

*Инициалы*  
*№ 11*

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
ВСЕРОССИЙСКИЙ ЗАОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

*88* *Уч. зав. 11* *Землин*

Одобрено кафедрой  
Электротехники

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Задание на контрольную работу № 2  
с методическими указаниями  
для студентов III курса

специальностей

1004. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

1709. ЛОКОМОТИВЫ

2102. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Москва — 1992

Рецензент:

канд. техн. наук, доц. **Г. И. ГАТАЛЬСКИЙ**

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Вторая контрольная работа предусматривает выполнение студентами двух задач:

1. Расчет несимметричной трехфазной цепи.
2. Расчет линейного пассивного четырехполюсника.

Контрольные задания имеют 100 вариантов. Варианты одного и того же задания отличаются друг от друга схемами и числовыми значениями заданных величин. Исходные расчетные данные к задачам определяют по двум последним цифрам шифра студента: по предпоследней цифре выбирают номер схемы, а по последней — номер строки в таблице.

Указания к выполнению и оформлению контрольных работ изложены в рабочей программе курса теоретических основ электротехники. Студенты-заочники обязаны тщательно изучить все материалы этого пособия, соблюдать изложенные в нем требования при выполнении и оформлении контрольных работ.

## Список рекомендуемой литературы

1. Теоретические основы электротехники. Т. I / Под ред. П. А. Ионкина. М.: Высшая школа, 1976.
2. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. М.: Энергия, 1975.
3. Нейман Л. Р., Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники. Т. I, М.: Энергия, 1975.
4. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч. I. М.: Энергия, 1978.
5. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1978.
6. Каплянский А. Е., Лысенко А. П., Полотовский Л. С. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1972.
7. Поливанов К. М. Теоретические основы электротехники. Ч. I. М.: Энергия, 1972.
8. Бессонов Л. А. и др. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. М.: Высшая школа, 1975.
9. Шебес М. Р. Теория линейных электрических цепей в упражнениях и задачах. М.: Высшая школа, 1967.
10. Гольдин О. Е., Каплянский А. Е., Полотовский Л. С. Программированное изучение теоретических основ электротехники. М.: Высшая школа, 1978.
11. Матханов П. Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи. М.: Высшая школа, 1981.
12. Матханов П. Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи. М.: Высшая школа, 1977.

© Всероссийский заочный институт инженеров  
железнодорожного транспорта, 1992

## ЗАДАЧА № 1

### РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

На рис. 1, а, б, в представлена схема несимметричной трехфазной цепи с симметричными фазными ЭДС. Численные значения ЭДС и комплексы полных сопротивлений заданы в табл. 1. Внутренними сопротивлениями источника пренебречь.

Таблица 1

Номер строки	$E_{\phi},$ В	$Z_{л},$ Ом	$Z_1,$ Ом	$Z_2,$ Ом	$Z_3,$ Ом	$Z_4,$ Ом	$Z_5,$ Ом
1	220	$2+j2$	$10+j10$	$15-j10$	$10+j14$	$13+j5$	$15+j20$
2	380	$2+j3$	$15-j10$	$10+j12$	$10+j10$	$10+j5$	$15-j8$
3	127	$2+j4$	$12+j14$	$16+j20$	$16+j20$	$13+j14$	$15-j10$
4	120	$2+j5$	$10+j14$	$10+j14$	$15-j10$	$12+j15$	$16+j20$
5	220	$3+j2$	$15+j20$	$12+j15$	$15+j20$	$13+j13$	$10+j10$
6	380	$3+j4$	$15-j8$	$15-j8$	$10+j12$	$14+j6$	$10+j14$
7	127	$4+j4$	$10+j12$	$10-j18$	$12+j14$	$14+j14$	$12+j14$
8	120	$3+j3$	$10-j18$	$10+j10$	$10-j18$	$13+j16$	$10+j12$
9	380	$4+j5$	$16+j20$	$15+j20$	$15-j8$	$13+j12$	$12+j15$
0	220	$3+j5$	$10+j15$	$20+j14$	$12+j15$	$16+j12$	$10-j18$

#### Требуется:

1. Определить токи и напряжения на всех участках схемы.
2. Составить баланс активных мощностей.
3. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.

Ж. Разложить полученную систему токов генератора на симметричные составляющие аналитически и графически.

Примечание. 4-й пункт задачи выполняют только студенты специальностей ЭНС и ЭПС.

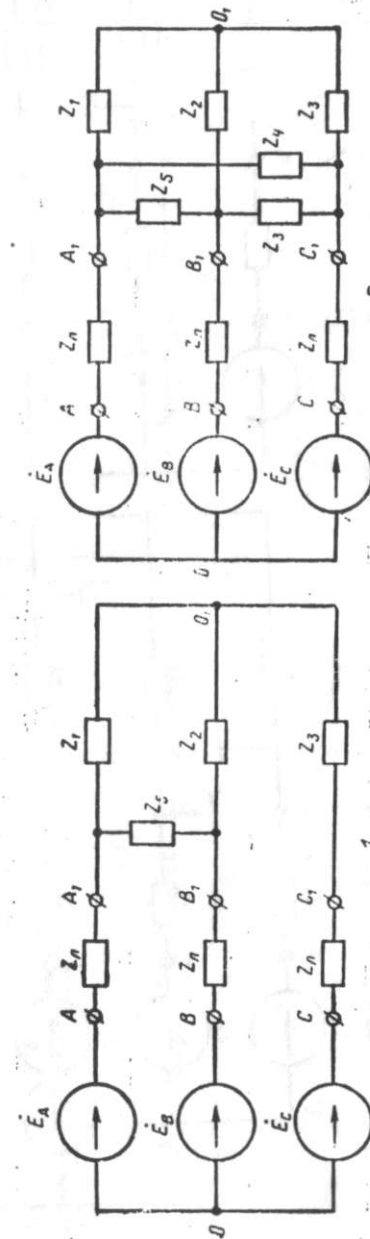


Рис. 1, а

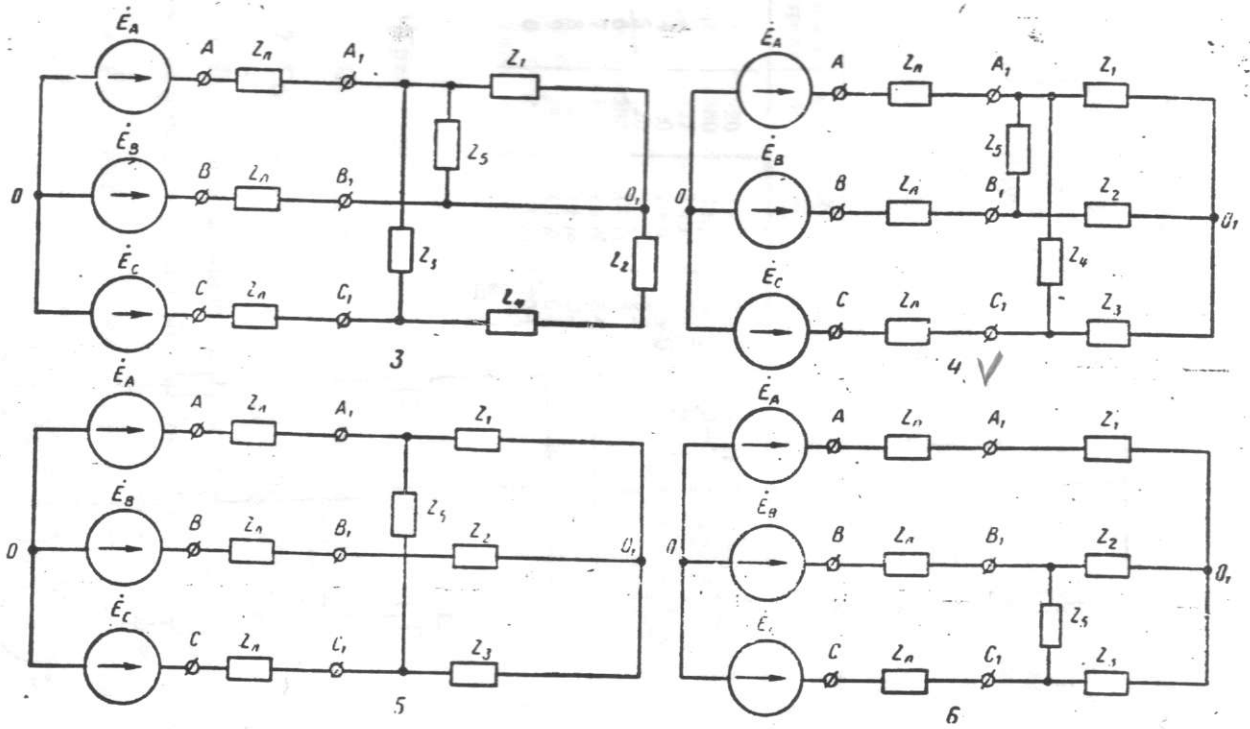


Рис. 1,б

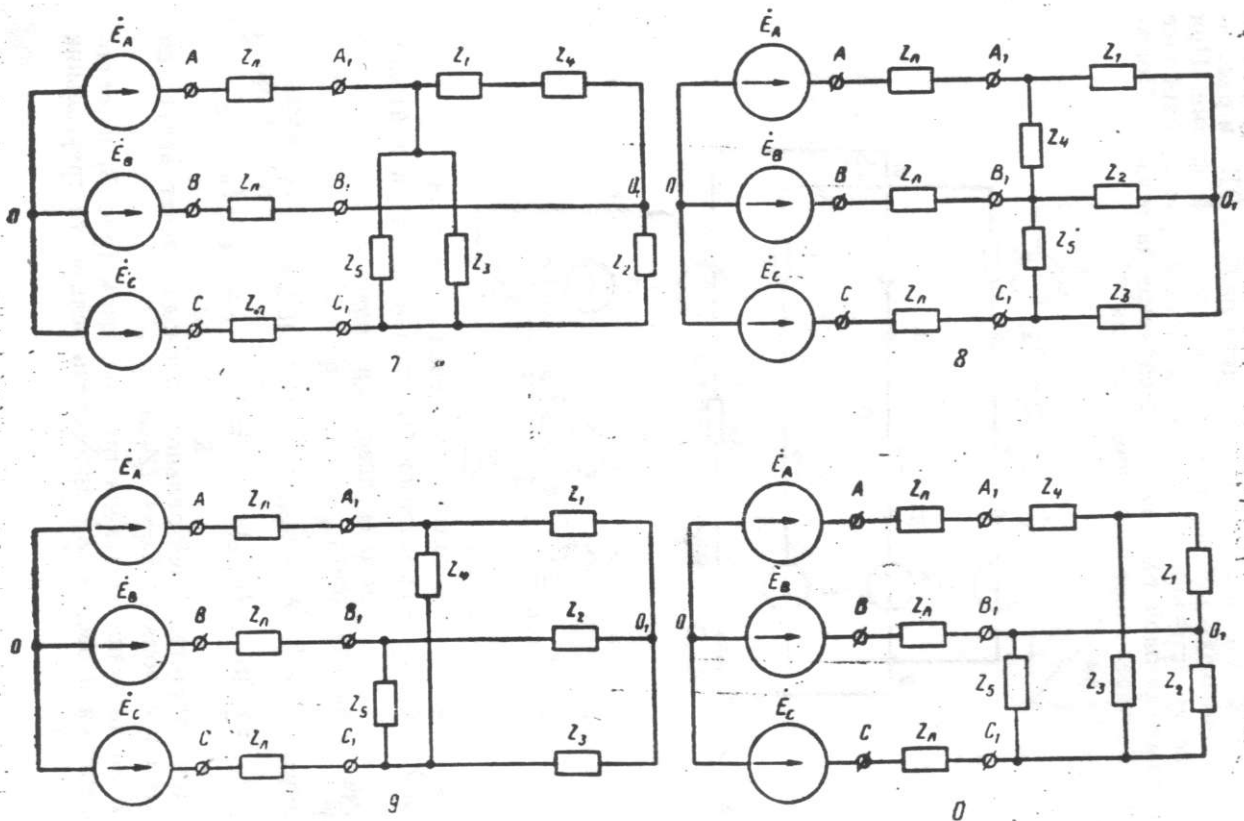


Рис. 1,в

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Несимметричную трехфазную цепь со статическими нагрузками (без вращающихся машин) можно рассматривать как сложную цепь с несколькими источниками ЭДС и рассчитать, используя общие методы в комплексной форме. При соединении источника и приемника звездой (рис. 2) наиболее удобным методом расчета является метод двух узлов. Прежде всего определяют смещение нейтрали

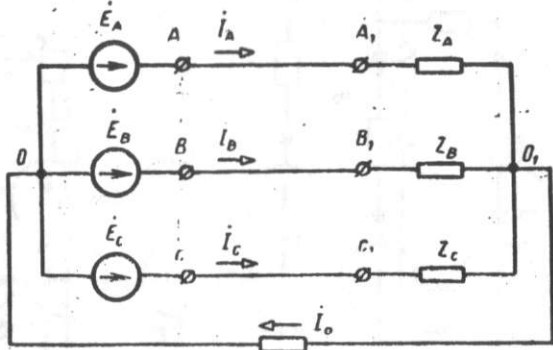


Рис. 2

$$\dot{U}_{O_1, O} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_A + \dot{U}_B \underline{Y}_B + \dot{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_0}$$

где  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  — фазные напряжения генератора;  
 $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C, \underline{Y}_0$  — проводимости отдельных фаз и нейтрального (нулевого) провода.

Затем находят токи:

$$\begin{aligned} i_A &= \underline{Y}_A (\dot{U}_A - \dot{U}_{O_1, O}), & i_B &= \underline{Y}_B (\dot{U}_B - \dot{U}_{O_1, O}), \\ i_C &= \underline{Y}_C (\dot{U}_C - \dot{U}_{O_1, O}); & i_0 &= \underline{Y}_0 \dot{U}_{O_1, O} = i_A + i_B + i_C. \end{aligned}$$

При отсутствии нейтрального провода расчет ведут тем же методом, полагая  $\underline{Y}_0 = 0$  ( $Z_0 = \infty$ ).

Если нагрузка соединена треугольником (рис. 3) и сопротивлениями проводов  $\underline{Z}_A$  пренебречь нельзя, то треугольник

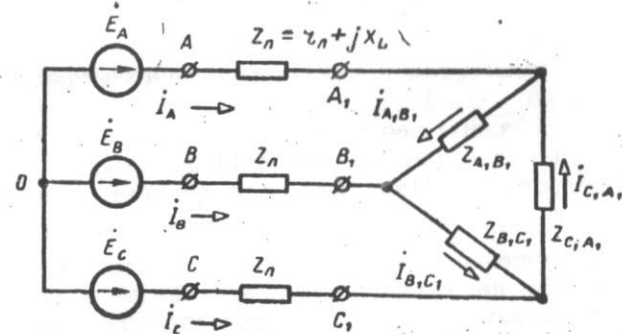


Рис. 3

$\underline{Z}_{A_1, B_1}, \underline{Z}_{B_1, C_1}, \underline{Z}_{C_1, A_1}$  преобразуют в эквивалентную звезду  $\underline{Z}_{A_1}, \underline{Z}_{B_1}, \underline{Z}_{C_1}$  (рис. 4).

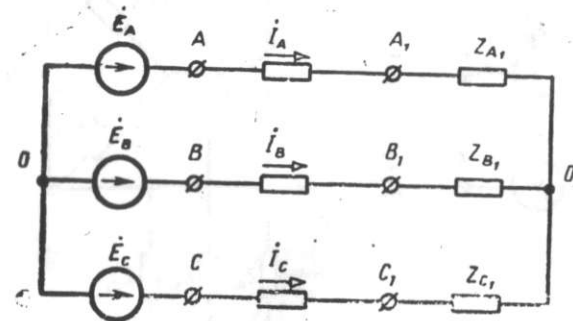


Рис. 4

Складывая сопротивления этой звезды с сопротивлениями проводов, получают рассмотренную выше схему (рис. 2). После определения токов  $i_A, i_B, i_C$  находят линейные напряжения:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A_1, B_1} &= i_A \underline{Z}_{A_1} - i_B \underline{Z}_{B_1}; \\ \dot{U}_{B_1, C_1} &= i_B \underline{Z}_{B_1} - i_C \underline{Z}_{C_1}; \\ \dot{U}_{C_1, A_1} &= i_C \underline{Z}_{C_1} - i_A \underline{Z}_{A_1}. \end{aligned}$$

Затем возвращаются к исходному треугольнику (рис. 3), чтобы определить его фазные токи.

Расчет трехфазных цепей при смешанном соединении приемников с учетом сопротивлений проводов выполняют методом преобразования. Например, при расчете цепи (рис. 5) звезду  $Z_{A_1}, Z_{B_1}, Z_{C_1}$  преобразуют в эквивалентный треугольник, затем сложением соответствующих проводимостей определяют общую проводимость каждой фазы и приходят к одному эквивалентному треугольнику. Преобразовав этот треугольник в эквивалентную звезду и прибавив к сопротивлениям эквивалентной звезды сопротивления проводов, получают схему с двумя узлами (рис. 2).

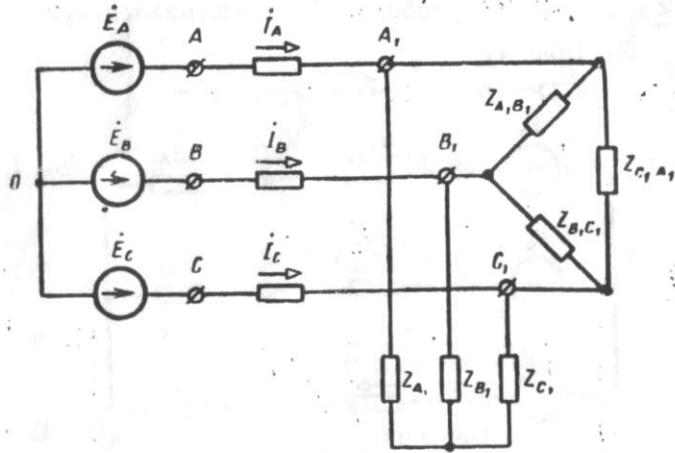


Рис. 5

Распределение напряжений между различными точками трехфазной цепи наглядно иллюстрирует топографическая диаграмма.

Построим качественно векторную диаграмму токов (рис. 6, а) и топографическую диаграмму напряжений (рис. 6, б) для схемы, представленной на рис. 3.

На векторной диаграмме токов отложим векторы фазных и линейных токов:

$$i_{A_1 B_1} = I_{A_1 B_1} e^{j\psi_1}; \quad i_{B_1 C_1} = I_{B_1 C_1} e^{j\psi_2}; \quad i_{C_1 A_1} = I_{C_1 A_1} e^{j\psi_3};$$

$$i_A = i_{A_1 B_1} - i_{C_1 A_1}; \quad i_B = i_{B_1 C_1} - i_{A_1 B_1}; \quad i_C = i_{C_1 A_1} - i_{B_1 C_1}.$$

Примем потенциал точки  $C_1$  равным нулю ( $\varphi_{C_1} = 0$ ) и определим потенциалы остальных точек. Будем обходить схему, начиная от точки  $C_1$ , навстречу положительному направлению токов  $i_{B_1 C_1}, i_{A_1 B_1}, i_{C_1 A_1}$ .

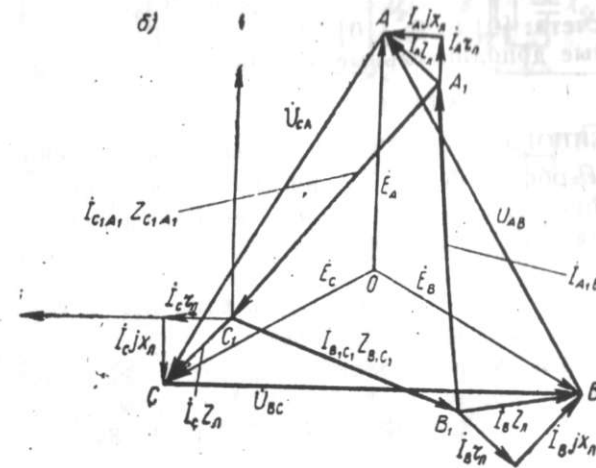
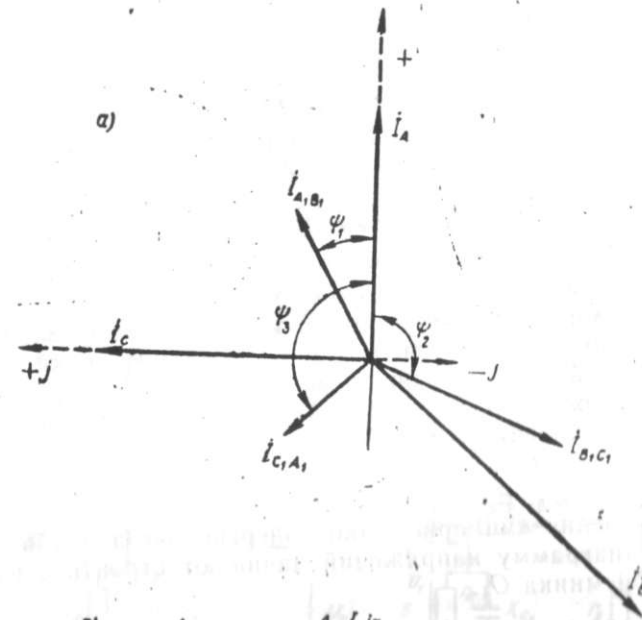


Рис. 6

Потенциал точки  $B_1$

$$\Phi_{B_1} = \Phi_{C_1} + I_{B_1 C_1} Z_{B_1 C_1}$$

Так как  $\Phi_{C_1} = 0$ , то потенциал  $\Phi_{B_1}$  изобразим вектором  $I_{B_1 C_1} Z_{B_1 C_1}$ . Конец этого вектора обозначим буквой  $B_1$ . Откладывая вектор  $I_{A_1 B_1} Z_{A_1 B_1}$  из точки  $B_1$ , получим точку  $A_1$ . Из точки  $A_1$  откладываем вектор  $I_{C_1 A_1} Z_{C_1 A_1}$ , конец которого обозначим буквой  $C_1$ . Сумма линейных напряжений вдоль замкнутого контура

$$\dot{U}_{A_1 B_1} + \dot{U}_{B_1 C_1} + \dot{U}_{C_1 A_1} = 0.$$

Из точки  $A_1$  строим векторы напряжений  $I_A r_L$  и  $I_A jx_L$ . Конец вектора  $I_A jx_L$  обозначим буквой  $A$ , так как он определяет комплексный потенциал точки  $A$  трехфазной цепи. Аналогично находим точки  $B$  и  $C$ . Соединив точки  $A, B, C$  между собой, получим линейные напряжения генератора.

Центр полученного треугольника обозначим буквой  $O$ , так как он определяет потенциал нулевой точки генератора. Соединив точку  $O$  с точками  $A, B, C$ , получим фазные ЭДС генератора  $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ .

При соединении приемников энергии звездой топографическую диаграмму напряжений начинают строить с нулевой точки приемника  $O_1$ .

Примеры расчета: [9] 6.20; [10] 71.6.

Рекомендуемые дополнительные задачи: [8] 7.12; 7.13.

#### ЗАДАЧА № 2

##### РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОГО ПАССИВНОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

Дан  $T$ - или  $\Pi$ -образный симметричный четырехполюсник, схема которого представлена на рис. 7, а величины сопротивлений при частоте 50 Гц — в табл. 2.

Требуется:

1. Определить сопротивление холостого хода  $Z_{xx}$  и короткого замыкания  $Z_{кз}$  четырехполюсника.
2. По найденным сопротивлениям найти коэффициенты четырехполюсника в форме  $A$  (т. е. коэффициенты  $A, B, C, D$  или  $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ ) и проверить соотношение между ними ( $AD - BC = 1$ ).
3. Определить напряжение  $U_2$ , токи  $I_1$  и  $I_2$ , мощности  $P_1$  и  $P_2$  и КПД  $\eta$  четырехполюсника при значениях напряжения  $U_1$  и активном сопротивлении нагрузки  $r_n$  (подключено к клеммам 2—2'), указанным в табл. 2.

4. Определить: а) характеристическое сопротивление  $Z_c$  четырехполюсника и проверить его расчетом, приняв сопротивление нагрузки  $Z_n = Z_c$ , б) постоянную передачи  $g$  четырехполюсника.

Примечание. 4-й пункт задачи выполняют только студенты специальности АТС.

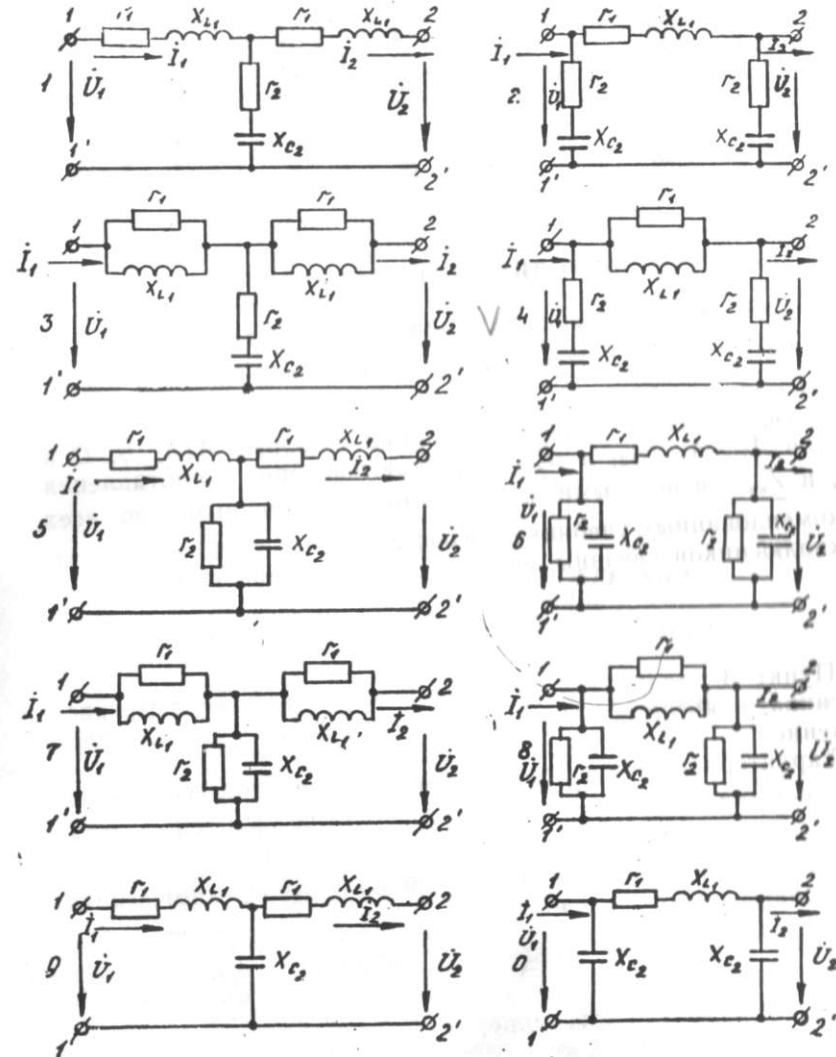


Рис. 7

Таблица 2

Номер строки	$U_1$ , В	$r_1$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$r_2$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	$r_n$ , Ом
1	380	12	9	18	20	10
2	220	14	6	16	14	35
3	127	6	12	14	20	14
4	220	14	8	11	18	20
5	380	12	14	18	20	45
6	250	10	18	20	25	40
7	220	8	12	22	30	15
8	250	10	10	16	18	30
9	127	8	6	12	18	25
0	380	15	15	15	30	22

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сопротивления холостого хода  $Z_{xx}$  и короткого замыкания  $Z_{кз}$  четырехполюсников легко определяются методом преобразования цепей.

Коэффициенты четырехполюсника в форме  $A$  ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  или  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{21}$  и  $A_{22}$ ) выражаются через сопротивления  $Z_{xx}$  и  $Z_{кз}$  известными формулами, приведенными во всех рекомендованных учебниках. Коэффициенты обратимых четырехполюсников связаны между собой соотношением

$$AD - BC = 1.$$

Пункт 3 задачи выполняется по уравнениям четырехполюсника, в которых ток  $I_2$  выражается через выходное напряжение.

Характеристическое сопротивление легко определяется через сопротивления  $Z_{xx}$  и  $Z_{кз}$  или через коэффициенты четырехполюсника  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ .

Постоянная передачи симметричного четырехполюсника определяется по формуле

$$g = a + jb = \ln(A + \sqrt{BC}),$$

где  $a$  — собственное затухание;

$b$  — коэффициент фазы.

Примеры расчета: [5] 49, 50; [9] 10.1; 10.3.

Рекомендуемые дополнительные задачи: [9] 10.2.