\omega \cdot t - \varphi))$$

Амплитуды I_0 и U_0 , а также фазовый сдвиг φ можно снять с этой осциллограммы.

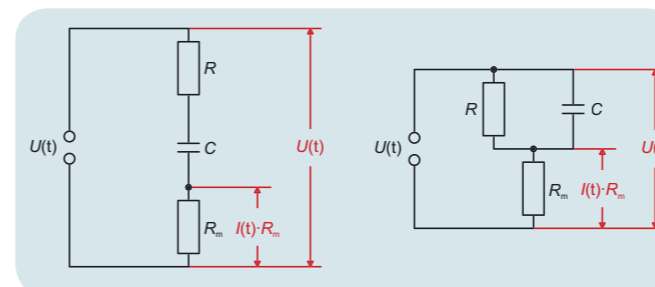


Рис. 1: Установка для измерений последовательной цепи

Рис. 2: Установка для измерений параллельной цепи

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Величина общего сопротивления (импеданса) $Z_0 = \frac{U_0}{I_0}$ отображается в виде зависимости от частоты f емкостного сопротивления $X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$.

При низких частотах сопротивление последовательной цепи соответствует емкостному сопротивлению, а сопротивление параллельной цепи соответствует омическому сопротивлению. Фазовый сдвиг находится в диапазоне между 0° и 90° и равен 45° , если значения омического и емкостного сопротивлений одинаковы.

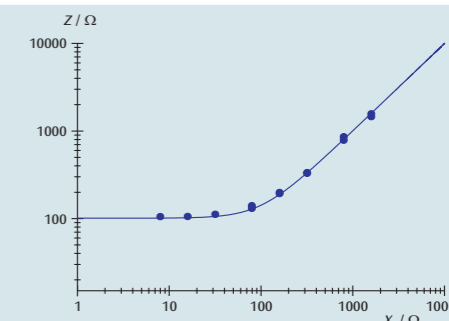


Рис. 3: Общее сопротивление последовательной цепи

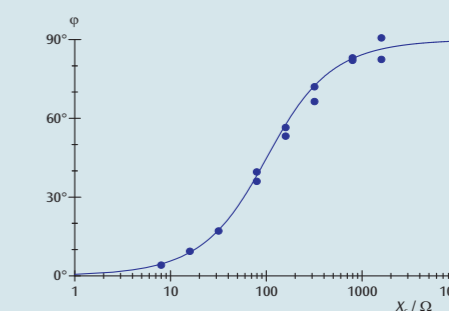


Рис. 4: Фазовый сдвиг для последовательной цепи

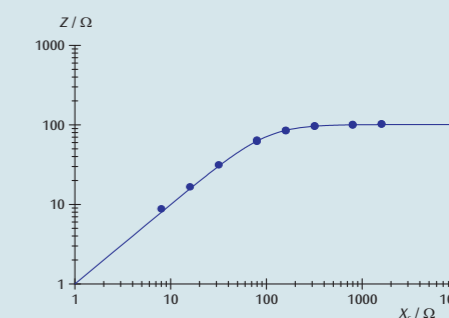


Рис. 5: Общее сопротивление параллельной цепи

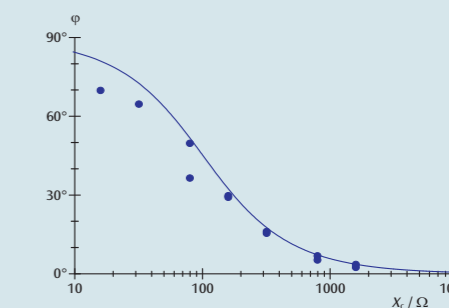


Рис. 6: Фазовый сдвиг для параллельной цепи