

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

В.И. Волченсков

ВЫПОЛНЕНИЕ
ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 2
ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОНИКА»
(ТЕМА «РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ
СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА»)

Методические указания

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2011

Рецензент *А.А. Матвеев*

Волченсков В.И.

Б67 Выполнение домашнего задания №2 по курсу «Электротехника и электроника» (тема «Расчет линейных цепей синусоидального тока»): метод. указания / В.И. Волченсков. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 30, [2] с.: ил.

Рассмотрены основные методы расчета цепей переменного тока, предусмотренные учебной программой. Представлены основные законы электротехники и методы расчета синусоидальных цепей, приемы обозначения электрических величин, используемые схемы замещения, электроизмерительные приборы.

Для студентов факультетов РК, МТ, Э, СМ, ФН.

Рекомендовано Учебно-методической комиссией НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.319
ББК 31.2

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011

Цель работы — изучение и освоение методов анализа электрических цепей однофазного синусоидального тока с использованием символического метода.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

1. В соответствии с номером варианта домашнего задания нарисовать подробную схему с указанием отдельных элементов (R , L , C) и выписать исходные числовые данные из табл. П1, приведенной в приложении 1 методических указаний.

2. Используя символический метод, для исходной схемы (рис. П1 приложения 2) составить систему уравнений по законам Кирхгофа, подставить в нее числовые значения, соответствующие рассматриваемому варианту задания, и, используя компьютер, определить все токи в ветвях схемы.

3. Записать уравнение баланса мощностей для исходной схемы, подставить известные числовые значения и оценить относительные погрешности расчета значений активной и реактивной мощностей.

4. Рассчитать потенциалы всех точек в исходной схеме, приняв за нулевой потенциал нижнего узла схемы. Построить на одном графике (совмещенную) векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений для исходной схемы. Обозначить на ней напряжения, соответствующие всем элементам схемы.

5. Определить показания амперметра, вольтметра и ваттметра, указанных в исходной схеме.

6. Используя метод эквивалентного генератора, определить ток I_2 в ветви с сопротивлением Z_2 (см. рис. П1). Сопоставить полученное значение этого тока с результатами расчета предыдущим методом.

7. Ввести в исходную схему дополнительный элемент Z_5 , обеспечивающий в ветви с сопротивлением Z_2 режим резонанса напряжений. Используя метод эквивалентного генератора, определить ток и напряжения в ветви с сопротивлением Z_2 . Построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений для используемой в этом пункте задания преобразованной схемы.

8. Ввести в исходную схему дополнительный ветвь с сопротивлением Z_6 параллельно ветви с сопротивлением Z_2 , чтобы обеспечить на рассматриваемом участке режим резонанса токов. Используя метод эквивалентного генератора, определить токи в сопротивлениях Z_2 и Z_6 и суммарный ток участка цепи $I_7 = I_2 + I_6$. Построить совмещенную векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений для используемой в этом пункте задания преобразованной схемы.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. Исходная электрическая схема приведена в приложении 2 (см. рис. П1). Числовые значения параметров схемы студент выбирает из табл. П1 приложения 1. Номер варианта домашнего задания соответствует номеру, под которым студент записан в журнале, находящемся у старосты группы.

2. Расчетно-графическая работа выполняется на листах формата А4, желательны с использованием компьютера. Образец оформления титульного листа приведен в приложении 3.

3. Перед выполнением очередного пункта задания необходимо дать заголовков и кратко описать ваши последующие действия. При выполнении вычислений следует привести расчетную формулу, подставить числовые значения всех величин, входящих в формулу, ответ с указанием единиц измерения в системе СИ, затем — конечные графики и векторные диаграммы в соответствии с условиями домашнего задания.

4. Используемые обозначения в формулах и на схемах должны соответствовать ГОСТу.

5. Работу над ошибками студент выполняет на новой странице, не затрагивая уже проверенного преподавателем материала. Следует написать заголовков: «Работа над ошибками» и далее выполнять работу над ошибками, заново приводя исправленные рисунки, формулы и расчеты.

6. Срок сдачи второго домашнего задания — 14-я неделя семестра. По указанию преподавателя отдельные пункты задания могут быть опущены.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1. Расчет электрической цепи с использованием законов Кирхгофа

При расчете цепи переменного синусоидального тока можно воспользоваться законами Кирхгофа. Составить соответствующую систему уравнений можно либо для мгновенных значений токов и напряжений, либо в комплексной форме (табл. 1).

Таблица 1

Тип уравнения	Первый закон Кирхгофа	Второй закон Кирхгофа
Для мгновенных значений	$\sum i_k = 0$	$\sum u_k = \sum e_k$
В комплексной форме	$\sum I_k = 0$	$\sum U_k = \sum E_k$

Мгновенные значения токов и напряжений записывают в виде синусоидальных функций с их начальными фазами ψ_i и ψ_u :

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i);$$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u).$$

Дальнейшие рассуждения будем проводить с использованием конкретной схемы (рис. 1). Запишем систему уравнений по законам Кирхгофа для схемы на рис. 1 для мгновенных значений токов и напряжений:

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0;$$

$$i_1 R_1 + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - u = 0;$$

$$i_3 R_3 + \frac{1}{C_3} \int i_3 dt + L_4 \frac{di_3}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2 = 0.$$

Получили систему интегродифференциальных уравнений, записанных для синусоидально изменяющихся величин. Решать такую систему сложно. Значительно удобнее решать систему уравнений, записанных с использованием комплексных величин. Это позволяет свести решение дифференциальных уравнений, записанных для мгновенных значений токов и напряжений, к решению алгебраических уравнений, записанных в комплексной форме.

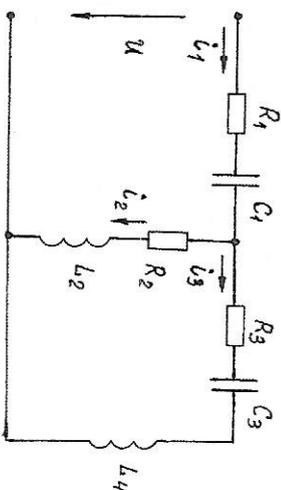


Рис. 1. Электрическая схема с использованием мгновенных значений токов и напряжений

Запишем систему уравнений для нашего примера с использованием комплексных величин. Предварительно перерисуем схему (см. рис. 1), введя в нее новые обозначения (рис. 2).

Закон Ома в комплексной форме для каждого из элементов схемы имеет вид

$$\dot{U} = \underline{Z} \dot{I},$$

где \dot{U} и \dot{I} — комплексные значения напряжения и тока на участке цепи; \underline{Z} — комплексное сопротивление участка цепи, которое в каждом конкретном случае записывают согласно табл. 2.

Таблица 2

Элементы	Мгновенные значения	Векторная диаграмма	Закон Ома в комплексной форме	$\varphi = \psi_u - \psi_i$
	$u_r = U_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin \omega t$		$\dot{U}_R = \dot{I} R$	$\varphi = 0^\circ$
	$u_L = U_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$		$\dot{U}_L = \dot{I} (jX_L)$	$\varphi = 90^\circ$
	$u_C = U_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$		$\dot{U}_C = \dot{I} (-jX_C)$	$\varphi = -90^\circ$
	$u = U_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$		$\dot{U} = \dot{I} (R + jX_L)$	$0 < \varphi < 90^\circ$
	$u = U_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$		$\dot{U} = \dot{I} (R - jX_C)$	$-90^\circ < \varphi < 0^\circ$

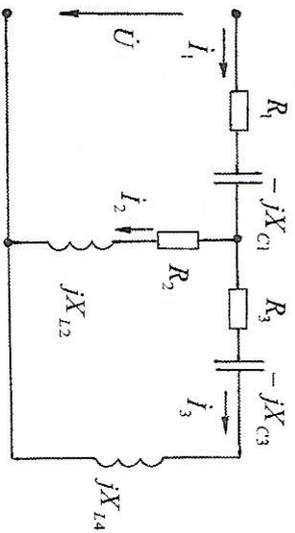


Рис. 2. Электрическая схема с использованием комплексных величин

Для составления системы уравнений по законам Кирхгофа необходимо предварительно задать положительные направления токов в ветвях схемы.

Первый закон Кирхгофа формулируется так.

Алгебраическая сумма комплексных значений токов в узле электрической цепи равна нулю:

$$\sum \pm i_k = 0.$$

Правило знаков: токи, направленные к узлу, берутся со знаком плюс, от узла — со знаком минус.

Число уравнений, составляемое по первому закону Кирхгофа, на единицу меньше, чем число узлов в схеме.

Второй закон Кирхгофа формулируется так.

Алгебраическая сумма комплексных значений напряжений в замкнутом контуре равна алгебраической сумме комплексных значений ЭДС в этом контуре:

$$\sum \pm U_k = \sum \pm E_k.$$

Правило знаков: выбираем направление обхода контура (по ходу часовой стрелки или против хода). Если напряжение (или ЭДС) совпадает с направлением обхода контура, то значение берется со знаком плюс. Если напряжение (или ЭДС) направлено навстречу обходу контура, то — со знаком минус.

Число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров в схеме. Общее число уравнений, составленных по первому и второму законам Кирхгофа, должно равняться числу неизвестных (обычно — токов).

Система уравнений, записанная по законам Кирхгофа в комплексной форме, для схемы на рис. 2 будет такой:

$$\begin{aligned} i_1 - i_2 - i_3 &= 0; \\ i_1 R_1 + i_1 (-jX_{c1}) + i_2 R_2 + i_2 (jX_{L2}) - U &= 0; \\ i_3 R_3 + i_3 (-jX_{c3}) + i_3 (jX_{L4}) - i_2 (jX_{L2}) - i_2 R_2 &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Используя исходные данные, вычисляем все реактивные сопротивления:

$$X_{c1} = 1/(\omega C_1); \quad X_{L2} = \omega L_2; \quad X_{c3} = 1/(\omega C_3); \quad X_{L4} = \omega L_4,$$

где $\omega = 2\pi f = 314 \text{ с}^{-1}$, так как $f = 50 \text{ Гц}$.

Подставляем известные значения сопротивлений и напряжения источника U в систему уравнений (2) и решаем ее. Получаем значения токов i_1, i_2, i_3 и, выбрав масштаб, строим векторную диаграмму токов на комплексной плоскости (рис. 3).

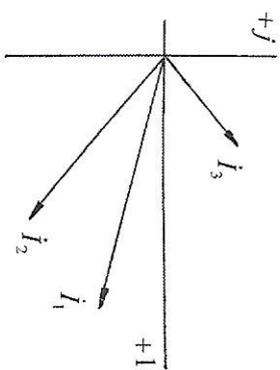


Рис. 3. Векторная диаграмма токов

3.2. Составление уравнения баланса мощностей

Для проверки правильности решения задачи в электротехнике обычно используют метод составления уравнения баланса мощностей. Комплексная мощность, отдаваемая источниками в электри-

ческую цепь $\underline{S}_{\text{ист}}$, должна быть равна комплексной мощности, потребляемой приемниками $\underline{S}_{\text{прим}}$:

$$\underline{S}_{\text{ист}} = \underline{S}_{\text{прим}}.$$

При этом должны выполняться раздельно равенства активных мощностей

$$P_{\text{ист}} = P_{\text{прим}}$$

и реактивных мощностей

$$Q_{\text{ист}} = Q_{\text{прим}}.$$

Мощность источников в нашем примере рассчитываем в комплексной форме:

$$\underline{S}_{\text{ист}} = \sum \dot{U} \dot{I}^* = P_{\text{ист}} + jQ_{\text{ист}}.$$

Здесь для расчета комплексной мощности $\underline{S}_{\text{ист}}$ используем комплексно-сопряженное значение тока \dot{I} ; S, P, Q — полная, активная и реактивная мощности, измеряемые, соответственно В·А, Вт, Вар.

Для приемников вычисляем раздельно активную мощность

$$P_{\text{прим}} = \sum I^2 R$$

и реактивную мощность

$$Q_{\text{прим}} = \sum I^2 X_L - \sum I^2 X_C.$$

При выполнении реальных расчетов значения мощности источников и приемников могут несколько различаться. Точность выполненного расчета схемы оценивают с помощью относительной погрешности при вычислении баланса активных мощностей

$$\delta_p = \left| \frac{P_{\text{ист}} - P_{\text{прим}}}{S_{\text{ист}}} \right| \cdot 100\%$$

и реактивных мощностей

$$\delta_Q = \left| \frac{Q_{\text{ист}} - Q_{\text{прим}}}{S_{\text{ист}}} \right| \cdot 100\%.$$

При выполнении расчетов на компьютере эти погрешности не должны превышать 1%.

3.3. Построение потенциальной диаграммы

Диаграмму, показывающую распределение потенциалов в электрической цепи, называют *потенциальной*.

Потенциальную диаграмму для цепи переменного синусоидального тока рассчитывают с использованием комплексных чисел и строят ее на комплексной плоскости на одном графике с векторной диаграммой токов. Потенциальная диаграмма позволяет легко вычислить напряжение между любыми двумя точками рассматриваемой электрической цепи, определить не только напряжение, но и характер рассматриваемого участка цепи.

Расчет потенциальной диаграммы ведут после полного расчета всей цепи, определения всех токов.

Для вычисления напряжений на участках электрической цепи достаточно использовать закон Ома в комплексной форме (см. табл. 2). Расчет потенциалов во всех узлах и точках электрической цепи выполняют последовательно, двигаясь вдоль цепи, начиная от точки, потенциал которой принимают за нулевой ($\phi_0 = 0$). Будем считать, что на пассивных элементах напряжение совпадает по направлению с током в элементе. Если направление на участке электрической цепи обозначить с двумя индексами (U_{AB}), соответствующими границам участка ($A-B$), то на электрической схеме это напряжение U_{AB} следует обозначать стрелкой, направленной от первой точки A ко второй точке B , если ток на этом участке тоже направлен от точки A к точке B .

Рассмотрим порядок расчета и построения потенциальной диаграммы на примере анализа электрической цепи, схема которой приведена на рис. 4.

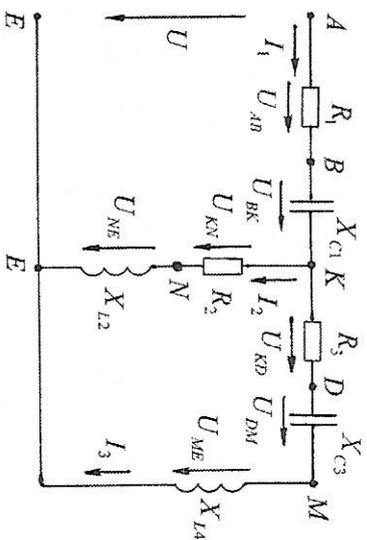


Рис. 4. Подробная схема рассматриваемого примера расчета

Будем считать, что рассматриваемая схема уже рассчитана и все токи определены. Примем потенциал точки E равным нулю: $\phi_E = 0$. Обойдем схему, двигаясь по внешнему контуру против хода часовой стрелки и вычисляя потенциалы всех встречающихся точек. По аналогии с расчетом потенциалов при постоянном токе, двигаясь против тока, будем условно считать, что потенциал точки рефной точки «возрастает», т. е. к потенциалу предыдущей точки будем прибавлять падение напряжения на рассматриваемом элементе или участке схемы.

Напряжение на участке $M-E$ $\dot{U}_{ME} = i_3(jX_{L4})$.

Потенциал точки M $\phi_M = \phi_E + \dot{U}_{ME}$.

Вычисляем потенциал следующей точки D .

Напряжение на участке $D-M$ $\dot{U}_{DM} = i_3(-jX_{C3})$.

Потенциал точки D $\phi_D = \phi_M + \dot{U}_{DM}$.

Аналогично вычисляем потенциалы остальных точек схемы:

$$\dot{U}_{KD} = i_3 R_3; \quad \phi_K = \phi_D + \dot{U}_{KD};$$

$$\dot{U}_{BK} = i_1(-jX_{C1}); \quad \phi_B = \phi_K + \dot{U}_{BK};$$

$$\dot{U}_{AB} = i_1 R_1; \quad \phi_A = \phi_B + \dot{U}_{AB};$$

$$\phi_E = \phi_A - \dot{U} = \dots = 0;$$

$$\dot{U}_{NE} = i_2(jX_{L2}); \quad \phi_N = \phi_E + \dot{U}_{NE};$$

$$\dot{U}_{KN} = i_2 R_2; \quad \phi_K = \phi_N + \dot{U}_{KN}.$$

Далее по результатам расчета (в числах) строим потенциальную (топографическую) диаграмму, совмещенную с векторной диаграммой токов. Вид полученной диаграммы для рассматриваемой схемы (см. рис. 4) приведен на рис. 5.

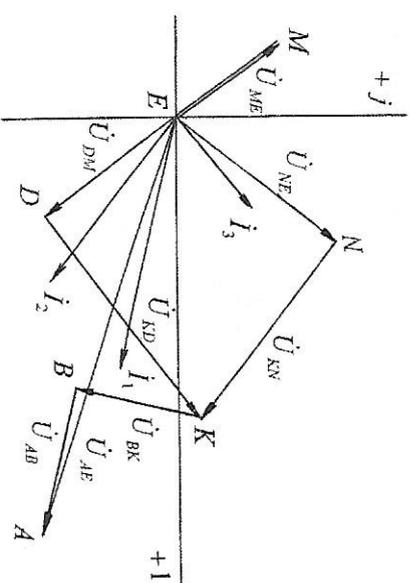


Рис. 5. Топографическая диаграмма, построенная по результатам расчета

Построение начинаем с задания осей комплексной плоскости $[+1; +j]$. Выбираем масштабы, удобные для построения векторной диаграммы токов и потенциалов (напряжений). Строим расчетные тангенсы токи на комплексной плоскости в виде векторов. Отмечаем и подписываем на комплексной плоскости потенциалы всех расчетных точек схемы. Соединяем соответствующие точки на диаграмме стрелками, показываем напряжение на всех элементах схемы. Стрелка, обозначающая напряжение на участке схемы, на векторной диаграмме должна быть направлена в сторону первого индекса. Например, на диаграмме, представленной на рис. 5, стрелка, обозначающая напряжение \dot{U}_{KN} , направлена в сторону первого индекса K , соответствующего на диаграмме положению точки с потенциалом ϕ_K . Не следует путать с направлением

стрелки, обозначающей напряжение \dot{U}_{KM} на электрической схеме цепи (см. рис. 4), где стрелка напряжения \dot{U}_{KM} совпадает с направлением тока \dot{I}_2 и направлена от первого узла К к точке N.

Для проверки правильности построения потенциальной диаграммы можно сопоставить направления напряжений и токов для каждого элемента схемы. Они должны соответствовать табл. 2.

3.4. Определение показаний измерительных приборов

Амперметр измеряет ток, проходящий через его обмотку. Он показывает действующее значение силы тока в ветви, в которую он включен. В схеме на рис. 6 амперметр показывает действующее значение тока I_1 .

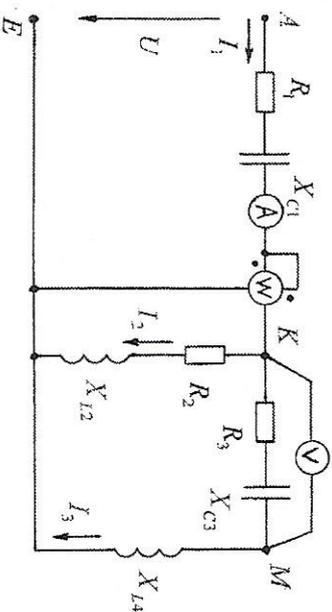


Рис. 6. Схема с измерительными приборами

Ваттметр показывает действующее значение напряжения между двумя точками электрической цепи, к которым он подключен. В рассматриваемом примере (см. рис. 6) вольтметр подключен к точкам К и М.

Вычисляем напряжение \dot{U}_{KM} в комплексной форме:

$$\dot{U}_{KM} = \dot{I}_3 (R_3 - jX_{C3}) = U_{KM} e^{j\varphi_{KM}}$$

Вольтметр покажет числовое значение, равное модулю напряжения \dot{U}_{KM} , т. е. U_{KM} .

Ваттметр измеряет активную мощность, расходуемую на участке цепи, заключенном между точками, к которым подключена обмотка напряжения ваттметра, — в нашем примере (см. рис. 6) между точками К и Е. Активную мощность, измеряемую ваттметром, можно вычислить по формуле

$$P = U_{KE} I_1 \cos \varphi,$$

где φ — угол между векторами \dot{U}_{KE} и \dot{I}_1 . В этом выражении U_{KE} — действующее значение (модуль) напряжения, на которое подключена обмотка напряжения ваттметра; I_1 — действующее значение (модуль) тока, проходящего через токовую обмотку ваттметра.

3.5. Определение тока в цепи методом эквивалентного генератора

Если требуется определить ток только в одной ветви сложной электрической цепи, для его нахождения удобно использовать метод эквивалентного генератора. Этот метод основан на теореме об активном двухполюснике, смысл которого заключается в следующем.

Если активную цепь, к которой присоединена исследуемая ветвь, заменить источником эквивалентной ЭДС \dot{E}_g , значение которой равно значению напряжения холостого хода на зажимах разомкнутого двухполюсника \dot{U}_{xx} , и эквивалентным сопротивлением $Z_{\text{вх}}$, равным входному сопротивлению пассивной цепи двухполюсника $Z_{\text{вх}}$, то в исследуемой ветви электрическое состояние не изменится.

Ток в цепи

$$I = \frac{\dot{E}_g}{Z_g + Z_{\text{вх}}} = \frac{\dot{U}_{xx}}{Z_g + Z_{\text{вх}}},$$

где $Z_{\text{вх}}$ — сопротивление нагрузки. Этому выражению соответствует схема на рис. 7.

Подробнее алгоритм этого метода рассмотрим на примере определения тока \dot{I}_2 в ветви с сопротивлением Z_2 для электрической цепи, схема которой приведена на рис. 8.

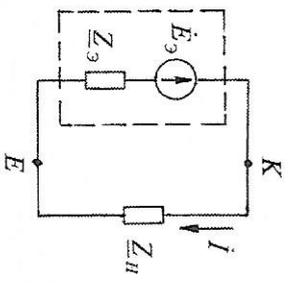


Рис. 7. Схема, объясняющая метод эквивалентного генератора

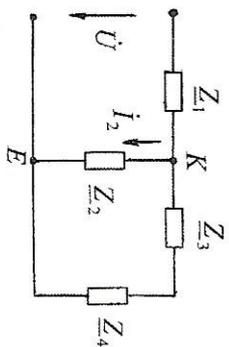


Рис. 8. Схема к примеру расчета электрической цепи методом эквивалентного генератора

Вычисляем значение \dot{U}_{xxKE} .

Из рассматриваемой электрической цепи удалим ветвь сопротивления Z_2 , в которой требуется определить ток \dot{I}_2 .

Определим напряжение между точками К и Е в оставшейся части схемы \dot{U}_{xxKE} .

В нашем примере (рис. 9) для определения \dot{U}_{xxKE} можно использовать метод междузлового напряжения (метод двух узлов):

$$\dot{U}_{xxKE} = \frac{\dot{U} Y_1}{Y_1 + Y_{34}} = \frac{\dot{U} \frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3 + Z_4}}.$$

Рассчитываем значение Z_{BKKE} .

Из схемы (см. рис. 9) удалим источник напряжения \dot{U} , оставив его внутреннее сопротивление (оно равно нулю). Получаем схему (рис. 10) с параллельным соединением двух ветвей относительно точек К и Е. Определим

$$Z_{BKKE} = \frac{Z_1(Z_3 + Z_4)}{Z_1 + Z_3 + Z_4}.$$

Затем вычисляем ток

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_9}{Z_9 + Z_2} = \frac{\dot{U}_{xxKE}}{Z_{BKKE} + Z_2}.$$

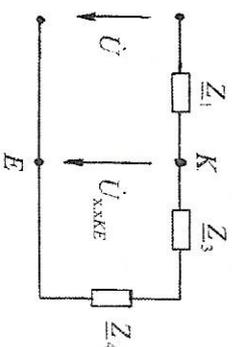


Рис. 9. Схема расчета напряжения холостого хода

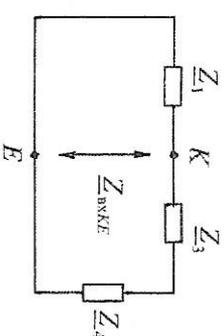


Рис. 10. Схема расчета входного сопротивления

3.6. Расчет резонансных режимов

Резонансом в электрической цепи называется режим электрической цепи с элементами R, L, C, при котором напряжение и ток на входе цепи (или рассматриваемого участка цепи) совпадают по фазе. Характер цепи (или участка цепи) чисто активный.

Резонанс напряжений

Пусть на участке К-Е с сопротивлением $Z_2 = R_2 + jX_{L2}$ (см. рис. 4) требуется создать режим резонанса напряжений с помощью введения в схему добавочного элемента Z_5 .

При резонансе напряжений рассматриваемый участок цепи с активными и реактивными сопротивлениями должен быть активным:

$$Z_{KE} = \sqrt{R_2^2 + (X_{L2} - X_{C5})^2} = R_2.$$

Значит, в ветвь К-Е необходимо ввести емкостное сопротивление $X_{C5} = X_{L2}$. В этом случае схема (см. рис. 4) приобретает вид, представленный на рис. 11.

Поскольку требуется создать режим резонанса напряжений в ветви с сопротивлением Z_2 , для определения тока \dot{I}_2 в итоговой схеме (см. рис. 11) удобно воспользоваться методом эквивалентного генератора (рис. 12).

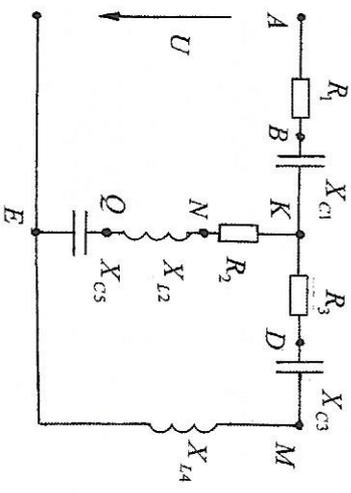


Рис. 11. Схема, соответствующая резонансу напряжений

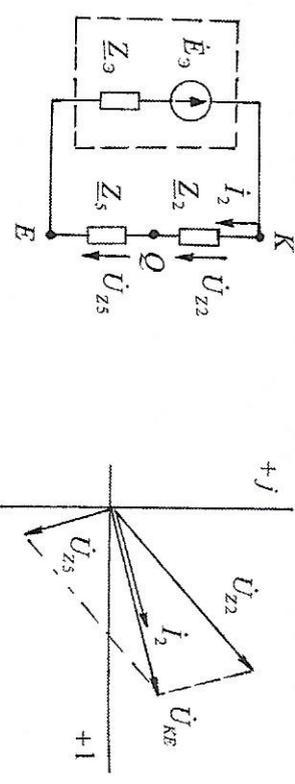


Рис. 12. Использование метода эквивалентного генератора для расчета тока и напряжений при наличии резонанса в схеме резонанса напряжений

Значения ЭДС E_3 и внутреннего сопротивления Z_3 эквивалентного генератора уже рассчитаны. Поэтому определение тока I_2 в ветви К-Е выполняется просто:

$$I_2 = \frac{E_3}{Z_3 + Z_2 + Z_5} = \frac{U_{KQE}}{Z_{KQE} + Z_2 + Z_5}$$

Для построения векторной диаграммы рассчитаем напряжения:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{z2} &= \dot{U}_{KQ} = I_2 Z_2; \\ \dot{U}_{z5} &= \dot{U}_{QE} = I_2 Z_5; \\ \dot{U}_{KE} &= I_2 (Z_2 + Z_5). \end{aligned}$$

Векторную топографическую диаграмму напряжений, совмещенно с векторной диаграммой токов, строим для упрощенной схемы (см. рис. 12). Она приведена на рис. 13. Как следует из диаграммы, ток I_2 в ветви с сопротивлением Z_2 совпадает по фазе с общим напряжением ветви U_{KE} .

Резонанс токов

Теперь рассмотрим, как создать режим резонанса токов на участке К-Е в ветвях с сопротивлениями Z_2 и Z_6 . Здесь Z_6 — сопротивление дополнительной параллельной ветви, обеспечивающее режим резонанса токов для двух ветвей с сопротивлениями Z_2 и Z_6 (рис. 14).

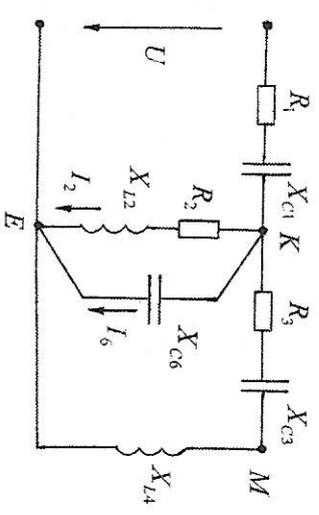


Рис. 14. Схема, соответствующая режиму резонанса токов

При резонансе токов рассматриваемый участок цепи К-Е с элементами R_2 , L_2 , C_6 должен быть активным, при этом должно выполняться соотношение

$$Y_{26} = \sqrt{G_2^2 + (B_{L2} - B_{C6})^2} = G_2,$$

$$\text{т. е. } V_{L2} = V_{C6}, \text{ или } \frac{X_{L2}}{R_2^2 + X_{L2}^2} = \frac{1}{X_{C6}}.$$

Поскольку требуется провести анализ режима цепи только для двух ветвей с сопротивлением Z_2 и Z_6 , удобно воспользоваться методом эквивалентного генератора. Соответствующая схема приведена на рис. 15.

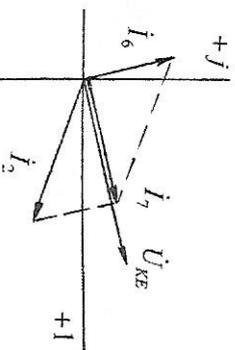
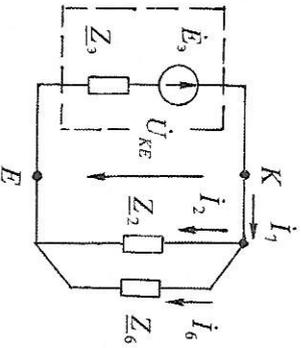


Рис. 15. Использование метода эквивалентного генератора для расчета схемы при наличии в ней режима резонанса токов

Рис. 16. Векторная диаграмма токов и напряжений при наличии в схеме режима резонанса токов

Значения \dot{E}_3 и Z_3 эквивалентного генератора определены раньше. Суммарный ток двух ветвей $\dot{I}_7 = \dot{I}_2 + \dot{I}_6$ вычислим по формуле

$$\dot{I}_7 = \frac{\dot{E}_3}{Z_3 + Z_{26}} = \frac{\dot{U}_{\text{вх } KE}}{Z_{\text{вх } KE} + Z_{26}}.$$

$$\text{Здесь } Z_{26} = \frac{Z_2 Z_6}{Z_2 + Z_6}.$$

Для построения векторной диаграммы рассчитаем токи \dot{I}_2 и \dot{I}_6 . Вначале определим $\dot{U}_{KE} = \dot{I}_7 Z_{26}$ и затем отдельно каждый ток:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{KE}}{Z_2}; \quad \dot{I}_6 = \frac{\dot{U}_{KE}}{Z_6}.$$

Векторную топографическую диаграмму напряжений, совмещенную с векторной диаграммой токов, строим для упрощенной схемы (см. рис. 15). Она представлена на рис. 16. С помощью построенной диаграммы легко объяснить наличие в схеме режима резонанса токов (рис. 15).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте законы Кирхгофа и объясните правила составления системы уравнений по законам Кирхгофа для расчета схемы, приведенной на рис. 14.
2. Метод эквивалентного генератора. Объясните последовательность расчета тока I в схеме (см. рис. 11) с использованием метода эквивалентного генератора.
3. Уравнение баланса мощностей для цепи синусоидального тока. Объясните правила составления уравнения баланса мощностей для схемы, приведенной на рис. 11.
4. Объясните порядок расчета и построения потенциальной (топографической) диаграммы для схемы, приведенной на рис. 4.
5. Режим резонанса напряжений: определение, свойства цепи, векторная диаграмма.
6. Режим резонанса токов: определение, свойства цепи, векторная диаграмма.
7. Объясните, как рассчитать показания приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра) в схеме, приведенной на рис. 6.

ЛИТЕРАТУРА

- Бессонов Д.А.* Теоретические основы электротехники. В 2 т. М.: Высш. шк., 1988.
- Борисов Ю.М., Димитов Д.Н., Зорин Ю.Н.* Электротехника: Учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- Волынский Б.А., Зетт Е.Н., Шатерников В.Е.* Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1987.
- Димитов Д.Н.* Вопросы и задачи по электротехнике для программированного обучения: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Энергоатомиздат, 1984.
- Сборник задач по электротехнике и основам электроники: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высш. шк., 1987.
- Электротехника и электроника: Учеб. для вузов / Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Энергоатомиздат, 1997.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица П1

Вариант	U		Z ₁			Z ₂			Z ₃			Z ₄		
	U, В	Ψ _U , град	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	R ₄ , Ом	L ₄ , мГн	C ₄ , мкФ
1	50	0	4	25,48	636,94	9	38,22	—	6	—	398,09	15	63,69	—
2	50	30	12	—	353,86	24	—	176,93	18	76,43	—	9	—	265,39
3	50	45	12	—	199,04	3	28,66	636,94	9	47,77	1061,57	6	25,48	—
4	50	60	6	25,48	—	8	19,11	—	4	—	1061,57	9	—	265,39
5	50	90	16	38,22	—	6	25,48	—	3	—	796,18	4	—	1061,57
6	60	0	16	63,69	398,09	8	31,85	796,18	6	—	398,09	8	—	530,79
7	60	30	20	—	212,31	15	—	159,24	12	28,66	—	12	50,96	—
8	60	45	18	—	132,70	24	57,32	—	15	—	159,24	12	50,96	—
9	60	60	28	66,88	—	32	76,43	—	9	38,22	—	8	—	530,79
10	60	90	32	—	132,70	24	101,91	—	16	38,22	—	8	—	530,79
11	70	0	6	38,22	530,79	24	—	176,93	21	89,17	—	12	—	353,86
12	70	30	6	—	398,09	20	47,77	—	12	28,66	—	12	28,66	—
13	70	45	24	101,91	—	20	—	159,24	6	25,48	—	9	38,22	—
14	70	60	16	38,22	—	16	—	199,04	9	38,22	—	12	50,96	—
15	70	90	16	—	265,39	16	—	199,04	12	50,96	—	9	38,22	—

Ва- ри- ант	U		Z ₁			Z ₂			Z ₃			Z ₄		
	U, В	Ψ _U , град	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	R ₄ , Ом	L ₄ , мГн	C ₄ , мкФ
16	80	0	3	15,92	353,86	12	28,66	—	8	—	530,79	20	—	212,31
17	80	30	9	38,22	—	18	—	132,70	9	—	265,39	24	57,32	—
18	80	45	10	63,69	318,47	3	15,92	353,86	20	—	159,24	6	—	398,09
19	80	60	30	—	106,16	20	63,69	—	8	38,22	796,18	12	—	353,86
20	80	90	8	19,11	—	40	127,39	—	8	19,11	265,39	50	—	63,694
21	90	0	20	—	159,24	60	—	53,08	60	95,54	—	20	95,54	—
22	90	30	30	—	79,62	60	—	39,809	50	95,54	—	30	159,24	—
23	90	45	40	95,54	—	80	254,78	—	80	191,08	—	20	63,69	39,809
24	90	60	70	222,93	—	80	—	39,809	40	127,39	—	40	—	39,809
25	90	90	24	57,32	—	18	—	132,70	16	38,22	—	12	57,32	—
26	100	0	15	63,69	—	4	25,48	636,94	9	38,22	—	6	—	398,09
27	100	30	9	—	265,39	12	—	353,86	24	—	176,93	18	76,43	—
28	100	45	6	25,48	—	12	—	199,04	3	28,66	636,94	9	47,77	1061,57
29	100	60	9	—	265,39	6	25,48	—	8	19,11	—	4	—	1061,57
30	100	90	4	—	1061,57	16	38,22	—	6	25,48	—	3	—	796,18
31	110	0	8	—	530,79	16	63,69	398,09	8	31,85	796,18	6	—	398,09
32	110	30	12	50,96	—	20	—	212,31	15	—	159,24	12	—	353,86
33	110	45	12	50,96	—	18	—	132,70	24	57,32	—	15	—	159,24
34	110	60	8	—	530,79	28	66,88	—	32	76,43	—	9	—	265,39
35	110	90	8	19,11	—	32	—	132,70	24	101,91	—	16	38,22	—

Ва- ри- ант	U		Z ₁			Z ₂			Z ₃			Z ₄		
	U, В	Ψ _U , град	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	R ₄ , Ом	L ₄ , мГн	C ₄ , мкФ
36	120	0	12	—	353,86	6	38,22	530,79	24	—	176,93	21	89,17	—
37	120	30	12	28,66	—	6	—	398,09	20	47,77	—	12	28,66	—
38	120	45	9	38,22	—	24	101,91	—	20	—	159,24	6	25,48	—
39	120	60	12	50,96	—	16	38,22	—	16	—	199,04	9	38,22	—
40	120	90	9	38,22	—	16	—	265,39	16	—	199,04	12	50,96	—
41	130	0	20	—	212,31	3	15,92	353,86	12	28,66	—	8	—	530,79
42	130	30	24	57,32	—	9	38,22	—	18	—	132,70	9	—	265,39
43	130	45	6	—	398,09	10	63,69	318,47	3	15,92	353,86	20	—	159,24
44	130	60	12	—	353,86	30	—	106,16	20	63,69	—	8	38,22	796,18
45	130	90	50	—	63,694	8	19,11	—	40	127,39	—	8	19,11	265,39
46	140	0	20	95,54	—	20	—	159,24	60	—	53,079	60	95,54	—
47	140	30	30	159,24	—	30	—	79,62	60	—	39,809	50	95,54	—
48	140	45	20	63,69	79,62	40	95,54	—	80	254,78	—	80	191,08	—
49	140	60	40	—	39,809	70	222,93	—	80	—	39,809	40	127,39	—
50	140	90	12	50,96	—	24	57,32	—	18	—	132,70	16	38,22	—
51	150	0	20	47,77	—	24	57,32	—	80	—	39,809	80	191,08	—
52	150	30	9	—	265,39	4	25,48	636,94	18	—	132,70	40	127,39	—
53	150	45	6	25,48	—	12	—	353,86	9	38,22	—	16	38,22	—
54	150	60	9	—	265,39	12	—	199,04	24	—	176,93	6	—	398,09
55	150	90	4	—	1061,57	6	25,48	—	3	28,66	636,94	18	76,43	—

Ва- ри- ант	U		Z ₁			Z ₂			Z ₃			Z ₄		
	U, В	Ψ _U , град	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	R ₄ , Ом	L ₄ , мГн	C ₄ , мкФ
56	160	0	8	—	530,79	16	38,22	—	8	19,11	—	9	47,77	1061,57
57	160	30	12	50,96	—	16	63,69	398,09	6	25,48	—	4	—	1061,57
58	160	45	16	38,22	—	20	—	212,31	8	31,85	796,18	3	—	796,18
59	160	60	8	—	530,79	18	—	132,70	15	—	159,24	6	—	398,09
60	160	90	6	25,48	—	28	66,88	—	24	57,32	—	12	—	353,86
61	170	0	12	—	353,86	32	—	132,70	32	76,43	—	15	—	159,24
62	170	30	12	28,66	—	6	38,22	530,79	24	101,91	—	9	—	265,39
63	170	45	9	38,22	—	6	—	398,09	24	—	176,93	16	38,22	—
64	170	60	12	50,96	—	24	101,91	—	20	47,77	—	21	89,17	—
65	170	90	9	38,22	—	16	38,22	—	20	—	159,24	12	28,66	—
66	180	0	20	—	212,31	16	—	265,39	16	—	199,04	6	25,48	—
67	180	30	24	57,32	—	3	15,92	353,86	16	50,96	—	9	38,22	—
68	180	45	6	—	398,09	9	38,22	—	12	28,66	—	12	—	199,04
69	180	60	12	—	353,86	10	63,69	318,47	18	—	132,70	8	—	530,79
70	180	90	50	—	63,694	30	—	106,16	3	15,92	353,86	9	—	265,39
71	190	0	20	95,54	—	8	19,11	—	20	63,69	—	20	—	159,24
72	190	30	30	159,24	—	20	—	159,24	40	127,39	—	8	38,22	796,18
73	190	45	20	63,69	79,62	30	—	79,62	60	—	53,079	8	19,11	265,39
74	190	60	40	—	39,809	40	95,54	—	60	—	39,809	60	95,54	—
75	190	90	12	50,96	—	70	222,93	—	80	254,78	—	50	95,54	—

Ва- ри- ант	U		Z ₁			Z ₂			Z ₃			Z ₄		
	U, В	Ψ _U , град	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	R ₄ , Ом	L ₄ , мГн	C ₄ , мкФ
76	200	0	6	—	398,09	16	38,22	—	80	—	39,809	40	95,54	—
77	200	30	9	—	265,39	15	63,69	—	18	—	132,70	70	222,93	—
78	200	45	6	25,48	—	18	76,43	—	9	38,22	—	24	—	176,93
79	200	60	9	—	265,39	9	47,77	1061,57	24	—	176,93	4	25,48	636,94
80	200	90	4	—	1061,57	4	—	1061,57	3	28,66	636,94	12	—	353,86
81	210	0	8	—	530,79	3	—	796,18	8	19,11	—	12	—	199,04
82	210	30	12	50,96	—	6	—	398,09	6	25,48	—	6	25,48	—
83	210	45	12	50,96	—	12	28,66	—	8	31,85	796,18	16	38,22	—
84	210	60	28	66,88	—	15	—	159,24	15	—	159,24	16	63,69	398,09
85	210	90	8	—	530,79	32	76,43	—	24	57,32	—	20	—	212,31
86	220	0	12	—	353,86	16	38,22	—	9	38,22	—	18	—	132,70
87	220	30	12	28,66	—	21	89,17	—	24	101,91	—	8	—	530,79
88	220	45	9	38,22	—	12	28,66	—	24	—	176,93	32	—	132,70
89	220	60	12	50,96	—	6	25,48	—	20	47,77	—	6	38,22	530,79
90	220	90	16	—	265,39	9	38,22	—	20	—	159,24	6	—	398,09
91	230	0	20	—	212,31	9	—	265,39	16	—	199,04	24	101,91	—
92	230	30	24	57,32	—	8	—	530,79	16	—	199,04	16	38,22	—
93	230	45	6	—	398,09	9	—	265,39	12	28,66	—	12	50,96	—
94	230	60	12	—	353,86	20	—	159,24	18	—	132,70	3	15,92	353,86
95	230	90	50	—	63,694	8	38,22	796,18	3	15,92	353,86	9	38,22	—

Окончание табл. П1

Ва- ри- ант	U		Z_1			Z_2			Z_3			Z_4		
	U , В	Ψ_{U_5} , град	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	R_4 , Ом	L_4 , мГн	C_4 , мкФ
96	240	0	20	95,54	—	8	19,11	265,39	20	63,69	—	10	63,69	318,47
97	240	30	40	159,24	—	60	95,54	—	40	127,39	—	30	—	106,16
98	240	45	20	63,69	79,62	50	127,39	—	60	—	53,079	8	19,11	—
99	240	60	40	95,54	39,809	80	191,08	—	60	—	39,809	20	—	159,24
100	240	90	12	57,32	—	40	127,39	—	80	254,78	—	30	—	79,62

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

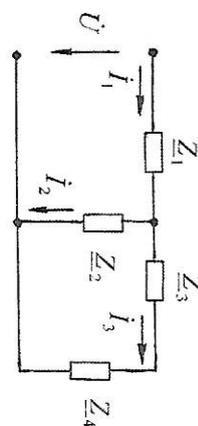


Рис. П1. Исходная электрическая схема

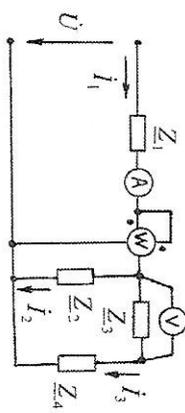


Рис. П2. Исходная электрическая схема с измерительными приборами

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

Кафедра электротехники и промышленной электроники

Домашнее задание № 2

по курсу «Электротехника и электроника»

(тема «Расчет линейных цепей синусоидального тока»)

Вариант № 10

Выполнил: студент Иванов Б.В.
группа РК 9-51

Проверил: доцент Волченсков В.И.

Дата сдачи работы на проверку _____

Москва
2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Содержание домашнего задания. Выбор исходных данных	3
2. Порядок выполнения расчетно-графической работы	4
3. Краткие теоретические сведения	5
3.1. Расчет электрической цепи с использованием законов Кирхгофа ..	5
3.2. Составление уравнения баланса мощностей	9
3.3. Построение потенциальной диаграммы	11
3.4. Определение показаний измерительных приборов	14
3.5. Определение тока в цепи методом эквивалентного генератора	15
3.6. Расчет резонансных режимов	17
Контрольные вопросы	21
Литература	22
Приложение 1. Исходные данные	23
Приложение 2. Расчетная схема	29
Приложение 3. Образец титульного листа	30