

Электротехника

Курсовая работа

Часть 2

Цель работы

Исследование сложной цепи синусоидального тока посредством комплексных чисел и векторных диаграмм.

Теоретические сведения

Описание двухполюсников комплексными числами

Расчёт разветвлённых цепей синусоидального тока в установившихся режимах работы ведут с помощью комплексных чисел и представляют в виде векторных диаграмм в комплексной плоскости.

Методы расчёта цепей постоянного тока (посредством законов Кирхгофа, методами узловых напряжений, контурных токов, наложения, преобразования схем) справедливы и для расчёта цепей синусоидального тока. При этом синусоидально изменяющиеся величины (ЭДС, напряжение и ток) представляют в виде комплексных чисел: комплекс ЭДС $\underline{E} = E e^{j\psi_e}$ комплекс напряжения $\underline{U} = U e^{j\psi_u}$ и комплекс тока $\underline{I} = I e^{j\psi_i}$.

В свою очередь комплексные числа изображают в виде векторов в комплексной плоскости Im-Re. При этом алгебраические действия над синусоидальными величинами заменяют действиями над комплексными числами или над векторами.

В данной работе исследуется цепь с последовательно-параллельным соединением ветвей - пассивных двухполюсников S1, P2 и P3 (рисунок 1, а).

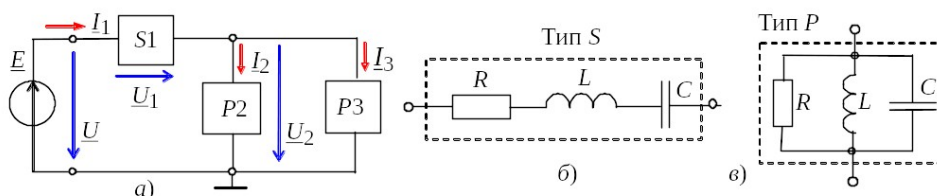


Рисунок 1

Двухполюсник S1 типа S состоит из трёх последовательно соединённых элементов R, L и C (рисунок 1, б), а каждый из двухполюсников P2 и P3 типа P состоит из трёх параллельно соединённых элементов R, L и C (рисунок 1, в).

Согласно варианту (таблица 1) в двухполюсниках нужно оставить указанный набор элементов и установить значения их параметров.

Полное комплексное сопротивление \underline{Z} двухполюсника типа S с последовательным соединением элементов (рисунок 1, б) записывают в алгебраической или в показательной форме:

$$\underline{Z} = R + jX_L - jX_C = Ze^{j\varphi},$$

где $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ и $\varphi = \arctg[(X_L - X_C)/R]$ - модуль и аргумент комплекса полного сопротивления двухполюсника; R , $X_L = \omega L$ и $X_C = 1/\omega C$ - активное, индуктивное и ёмкостное сопротивления двухполюсника.

Полную комплексную проводимость \underline{Y} (в сименсах) двухполюсника типа P с параллельным соединением элементов (рисунок 1, в) также записывают в алгебраической или в показательной форме:

$$\underline{Y} = 1/\underline{Z} = g - jb_L + jb_C = Ye^{-j\varphi},$$

где $\underline{Y} = 1/\underline{Z} = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$ и $\varphi = \arctg[(b_L - b_C)/g]$ - модуль и аргумент комплекса полной проводимости двухполюсника; $g = 1/R$, $b_L = 1/X_L$ и $b_C = 1/X_C$ - активная, индуктивная и ёмкостная проводимости двухполюсника.

Двухполюсник типа P может быть преобразован в двухполюсник типа S и наоборот посредством формул преобразования. Двухполюсник типа P с элементами R и X_L преобразовывают в двухполюсник типа S по формулам:

$$\underline{Z}' = R' + jX'_L = g/Y^2 + j(b/Y^2), \text{ где } R' = g/Y^2; X'_L = b/Y^2; Y = \sqrt{1/R^2 + 1/X_L^2}.$$

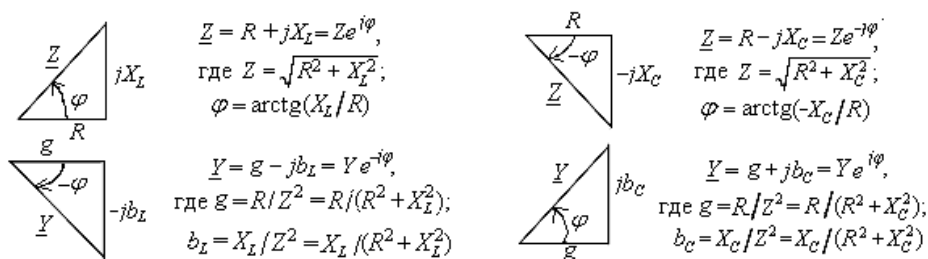


Рисунок 2

Для наглядности комплексы \underline{Z} и \underline{Y} представляют в виде треугольников (рисунок 2). При этом комплексный ток двухполюсника типа S обычно записывают в виде $\underline{I} = \underline{U}/\underline{Z}$, а двухполюсника типа P - в виде $\underline{I} = \underline{Y}\underline{U}$, где \underline{U} - комплекс напряжения на зажимах двухполюсника.

Расчёт цепи со смешанным соединением двухполюсников

Запишем первый и второй законы Кирхгофа для схемы (рисунок 1, а):

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3; \underline{E} = \underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2,$$

где $\underline{I}_2 = \underline{Y}_2 \underline{U}_2$; $\underline{I}_3 = \underline{Y}_3 \underline{U}_2$; $\underline{I}_1 = (\underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) \underline{U}_2$, или

$$\underline{I}_1 = \underline{U} / \underline{Z} = \underline{U} / [\underline{Z}_1 + (\underline{Z}_2 \underline{Z}_3) / (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3)]; \underline{Z}_2 = 1 / \underline{Y}_2; \underline{Z}_3 = 1 / \underline{Y}_3.$$

Пусть $\underline{E} = E e^{j30^\circ} = \underline{U} = 10 e^{j30^\circ} \text{ В}$; $\underline{Z}_1 = R - jX_C = 5 - j5 \text{ Ом} = 7,07 e^{-j45^\circ} \text{ Ом}$; $\underline{Z}_2 = R + jX_L = 4 + j3 = 5 e^{j37^\circ} \text{ Ом}$; $\underline{Z}_3 = -jX_C = 5 e^{-j90^\circ} \text{ Ом}$.

Тогда комплексные проводимости второй и третьей ветвей:

$$\underline{Y}_2 = 1 / \underline{Z}_2 = 1 / (5 e^{j37^\circ}) = 0,2 e^{-j37^\circ} \text{ См}; \underline{Y}_3 = 1 / \underline{Z}_3 = 1 / (5 e^{-j90^\circ}) = 0,2 e^{j90^\circ} \text{ См},$$

а эквивалентная комплексная проводимость разветвления

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{23} &= \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 = 0,2 e^{-j37^\circ} + 0,2 e^{j90^\circ} = 0,2 \cos 37^\circ - j0,2 \sin 37^\circ + j0,2 = \\ &= 0,16 - j0,12 + j0,2 = 0,16 + j0,08 = 0,179 e^{j26,5^\circ} \text{ См}. \end{aligned}$$

Комплекс входного сопротивления

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_1 + 1 / \underline{Y}_{23} = 7,07 e^{-j45^\circ} + 5,59 e^{-j26,5^\circ} = 5 - j5 + 5 - j2,5 = 10 - j7,5 = \\ &= 12,5 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}. \end{aligned}$$

$$\text{Комплекс тока } \underline{I}_1 = \underline{E} / \underline{Z} = 100 e^{j30^\circ} / 12,5 e^{-j37^\circ} = 0,8 e^{j67^\circ} \text{ А}.$$

Комплексы напряжений и токов ветвей:

$$\underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 = 7,07 e^{-j45^\circ} \cdot 0,8 e^{j67^\circ} = 5,66 e^{j18^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_{23} \underline{I}_1 = 5,59 e^{-j26,5^\circ} \cdot 0,8 e^{j67^\circ} = 4,47 e^{j40,5^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{I}_2 = \underline{U}_2 / \underline{Z}_2 = 4,47 e^{j40,5^\circ} / 5 e^{j37^\circ} = 0,89 e^{j3,5^\circ} \text{ А};$$

$$\underline{I}_3 = \underline{U}_2 / \underline{Z}_3 = 4,47 e^{j40,5^\circ} / 5 e^{-j90^\circ} = 0,89 e^{j130,5^\circ} \text{ А}.$$

Векторная диаграмма напряжений и токов ветвей представлена на рисунке 3.

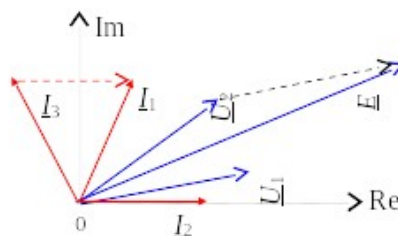


Рисунок 3

Задание

Рассчитать схему цепи (рисунок 1, а) с параметрами, приведенными в таблице 1. Результаты расчета занести в таблицу 2. Используя данные расчёта, построить в комплексной плоскости векторную диаграмму напряжений и токов схемы цепи с указанием направлений фазовых углов φ_k ветвей и угла φ на зажимах цепи.

Таблица 1

Вариант	E, В	f, Гц	Двухполюсник								
			S1			P2			P3		
			R ₁ , Ом	L ₁ , мГн	C ₁ , мкФ	R ₂ , Ом	L ₂ , мГн	C ₂ , мкФ	R ₃ , Ом	L ₃ , мГн	C ₃ , мкФ
1...10	2 + N*	3000	-	0,6	5	6	0,2	-	10	-	5
11...20	1 + N	4000	4	0,4	-	4	-	8	8	0,4	-
21...30	N	5000	4	0,2	-	8	0,3	-	4	-	10

N* - номер варианта

Собрать схему (рисунок 4) согласно варианту задания (таблица 1) в Multisim, установить параметры элементов двухполюсников S1, P2, P3, источника синусоидального напряжения $e = \sqrt{2} \sin(2\pi f t)$, выбрать режим работы измерительных приборов АС.

Изменяя масштаб горизонтальной развертки лучей 0,05...0,1 мс/дел при частотах ЭДС $f = 3...5$ кГц, получить удобные для наблюдения и измерения фазового угла осциллограммы напряжения и тока (2...3 периода изменения ЭДС e) на экране осциллографа.

Напряжение $u_R = R_{A(\text{мперметра})}i$, пропорциональное току i , снимается с внутреннего активного сопротивления $R_A = 1$ мОм амперметра А1 (выступает в роли датчика тока), поэтому масштаб по вертикали канала А осциллографа задавать в интервале 0,1...0,5 мВ/дел (mV/div), а канала В, на вход которого подаётся напряжение источника e , в интервале 5...20 В/дел (V/div).

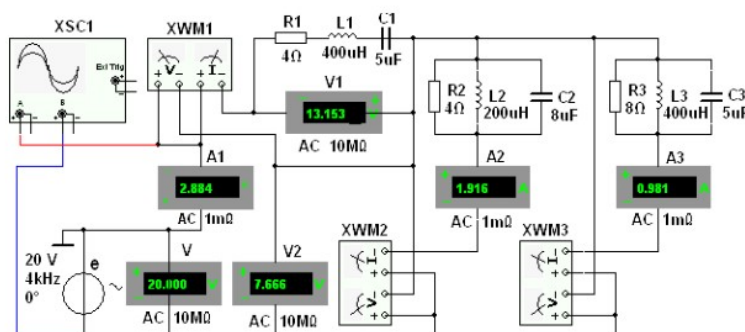


Рисунок 4

Таблица 2

	F, Гц	E, В	φ , град	U_1 , В	I_1 , А	φ_1 , град	U_2 , В	I_2 , А	φ_2 , град	U_3 , В	I_3 , А	φ_3 , град
Рассчитано	f											
Измерено	f											
	2f											
Рассчитано по данным эксперимент ов	Полные сопротивления двухполюсников											
		$Z_1 = U_1/I_1$, Ом			$Z_2 = U_2/I_2$, Ом			$Z_3 = U_3/I_3$, Ом				
	f											
	2f											

Запустить моделирование. Показания приборов и значения вычисленных фазовых углов $\varphi_k = \psi_{uk} - \psi_{ik}$, где k – номер ветви, и угла $\varphi = \psi_e - \psi_{i1} = -\psi_{i1}$ на входе цепи, занести в таблицу 2. Найти углы сдвига фаз φ_1 , φ_2 и φ_3 ветвей, воспользовавшись показаниями ваттметров, т. е. $|\varphi_k| = \arccos(P_k/U_k I_k)$, где P_k – показание k -го ваттметра; U_k – напряжение k -й ветви; I_k – ток k -ой ветви; $k = 1, 2$ и 3 . Угол сдвига фаз на входе цепи определить по формуле: $\varphi = 360^\circ \Delta t/T$, град, где Δt – временной интервал между напряжением и током в секундах, определяемый по осциллограммам напряжения u и тока i_1 ; $T = 1/f$ – период изменения питающего цепь напряжения в секундах; f – частота ЭДС источника e в герцах.

Сравнить результаты измерений электрических величин со значениями, полученными в результате расчёта.

Повторить действия, удвоив частоту f синусоидальной ЭДС e . Результаты измерений занести в таблицу 2.

По результатам измерений рассчитать полные сопротивления двухполюсников и занести их значения в таблицу 2. Построить (в масштабе) шесть треугольников сопротивлений двухполюсников, отметив на них фазовые углы.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические расчётные схемы и копия схемы цепи, собранной в Multisim.

3. Расчётные формулы, треугольники сопротивлений ветвей, векторные и временные диаграммы напряжений и токов схемы цепи.
4. Таблица с расчётными и экспериментальными данными.
5. Выводы по работе.