

УДК 621.3
И 622

Инженерное оборудование и
ния и задания для выполнения ко
курса специальностей 270201 —
270204 — СЖД / Сост. Т.Д.
Новосибирск: Изд-во СГУПС

Методические указания содержат
объяснения по их выполнению.

Указания предназначены для сту
альностей 270201 — МТ, 270112 — В

Методические указания распе
ти на заседании кафедры «Элек
фикация».

Ответствен
канд. техн. наук

Реце
канд. техн. наук

© Меньшикова Т.Д., Назарова Н.П., сост., 2007
© Сибирский государственный
университет путей сообщения, 2007

Листок срока возврата издания

За нарушение срока пользования — штраф

Ситюкова 30.12.12
Иванова 25.12.14
Павлов А.И. 21.12.15
Авдеев Е.В. 20.12.16
Жуковский И.С. 23.12.16
Родев С.И. 20.12.17

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основным видом учебной работы студента-заочника над дисциплиной является самостоятельная работа с учебной литературой. Эта работа начинается с изучения теории по учебнику. После изучения теории по данной теме следует разобрать решения задач, приведенные в рекомендованных учебниках и задачниках, и несколько задач решить самостоятельно. Решение задач помогает лучшему пониманию изучаемых вопросов и закреплению в памяти основных положений и соотношений. Затем следует приступить к выполнению контрольной работы.

Вариант, подлежащий решению, определяется по двум последним цифрам шифра студента: по предпоследней цифре выбирается номер схемы или таблицы, а по последней — номер варианта числовых значений величин. Если порядок выбора варианта другой, то это оговаривается в примечании к задаче.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. Каждая работа должна выполняться в отдельной тетради (или на листах бумаги, сшитых в тетрадь), на обложке которой должны быть указаны: фамилия, имя и отчество студента, его шифр и домашний адрес, номер контрольной работы.

2. Писать следует на одной стороне листа или оставляя широкие поля.

3. Условие задачи должно быть сформулировано достаточно полно и четко.

4. Основные положения решения должны иметь объяснения. Решение должно иллюстрироваться схемами, чертежами, векторными диаграммами и т. д. На электрических схемах должны быть показаны положительные направления токов.

Абонемент для
заочников
библиотеки СГУПС

5. Графическая часть работы должна быть выполнена аккуратно с помощью чертежного инструмента со строгим соблюдением требований государственных стандартов на условные графические обозначения. Графики и диаграммы должны выполняться с обязательным соблюдением масштаба на миллиметровой бумаге. Масштаб следует выбирать так, чтобы на 1 см приходилось $1 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$ или $5 \cdot 10^n$ единиц измерения физической величины, где n — целое число. Градуировка осей должна выполняться, начиная с нуля, равномерно. Числовые значения координат точек, по которым строятся кривые, приводить не следует.

6. Должен выдерживаться следующий порядок записей при вычислениях: сначала формулы, затем подстановка числовых значений величин, входящих в формулу, без каких-либо преобразований, затем — результат с указанием единиц измерения.

7. Контрольная работа должна содержать перечень литературы, использованной при работе над заданием, дату и подпись студента.

8. Контрольные работы должны представляться на рецензирование в порядке их номеров. Разрешается одновременное представление на рецензию двух контрольных работ.

9. Не зачтенная контрольная работа должна быть исправлена в соответствии с замечаниями и представлена на повторную рецензию. Все исправления должны быть выполнены в той же тетради после рецензии.

10. Контрольные работы, выполненные не по варианту, а также оформленные неаккуратно и написанные неразборчиво, не рецензируются.

Рекомендуемая литература

1. *Электротехника* / Под. ред. В.С. Пантюшина. М.: Высш. шк., 1976. 632 с.
2. *Электротехника* / Под. ред. В.Г. Герасимова. М.: Высш. шк., 1985. 480 с.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. *Электротехника*. М.: Энергоатомиздат, 1983. 440 с.
4. *Сборник задач по электротехнике* / Под. ред. В.С. Пантюшина. М.: Высш. шк., 1976. 279 с.
5. *Сборник задач по электротехнике и основам электроники* / Под. ред. В.Г. Герасимова. М.: Высш. шк., 1987. 253 с.
6. Глушков Г.Н. *Электроснабжение строительно-монтажных работ*. М.: Стройиздат, 1982. 232 с.
7. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. *Сборник задач по электротехнике с решениями*. М.: Высш. шк., 1991. 416 с.
8. Пономаренко В.К. *Сборник задач с решениями по общей электротехнике*. М.: Высш. шк., 1972. 184 с.
9. Варфоломеев Г.Н. *Символический метод расчета цепей переменного тока*. Новосибирск: НИИЖТ, 1987. 62 с.

ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Задача 1

Расчет разветвленной линейной цепи постоянного тока с несколькими источниками электрической энергии

Для цепи, изображенной на рис. 1.1, необходимо:

1. Составить систему уравнений и определить токи путем непосредственного применения законов Кирхгофа.

2. Составить баланс мощностей.

Значения ЭДС активных элементов и сопротивлений резисторов приведены в табл. 1.1.

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, § 3.4–3.5].

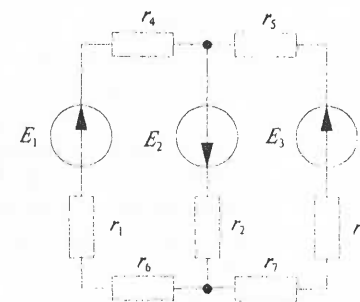


Рис. 1.1. Схема рассчитываемой цепи

Таблица 1.1

Группа	Величина	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
А	r_1 , Ом	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10
	r_2 , Ом	3	5	7	9	11	8	6	4	2	1
	r_3 , Ом	2	3	5	6	8	9	11	7	4	6
	r_4 , Ом	1	5	0	9	5	0	0	4	9	7
	r_5 , Ом	4	0	6	5	9	0	4	0	0	2
	r_6 , Ом	0	3	8	4	0	9	6	7	0	6
	r_7 , Ом	5	4	5	0	4	5	0	11	7	0
Б	E_1 , В	110	120	100	80	90	100	110	120	160	140
	E_2 , В	160	170	180	190	200	180	160	170	190	150
	E_3 , В	130	160	140	150	170	130	160	120	190	150

Примечание. В табл. 1.1 исходные данные разделены на две группы: А и Б. Номер варианта группы А выбирается по предпоследней цифре, а группы Б — по последней цифре шифра.

Задача 2

Закон электромагнитной индукции

В однородном магнитном поле помещена катушка (рис. 2.1). Силовые линии поля параллельны оси катушки. Размеры катушки: $R_1 = 50$ см, $R_2 = 56$ см. Максимальное значение магнитной индукции B_m , число витков W катушки и время полного цикла изменения магнитной индукции T приведены в табл. 2.1. Магнитная индукция B изменяется во времени по закону, указанному в табл. 2.2.

Задание: Построить график изменения ЭДС $e(t)$, индуктированной в катушке.

Примечание. Номер варианта в табл. 2.2 выбирается по предпоследней цифре, а в табл. 2.1 — по последней цифре шифра.

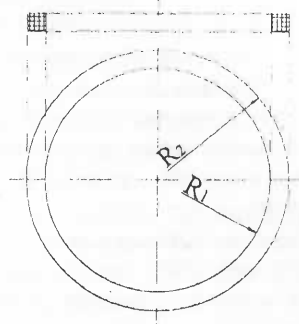


Рис. 2.1. Общий вид магнитопровода

Таблица 2.1

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W	400	120	450	260	180	200	170	230	190	110
B_m , Тл	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
T , с	0,01	0,02	0,005	0,05	0,1	0,2	0,25	0,04	0,08	0,16

Теоретический материал приведен в [2, § 1.3; 1.6], [4, § 2.3]

Методические указания к задаче 2

ЭДС, индуктируемая в катушке, охватывающей изменяющийся во времени магнитный поток, определяется на основе закона электромагнитной индукции:

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt} = -W S \frac{dB}{dt},$$

где e — ЭДС, В; W — число витков катушки; Φ — магнитный поток, охватываемый катушкой, Вб; S — площадь поперечного сечения катушки, определяемая по среднему радиусу, м²,

$$S = \pi R_{cp}^2 = \pi \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right)^2,$$

где B — магнитная индукция, Тл; t — время, с.

Таблица 2.2

Вариант	График $B(t)$	Вариант	График $B(t)$
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Пример. Круглый плоский виток радиуса $R = 0,5$ м помещен в однородное магнитное поле. Силовые линии поля нормальны плоскости витка. Магнитная индукция B поля изменяется во времени по закону, показанному на рис. 2.2, а. Максимальное значение магнитной индукции $B_m = 1,8$ Тл. Период $T = 0,01$ с.

Определить закон и построить график ЭДС $e(t)$, индуцируемой в витке.

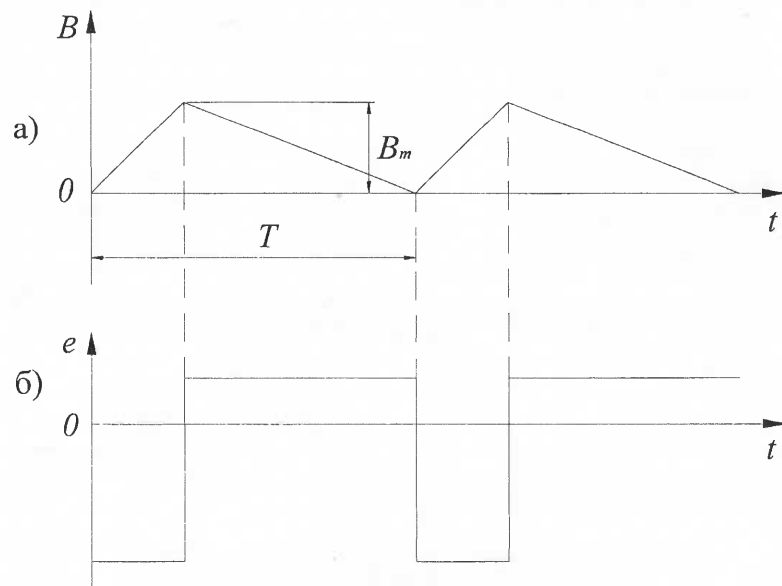


Рис. 2.2. Графики изменения магнитной индукции и ЭДС: а — график изменения магнитной индукции; б — график изменения ЭДС

По закону электромагнитной индукции ЭДС, индуцируемая в витке, сцепленном с изменяющимся магнитным потоком, равна

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Если магнитное поле однородно и его силовые линии нормальны плоскости витка, то магнитный поток Φ , сцепленный с витком, определяется так:

$$\Phi = BS,$$

тогда

$$e = -S \frac{dB}{dt}.$$

Из графика видно, что в течение времени от $t = 0$ до $t = T/5$ значение магнитной индукции растет с постоянной скоростью от нуля до B_m . Следовательно, в этот промежуток времени

$$\frac{dB}{dt} = \text{const} = \frac{B_m}{T/5} = \frac{1,8 \cdot 5}{0,01} = 900 \text{ В/м}^2.$$

Площадь, ограничиваемая витком, м^2 ,

$$S = \pi R^2 = \pi \cdot 0,5^2 = 0,785.$$

Индуцируемая в витке ЭДС, В,

$$e = -S \frac{dB}{dt} = -0,785 \cdot 900 = 706,5 = \text{const}.$$

С момента времени $t = T/5$ и до $t = T$ значение магнитной индукции убывает с постоянной скоростью от B_m до нуля. В этот промежуток времени

$$\frac{dB}{dt} = -\frac{B_m}{\frac{4}{5}T} = -\frac{1,8}{\frac{4}{5} \cdot 0,01} = -225 \text{ В/м}^2$$

и ЭДС, В,

$$e = -S \frac{dB}{dt} = 0,785 \cdot 225 = 176,6.$$

График ЭДС показан на рис. 2.2, б.

Задача 3

Расчет неразветвленной цепи синусоидального тока

Напряжение на зажимах цепи, изображенной на рис. 3.1, изменяется по закону $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$. Амплитудное значение U_m и начальная фаза ψ_u напряжения, а также значения активных r , индуктивных x_L и емкостных x_C сопротивлений приведены в табл. 3.1.

Задание:

1. Определить показания приборов, указанных на схеме.
2. Определить закон изменения тока в цепи.
3. Определить закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр.
4. Построить векторную диаграмму.

Примечание. Ваттметр, включенный так, как показано на рис. 3.1, измеряет активную мощность цепи.

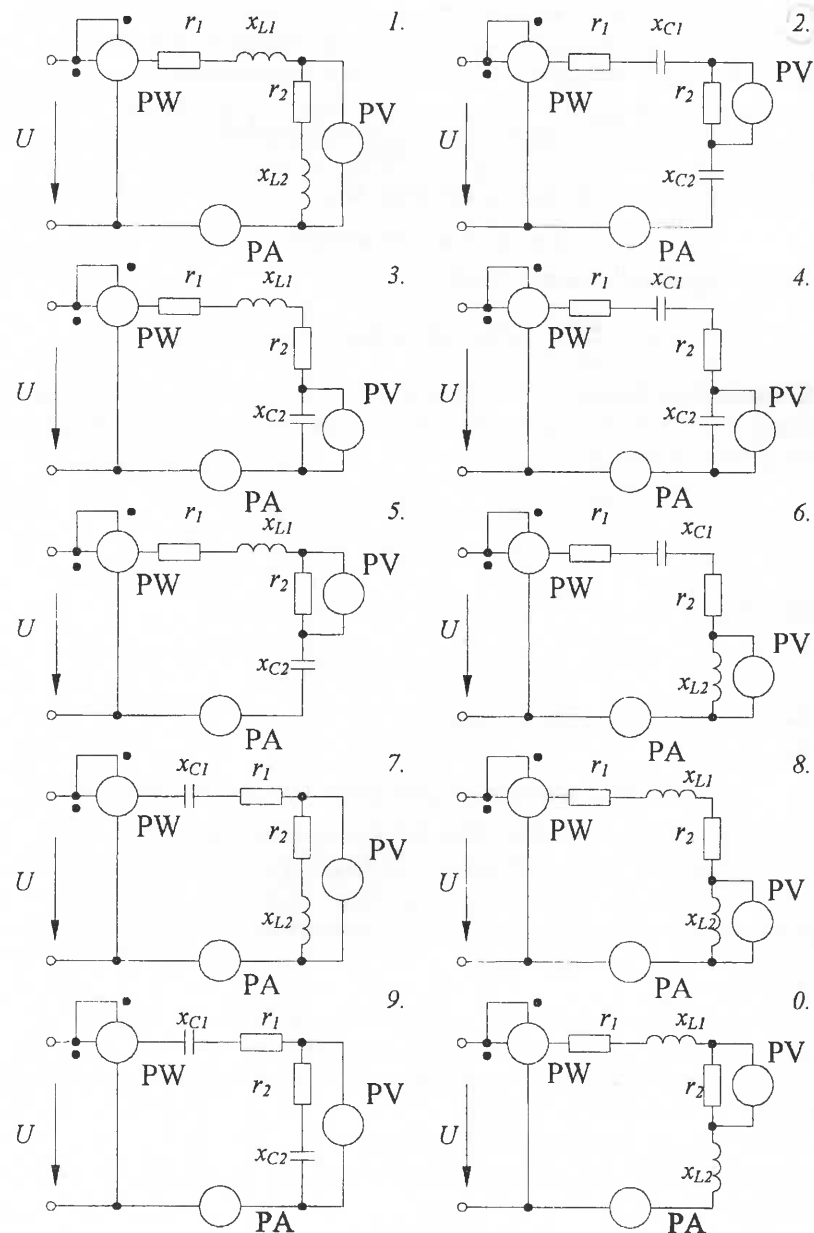


Рис. 3.1. Варианты схем к задаче 3

Таблица 3.1

Вариант	U_m , В	ψ_u , град	r_1 , Ом	x_{L1} , Ом	x_{C1} , Ом	r_2 , Ом	x_{L2} , Ом	x_{C2} , Ом
1	180	30	2	9	10	17	12	12
2	340	-60	8	16	6	4	4	15
3	460	15	4	8	13	6	7	4
4	200	-45	3	15	12	4	11	10
5	300	75	2	13	6	7	15	5
6	260	65	4	11	9	5	3	6
7	160	-30	6	7	10	11	2	14
8	240	-15	10	4	12	12	16	4
9	320	35	7	10	6	5	12	17
0	400	20	7	16	6	6	14	2

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, § 5.1–5.11, 6.1].

Задача 4

Цепь переменного тока с параллельным соединением приемников

На рис. 4.1 изображена цепь переменного тока с параллельным соединением приемников. Значения напряжения U на зажимах цепи, а также значения величин активных r , индуктивных x_L и емкостных x_C сопротивлений приемников приведены в табл. 4.1.

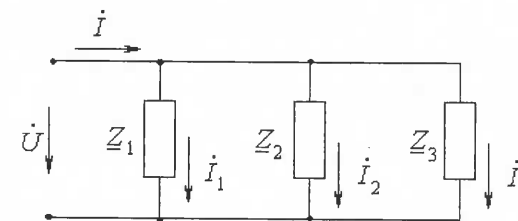


Рис. 4.1. Схема рассматриваемой цепи

Задание:

1. Начертить схему цепи для решаемого варианта.
2. Определить все токи.
3. Построить векторную диаграмму.
4. Сопоставить значение тока I в неразветвленной части цепи, полученное из векторной диаграммы, со значением, полученным расчетом.
5. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью из сети.

Таблица 4.1

Группа	Величина	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	U , В	127	220	150	130	260	200	180	100	160	240
	r_1 , Ом	10	12	9	14	9	5	7	11	13	8
	x_{L1} , Ом	16	11	12	0	16	12	10	0	20	7
	x_{C1} , Ом	7	20	0	10	3	20	0	4	7	20
	r_2 , Ом	8	10	12	9	11	15	14	13	10	12
Б	x_{L2} , Ом	16	0	0	16	8	12	12	10	11	20
	x_{C2} , Ом	16	13	15	0	16	16	10	0	9	13
	r_3 , Ом	12	10	13	14	15	11	9	12	10	8
	x_{L3} , Ом	4	10	13	20	20	0	10	8	20	4
	x_{C3} , Ом	16	10	20	20	12	10	0	20	10	0

Примечание. В табл. 4.1 исходные данные разделены на две группы: А и Б. Номер варианта группы А выбирается по предпоследней цифре, а группы Б — по последней цифре шифра.

Теоретический материал и примеры расчета приведены в: [1, § 4.1–4.12, 5.1–5.9]; [4, § 2.1–2.8, 2.10].

Задача 5

Расчет трехфазной цепи

К трехфазному источнику с линейным напряжением U_L подключена цепь, изображенная на рис. 5.1. Значения линейного напряжения U_L , активных r , индуктивных x_L и емкостных x_C сопротивлений приемников приведены в табл. 5.1.

Задание:

1. При соединении приемников «звездой» определить токи в линейном и нейтральном проводах, а также активную и реактивную мощность, потребляемые цепью в следующих режимах:

- в трехфазном, при симметричной системе напряжений;
- при обрыве одной фазы (см. табл. 4.1);
- при обрыве нейтрального провода и коротком замыкании одной фазы (см. табл. 4.1).

2. Те же элементы включить «треугольником» и определить фазные и линейные токи. Определить значения активной и реактивной мощностей, потребляемых цепью, и сопоставить их с соответствующими значениями, определенными для п. 1, а. Построить топографическую диаграмму напряжений и показать на ней векторы токов.

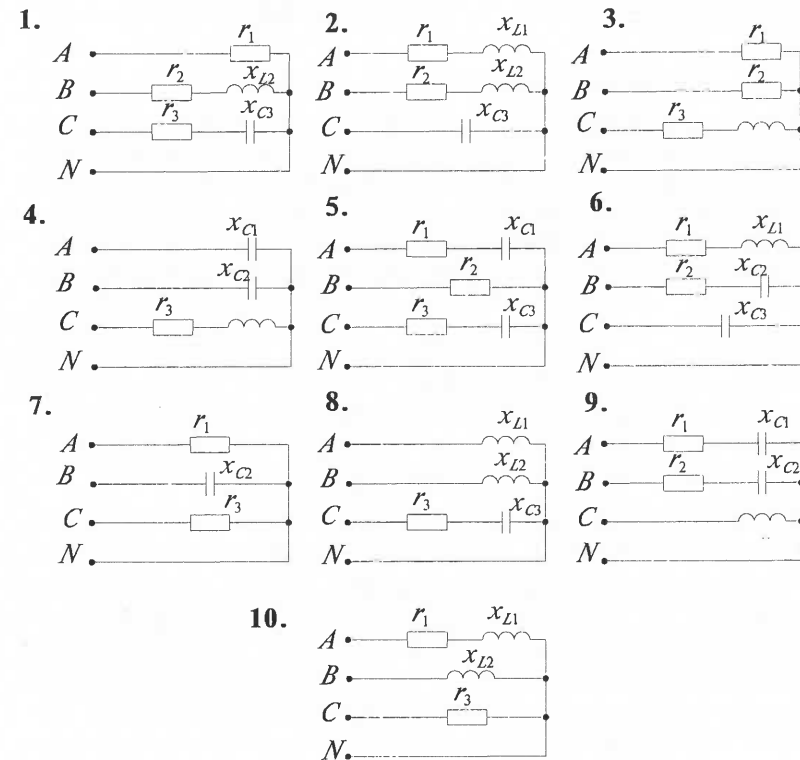


Рис. 5.1. Варианты схем к задаче 5

Таблица 5.1

Вариант	U_n , В	Сопротивления, Ом										Оборвана фаза	К. з. фазы
		r_1	x_{L1}	x_{C1}	r_2	x_{L2}	x_{C2}	r_3	x_{L3}	x_{C3}			
1	220	7	8	12	11	8	7	9	6	4	А	В	
2	380	8	9	6	5	9	4	6	8	9	В	С	
3	380	10	7	3	4	8	9	6	8	7	С	А	
4	220	4	8	7	7	10	5	5	9	4	А	В	
5	220	6	8	5	4	9	11	7	10	6	В	С	
6	380	9	8	7	6	5	4	10	11	12	С	А	
7	220	9	6	8	6	5	5	7	11	4	А	В	
8	380	8	10	6	7	9	4	5	11	12	В	С	
9	220	7	6	5	4	8	9	10	12	9	С	А	
10	380	4	8	6	6	5	9	6	8	10	А	В	

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [2, § 7.1–7.6].

Методические указания к задаче 5

Если фазы приемника соединены «звездой», а сопротивления линейных и нейтрального проводов пренебрежимо малы, то напряжения на фазах приемника равны соответствующим фазным напряжениям источника: $U_a = U_A$; $U_b = U_B$; $U_c = U_C$. Смещение нейтрали отсутствует. Нейтральная точка приемника n совпадает с нейтральной точкой источника N . Расчет токов ведется по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_a}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_b}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_c}.$$

Ток в нейтральном проводе определяется по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

Топографическая диаграмма напряжений строится следующим образом. Выбрав масштаб напряжений m_{U_b} строят равносторонний треугольник линейных напряжений: $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$. Пересечение биссектрис углов треугольника определяет положение (потенциал) нейтрали источника N (приемника n). Векторы фазных напряжений получают, соединив точку N с вершинами A, B, C . Топографическая диаграмма напряжений построена. Затем, задавшись масштабом токов m_I , строят векторы токов. Обычно начала векторов совмещают с точкой n (нейтралью приемника).

На рис. 5.2, б показан вариант векторной диаграммы для трехфазной цепи, изображенной на рис. 5.2, а, с приемниками, соединенными «звездой». Векторная диаграмма построена для случая, когда в фазе a приемник имеет активно-индуктивный характер ($\varphi_a > 0$), в фазе b — активно-емкостный ($\varphi_b < 0$), а в фазе c — чисто активный ($\varphi_c = 0$).

Если нейтральный провод отсутствует (или, например, обрван), то при несимметричной нагрузке симметрия фазных напряжений приемника нарушается. Возникает так называемое смещение нейтрали. Нейтральная точка приемника n смещается относительно нейтральной точки источника N .

Если фазы приемника соединены «треугольником», то напряжения на фазах приемника равны линейным напряжениям источника: $\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}$; $\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}$; $\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA}$. Фазные токи I_{ab}, I_{bc}, I_{ca} определяются по закону Ома:

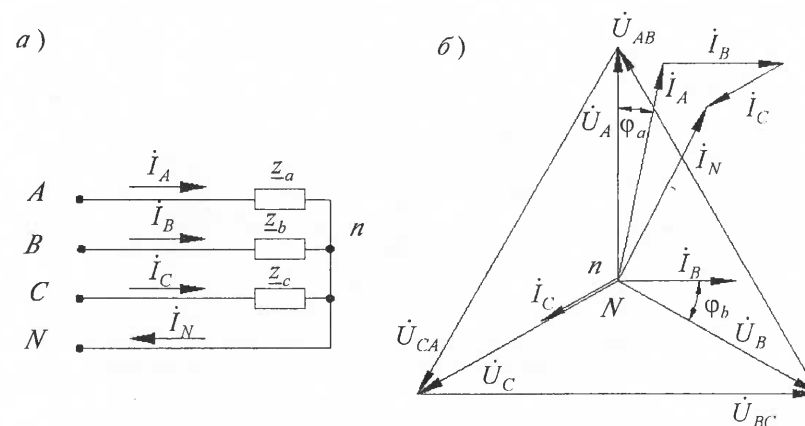


Рис. 5.2. Схема соединения звездой и векторная диаграмма:
а — схема соединения «звездой»; б — векторная диаграмма

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}; \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z_{bc}}; \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z_{ca}}.$$

Построение векторной диаграммы начинают с построения треугольника линейных напряжений. Затем строят векторы фазных токов. Линейные токи определяют на основании первого закона Кирхгофа по векторной диаграмме:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

На рис. 5.3, б показан вариант векторной диаграммы для цепи, изображенной на рис. 5.3, а, с приемниками, соединенными «треугольником». Векторная диаграмма построена для случая, когда в фазе ab приемник имеет чисто активный характер ($\varphi_{ab} = 0$), в фазе bc — активно-емкостный ($\varphi_{bc} < 0$), а в фазе ca — активно-индуктивный ($\varphi_{ca} > 0$).

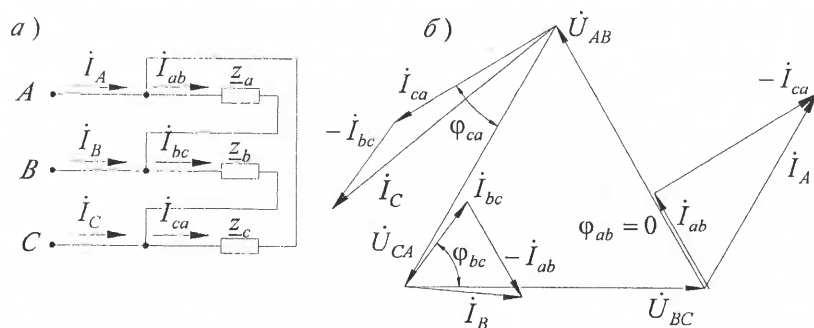


Рис. 5.3. Схема соединения «треугольником» и векторная диаграмма:
а — схема соединения «треугольником»; б — векторная диаграмма

Задача 6

Выбор сечения провода трехфазной цепи

Дана трехфазная четырехпроводная цепь напряжением 380/220 В, питающая силовой распределительный щит стройплощадки. Вид (воздушная, кабельная), протяженность и материал проводов линии, способов прокладки (в воздухе, в земле) кабельной линии, а также характер и мощность приемников электрической энергии приведены в табл. 6.1.

Задание:

Рассчитать сечение проводов или жил кабеля.

Методические указания к задаче 6

1. При расчете сечения проводов и жил кабелей следует учитывать:

- нагрев рабочим (расчетным) током;
- потери напряжения в жилах кабеля или проводах воздушной линии;
- механическую прочность, устойчивость к механической нагрузке.

2. Температура нагрева жил кабеля, а следовательно, и расчетный ток ограничиваются допустимой для изоляции жил кабеля. Сечение жил кабеля выбирается по таблицам ПУЭ (см. приложение) по значению расчетного тока.

Допустимая температура нагрева проводов воздушной линии определяется их механической прочностью. Сечение проводов также выбирается по таблицам ПУЭ (см. приложение) по значению расчетного тока.

Таблица 6.1

Группа	Вариант	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
А	Вид линии	Воздушная	Кабельная, в земле	Кабельная, в воздухе	Воздушная	Кабельная, в земле	Кабельная, в воздухе	Воздушная	Кабельная, в земле	Кабельная, в воздухе	Воздушная
	Материал проводов и жил кабеля	Алюминий	Алюминий	Медь	Алюминий	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Алюминий
	Протяженность, м	135	125	135	150	120	150	130	85	75	140
Б	Мощность асинхронных короткозамкнутых двигателей ($\cos \varphi_{\text{ср}} = 0,8$), кВт	65	60	80	65	85	70	55	70	80	60
	Мощность осветительной нагрузки (симметричной, $\cos \varphi_{\text{ср}} = 1$), кВт	23	31	27	36	34	32	28	25	30	20

Примечание. В табл. 6.1 исходные данные разделены на две группы: А и Б. Номер варианта группы А выбирается по предпоследней цифре, а группы Б — по последней цифре шифра.

3. Под потерей напряжения ΔU понимают разность напряжений (действующих значений) в начале и конце линии:

$$\Delta U = U_1 - U_2.$$

Работа приемников электрической энергии (источников света, электродвигателей и т.д.) зависит от качества электрической энергии, в частности от величины подводимого к ним напряжения. Так как при прохождении тока в линии имеют место потери напряжения, то введены ограничения на отклонения величины напряжения от номинального в начале линии (со стороны источника энергии) и в конце линии.

ГОСТ 13109-67 на качество электрической энергии допускает отклонение напряжения на зажимах приборов рабочего освещения $-2,5...+5\%$ номинального, а на зажимах электродвигателей и аппаратов $-5...+10\%$ от номинального.

Потери напряжения зависят от сечения проводов. Поэтому при расчете линии, выборе сечения проводов и жил кабеля необходимо учитывать допустимые потери напряжения.

Рассмотрим линию, нагруженную на конце. На рис. 6.1, а показана схема замещения линии, а на рис. 6.1, б — принципиальная схема. U_1 и U_2 — напряжения в начале и конце линии; r и X_L — активное и индуктивное сопротивления линии; $P_{\text{пр}}$ — активная мощность и $\cos \varphi_{\text{пр}}$ — коэффициент мощности приемника (потребителя) электрической энергии.

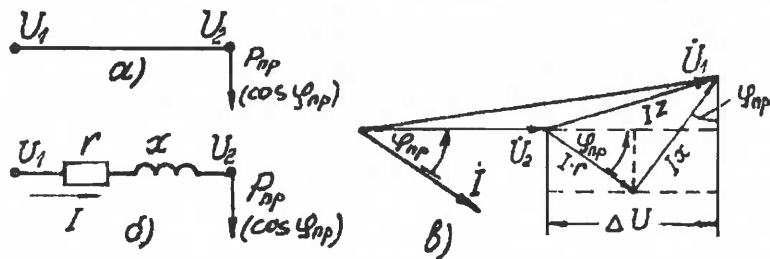


Рис. 6.1. Схемы и векторная диаграмма линии: а — схема электрическая принципиальная; б — схема замещения; в — векторная диаграмма

На рис. 6.1, в показана векторная диаграмма линии, нагруженной на приемник индуктивного характера. Угол между векторами U_1 и U_2 обычно достаточно мал. Поэтому без большой погрешности можно считать, что длина вектора U_1 равна длине проекции этого вектора на направление вектора U_2 . Тогда потеря напряжения, как это видно из векторной диаграммы, может быть определена из выражения:

$$\Delta U = I(r \cos \varphi_{\text{пр}} + x \sin \varphi_{\text{пр}}).$$

Для трехфазной линии потеря напряжения (линейного) определяется как

$$\Delta U = \sqrt{3} I (r \cos \varphi_{\text{пр}} + x \sin \varphi_{\text{пр}})$$

или

$$\Delta U = \sqrt{3} l (r_0 \cos \varphi_{\text{пр}} + x_0 \sin \varphi_{\text{пр}}),$$

где l — длина линии, км; r_0 и x_0 — активное и реактивное сопротивление 1 км провода линии, Ом/км.

Величина r_0 приблизительно равна

$$r_0 = \frac{1000 \rho}{S},$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление материала провода, Ом · мм²/м (для меди $\rho = 0,0175$ Ом · мм²/м, для алюминия $\rho = 0,0283$ Ом · мм²/м); S — площадь поперечного сечения провода, мм².

Индуктивное сопротивление воздушных линий напряжением до 10 кВ с медными и алюминиевыми проводами лежит в пределах $x_0 = 0,35...0,4$ Ом/км.

Для кабельных линий напряжения до 10 кВ $x_0 = 0,07...0,08$ Ом/км.

Потеря напряжения, выраженная в процентах от номинального, для трехфазной системы

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} l}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{\text{пр}} + x_0 \sin \varphi_{\text{пр}}) \cdot 100\%.$$

Учитывая, что номинальная полная мощность трехфазного приемника

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{3} I U_n,$$

получим

$$\Delta U\% = \frac{S_{\text{пр}} l}{U_n^2} (r_0 \cos \varphi_{\text{пр}} + x_0 \sin \varphi_{\text{пр}}) \cdot 100\%.$$

Так как $S_{\text{пр}} \cos \varphi_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}$, а $S_{\text{пр}} \sin \varphi_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}}$, то предыдущая формула может быть записана так:

$$\Delta U\% = \frac{10^5 l}{U_n^2} (P_{\text{пр}} r_0 + Q_{\text{пр}} x_0).$$

где U_n — номинальное линейное напряжение, В; P_{np} и Q_{np} — активная и реактивная мощность приемника в кВт и кВАр.

По предыдущей формуле можно определить потерю напряжения в линии, если известно сечение проводов. Учитывая соотношение $\rho = \rho_{1000} / S$, предыдущую формулу можно преобразовать так, чтобы по заданной потере напряжения определить необходимое сечение проводов:

$$S = \frac{1000 P_{np} \rho}{\frac{\Delta U \% U_n^2}{10^5 l} - Q_{np} x_0}.$$

Если в конце линии включены не один, а несколько приемников, имеющих различный коэффициент мощности, то

$$P_{np} = \sum_{k=1}^n P_k; \quad Q_{np} = \sum_{k=1}^n Q_k.$$

$$\cos \varphi_{np} = \cos \arctg \frac{Q_{np}}{P_{np}}.$$

4. Необходимая механическая прочность жил кабеля определяется механической нагрузкой на жилы и оболочку кабеля от собственного веса кабеля при его прокладке, протяжке и подвеске. Эти нагрузки учитываются при проектировании кабеля и в справочных таблицах ПУЭ (см. приложение) приводятся сечения, удовлетворяющие требованиям механической прочности.

Механическая прочность проводов рассчитывается при проектировании воздушных линий. Сечение проводов воздушных линий выбирается в зависимости от собственной массы, а также от силы ветра и массы гололеда, возможных в данном географическом районе.

При решении задачи 6 считается, что в таблицах (см. приложение) приведены сечения проводов, удовлетворяющие требованиям механической прочности.

5. Выбор сечения жил кабеля и проводов линии производится в следующем порядке.

По активной мощности и коэффициенту мощности определяется реактивная мощность каждого приемника $Q_k = P_k \operatorname{tg} \varphi_k$.

Затем определяется полная мощность всей нагрузки

$$S_{np} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^m P_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m Q_k \right)^2}$$

и расчетный ток

$$I_p = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} U_n}.$$

По таблицам (см. приложение) выбирается стандартное сечение, соответствующее ближайшему большему току. После этого линия с проводами, сечение которого выбрано по доступному нагреву расчетным током, проверяется по потере напряжения. Если значение потери напряжения лежит в пределах допустимого, то выбранное сечение принимается. Если же потеря напряжения выше допустимой, то определяется сечение проводов (жил кабеля) по допустимой потере напряжения и по таблицам (см. приложение) выбирается ближайшее большее стандартное сечение.

Приложение

ДОПУСТИМЫЕ ДЛИТЕЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ НАГРУЗКИ
НА ПРОВОДА И КАБЕЛИ

Таблица П.1

Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающими массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки					
	Одножильные кабели до 1 кВ	Двухжильные кабели до 1 кВ	Трехжильные кабели			Четырехжильные кабели до 1 кВ
			До 3 кВ	До 6 кВ	До 10 кВ	
2,5	—	45	40	—	—	—
4	80	60	55	—	—	50
6	105	80	70	—	—	60
10	140	105	95	80	—	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	—	490	440	400	450
240	880	—	570	510	460	—
300	1000	—	—	—	—	—
400	1220	—	—	—	—	—
500	1400	—	—	—	—	—
625	1520	—	—	—	—	—
800	1700	—	—	—	—	—

Таблица П.2

Кабели с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающими массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки					
	Одножильные кабели до 1 кВ	Двухжильные кабели до 1 кВ	Трехжильные кабели			Четырехжильные кабели до 1 кВ
			До 3 кВ	До 6 кВ	До 10 кВ	
2,5	—	35	31	—	—	—
4	60	46	42	—	—	38
6	80	60	55	—	—	46
10	110	80	75	60	—	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270
150	520	385	335	300	275	305
185	580	—	380	340	310	345
240	675	—	440	390	355	—
300	770	—	—	—	—	—
400	940	—	—	—	—	—
500	1080	—	—	—	—	—
625	1170	—	—	—	—	—
800	1310	—	—	—	—	—

Таблица П.3

Кабели с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающими массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки					
	Одножильные кабели до 1 кВ	Двухжильные кабели до 1 кВ	Трехжильные кабели			Четырехжильные кабели до 1 кВ
			До 3 кВ	До 6 кВ	До 10 кВ	
2,5	31	23	22	—	—	—
4	42	31	29	—	—	27
6	55	42	35	—	—	35
10	75	55	46	42	—	45
16	90	75	60	50	46	60
25	125	100	80	70	65	75
35	155	115	95	85	80	95
50	190	140	120	110	105	110
70	235	175	155	135	130	140
95	275	210	190	165	155	165
120	320	245	220	190	185	200
150	360	290	255	225	210	230
185	405	—	290	250	235	260
240	470	—	330	290	270	—
300	555	—	—	—	—	—
400	675	—	—	—	—	—
500	785	—	—	—	—	—
625	910	—	—	—	—	—
800	1080	—	—	—	—	—

Таблица П.4

Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающими массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки					
	Одножильные кабели до 1 кВ	Двухжильные кабели до 1 кВ	Трехжильные кабели			Четырехжильные кабели до 1 кВ
			До 3 кВ	До 6 кВ	До 10 кВ	
2,5	40	30	28	—	—	—
4	55	40	37	—	—	35
6	75	55	45	—	—	45
10	95	75	60	55	—	60
16	120	95	80	65	60	80
25	160	130	105	90	85	100
35	200	150	125	110	105	120
50	245	185	155	145	135	145
70	305	225	200	175	165	185
95	360	275	245	215	200	215
120	415	320	285	250	240	260
150	470	375	330	290	270	300
185	525	—	375	325	305	340
240	610	—	430	375	350	—
300	720	—	—	—	—	—
400	880	—	—	—	—	—
500	1020	—	—	—	—	—
625	1180	—	—	—	—	—
800	1400	—	—	—	—	—

Таблица П.5
Допустимые длительные токовые нагрузки (по нагреву) на голые медные, алюминиевые, сталеалюминиевые провода по ГОСТ 839-80 (допустимый нагрев +70°C при температуре воздуха +25°C)

Медные				Алюминиевые				Сталеалюминиевые			
Марка провода	Токовая нагрузка, А		Марка провода	Токовая нагрузка, А		Марка провода	Токовая нагрузка, А		Марка провода	Токовая нагрузка, А	
	Вне помещений	Внутри помещений		Вне помещений	Внутри помещений		Вне помещений	Внутри помещений		Вне помещений	Внутри помещений
М-4	50	25	А-16	105	75	АС-10	80	50	АСО-150	450	365
М-6	70	35	А-25	135	105	АС-16	105	75	АСО-185	505	420
М-10	95	60	А-35	170	130	АС-25	130	100	АСО-240	605	505
М-16	130	100	А-50	215	165	АС-35	175	135	АСО-300	690	580
М-25	180	135	А-70	265	210	АС-50	210	165	АСО-400	825	710
М-35	220	170	А-95	320	255	АС-70	265	210	АСО-500	945	815
М-50	270	215	А-120	375	300	АС-95	330	260	АСО-600	1050	920
М-70	340	270	А-150	440	355	АС-120	380	305	АСО-700	1220	1073
М-95	415	335	А-185	500	410	АС-150	445	365	АСУ-120	375	—
М-120	485	395	А-240	590	490	АС-185	510	425	АСУ-150	450	—
М-150	570	465	А-300	680	570	АС-240	610	505	АСУ-185	515	—
М-185	640	530	А-400	815	690	АС-300	690	585	АСУ-240	610	—
М-240	760	685	А-500	980	820	АС-400	835	715	АСУ-300	705	—
М-300	880	740	А-600	930					АСУ-400	850	
М-400	1050	895									

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие методические указания	3
Требования, предъявляемые к оформлению контрольных работ	3
Рекомендуемая литература	4
Задание к контрольной работе	5
Приложение. Допустимые длительные токовые нагрузки на провода и кабели	22

Учебное издание

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания и задания для выполнения контрольной работы для студентов III курса специальностей 270201 — МТ, 270112 — ВВ, 270102 — ПГС, 270204 — СЖД

Составители *Меньщикова Татьяна Даниловна*
Назарова Наталия Петровна

Редактор *И.В. Васильева*
Компьютерная верстка *Т.А. Соловьева*

Изд. лиц. ЛР № 021277 от 06.04.98.
Подписано в печать 30.01.07.
1,75 печ. л. 1,5 уч.-изд. л. Тираж 150 экз. Заказ № 1485

Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения
630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191
Тел. (383) 228-73-81 E-mail: press@stu.ru