

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**  
**ОП.04 «Электротехника и электронная техника»**

**35.02.07 «Механизация сельского хозяйства»**

Преподаватель: Архангельская Н.А.

Грязовец

2018 г.

**РАССМОТРЕНО**

на заседании цикловой комиссии  
по общепрофессиональным дисциплинам  
и профессиональным модулям отделения  
«Механизация сельского хозяйства»

Протокол № 1


от « 29 » августа 2018 г.

Председатель ЦК

 Е.В. Зиновьева

**СОГЛАСОВАНО**

Зам директора по ОМР

 Е.А. Ткаченко

« 29 » августа 2018 г.

### Пояснительная записка

Пакет практических работ разработан на основании программы учебной дисциплины «Электротехника и электронная техника» по специальности 35.02.07. «Механизация сельского хозяйства». Количество часов на практические работы-32 часа

При изучении дисциплины «Электротехника и электронная техника» следует постоянно обращать внимание на необходимость выполнения практических работ, т.к. практические навыки могут быть использованы в будущей практической деятельности.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**уметь:**

- выбирать электрические, электронные приборы и электрооборудование;
- правильно эксплуатировать электрооборудование аппаратов;
- производить расчеты простых электрических цепей;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем;
- снимать показания и пользоваться электрическими приборами и приспособлениями.

Практические занятия проводятся в группе. Студенты работают индивидуально по инструкционной карте. Практические работы рассчитаны на 2 часа

#### Перечень практических работ и отработанных компетенций по дисциплине «Электротехника и электронная техника» в соответствии с паспортом КОС

№ п/п	Темы практических работ	компетенции
1	Расчет электростатической цепи при смешанном соединении конденсаторов.	ПК 1.1 – 1.6
2	Расчет электрической цепи постоянного тока при смешанном соединении сопротивлений	ПК.1.1 – 6.6
3	Расчет сложной электрической цепи постоянного тока.	ПК 1.1- 1.6
4	Расчет магнитных цепей	ПК 2.1- 2.4
5	Расчет неразветвленной цепи переменного синусоидального тока.	ПК 3.1- 3.4.
6	Расчет разветвленной цепи переменного синусоидального тока.	ПК 3.1 -3.4
7	Расчет несимметричной трехфазной цепи при соединении нагрузки в «звезду» с нулевым проводом.	ПК 3.1- 3.4
8	Расчет несимметричной трехфазной цепи при соединении нагрузки в «треугольник».	ПК3.1 – 3.4
9	Расчет однофазных и трехфазных трансформаторов	ПК3.1 – 3.4
10	Решение задач по теме «Генераторы постоянного тока»	ПК 3.1 – 3.4
11	Решение задач по теме «Асинхронные двигатели»	ПК 3.1 – 3.4
№п/п	Наименования лабораторных работ.	Компетенции
1	Изучение устройства индукционного и электромагнитного измерительных механизмов.	ПК 3.1- 3.4
2	Измерение токов, напряжений, сопротивлений.	ПК3.1- 3.4

3	Измерение мощностей.	ПК 3.1- 3.4
4	Выбор пускозащитной аппаратуры для силового электрооборудования.	ПК 3.1- 3.4
5	Составление схем автоматизации.	ПК 3.1- 3.4

### Практическая работа №1

#### Тема: Расчет электростатической цепи при смешанном соединении конденсаторов

Обучающийся должен

знать:

- понятие конденсаторов;
- свойство параллельного и последовательного соединения конденсаторов;

уметь:

- рассчитывать электростатические цепи при смешанном соединении конденсаторов.

**Задача.** Определите заряд, энергию электрического поля каждого конденсатора, эквивалентную емкость цепи, энергию, потребляемую цепью. Данные для решения задачи указаны в таблице. В общем виде, в логической последовательности покажите, как изменится энергия электрического поля всей цепи при изменении емкости, указанной в таблице.

**Таблица. Исходных данных к задаче**

Номер варианта	Номер рисунка, схемы	Задаваемые величины						
		U, кВ	C <sub>1</sub> , мкФ	C <sub>2</sub> , мкФ	C <sub>3</sub> , мкФ	C <sub>4</sub> , мкФ	C <sub>5</sub> , мкФ	C <sub>6</sub> , мкФ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00, 50	1.1.1	1	10↑	20	30	40	50	60
01, 51	1.1.2	10	20	30↑	40	50	60	10
02, 52	1.1.3	9	30	40	50↑	60	10	20
03, 53	1.1.4	8	40	50	60	40↑	20	30
04, 54	1.1.5	7	50	60	10	20	30↑	40
05, 55	1.1.1	2	60	10	20	30	40	50↑
06, 56	1.1.2	9	10↑	20	30	40	50	60
07, 57	1.1.3	8	20	30↑	40	50	60	10
08, 58	1.1.4	7	30	40	50↑	60	10	20
09, 59	1.1.5	6	40	50	60	10↑	20	30
10, 60	1.1.1	3	50	60	10	20	30↑	40
11, 61	1.1.2	8	60	10	20	30	40	50↑
12, 62	1.1.3	7	10↓	20	30	40	50	60
13, 63	1.1.4	6	20	30↓	40	50	60	70
14, 64	1.1.5	5	30	40	50↓	60	10	20
15, 65	1.1.1	4	40	50	60	10↓	20	30
16, 66	1.1.2	7	50	60	10	20	30↓	40
17, 67	1.1.3	6	60	10	20	30	40	50↓
18, 68	1.1.4	5	10↓	20	30	40	50	60
19, 69	1.1.5	4	20	30↓	40	50	60	10
20, 70	1.1.1	5	30	40	50↓	60	10	20
21, 71	1.1.2	6	40	50	60	10↓	20	30
22, 72	1.1.3	5	50	60	10	20	30↓	40
23, 73	1.1.4	4	60	10	20	30	40	50↓

Номер варианта	Номер рисунка, схемы	Задаваемые величины						
		U, кВ	C <sub>1</sub> , мкФ	C <sub>2</sub> , мкФ	C <sub>3</sub> , мкФ	C <sub>4</sub> , мкФ	C <sub>5</sub> , мкФ	C <sub>6</sub> , мкФ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
24, 74	1.1.5	3	10↓	20	30	40	50	60
25, 75	1.1.1	6	20	30↓	40	50	60	10
26, 76	1.1.2	5	30	40	50↑	60	10	20
27, 77	1.1.3	4	40	50	60	10↑	20	30
28, 78	1.1.4	3	50	60	70	20	30↑	40
29, 79	1.1.5	2	60	10	20	30	40	50↑
30, 80	1.1.1	7	10↑	20	30	40	50	60
31, 81	1.1.2	4	20	30↑	40	50	60	10
32, 82	1.1.3	3	30	40	50↑	60	10	20
33, 83	1.1.4	2	40	50	60	10↑	20	30
34, 84	1.1.5	1	50	60	10	20	30↑	40
35, 85	1.1.1	8	60	10	20	30	40	50↑
36, 86	1.1.2	3	10↑	20	30	40	50	60
37, 87	1.1.3	2	20	30↑	40	50	60	10
38, 88	1.1.4	1	30	40	10↑	60	10	20
39, 89	1.1.5	2	40	50	60	10↑	20	30
40, 90	1.1.1	9	50	60	10	20	30↑	40
41, 91	1.1.2	2	60	10	20	30	40	50↑
42, 92	1.1.3	1	10↓	20	30	40	50	60
43, 93	1.1.4	9	20	30↓	40	50	60	10
44, 94	1.1.5	1	30	40	50↓	60	10	20
45, 95	1.1.1	10	40	50	60	10↓	20	30
46, 96	1.1.2	1	50	60	10	20	30↓	40
47, 97	1.1.3	10	60	10	20	30	40	50↓
48, 98	1.1.4	2	10↓	20	30	40	50	60
49, 99	1.1.5	3	20	30↓	40	50	60	70

**Примечание.** В таблице к задаче условное обозначение «↑» означает, что данная емкость увеличивается, «↓» означает, что данная емкость уменьшается.



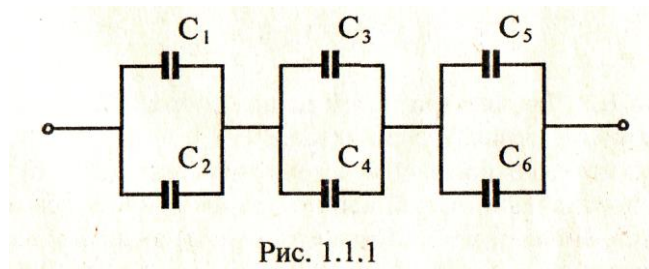


Рис. 1.1.1

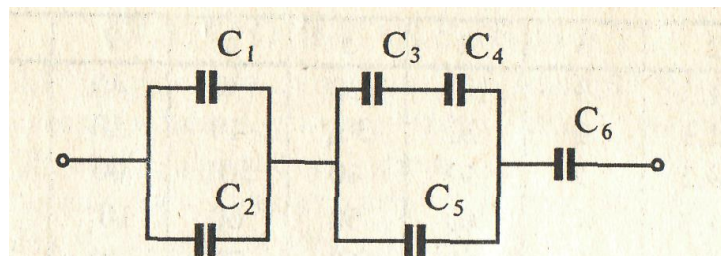


Рис. 1.1.2

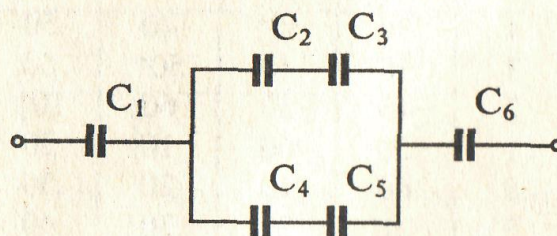


Рис. 1.1.3

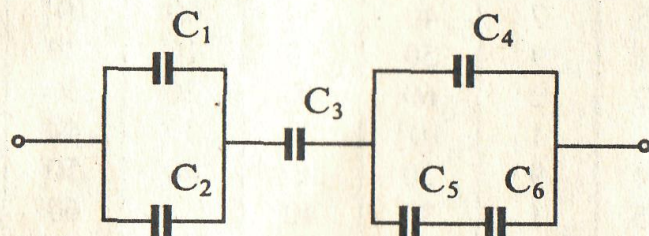


Рис. 1.1.4

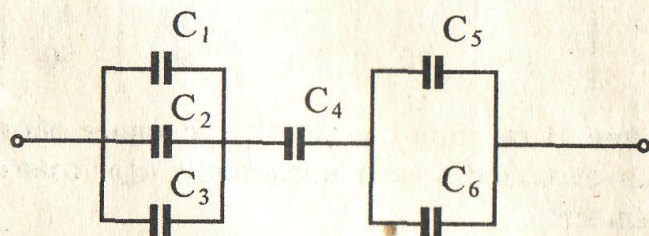


Рис. 1.1.5

## Практическая работа №2

**Тема: Расчет электрической цепи постоянного тока при смешанном соединении сопротивлений**

*Обучающийся должен*

знать:

- свойства цепи при последовательном соединении сопротивлений;
- свойства цепи при параллельном соединении сопротивлений;
- законы Ома, Кирхгофа;

уметь:

- рассчитывать электрическую цепь постоянного тока при смешанном соединении сопротивлений.

**Задача.** Для электрической цепи, изображенной на рис. 1., начертите схему в удобном для расчета виде.

**Определите:** а) эквивалентное сопротивление цепи; б) токи в каждом сопротивлении и всей цепи; в) падение напряжения на каждом сопротивлении; г) мощность всей цепи; д) энергию, потребляемую за 10 часов. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится ток при изменении указанного в таблице сопротивления. Данные для решения задачи указаны в таблице.

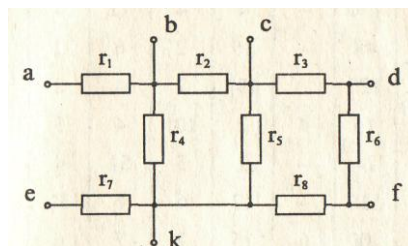


Рис. 1

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Точки приложенного напряжения	Задаваемые величины									
		U, В	r <sub>1</sub> , Ом	r <sub>2</sub> , Ом	r <sub>3</sub> , Ом	r <sub>4</sub> , Ом	r <sub>5</sub> , Ом	r <sub>6</sub> , Ом	r <sub>7</sub> , Ом	r <sub>8</sub> , Ом	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00,50	a-e	12	4†	3	2	6	6	2	5	2	
01,51	b-c	10	-	2†	3	6	4	6	-	5	
02,52	d-f	36	-	4	3†	2	5	4	-	2	
03,53	c-d	150	-	2	3	4†	5	6	-	8	
04,54	k-f	48	-	3	4	5	6†	7	-	1	
05,55	b-k	120	-	4	5	6	7	8†	-	2	
06,56	c-k	15	-	5	6	7	8†	1	-	3	
07,57	a-k	24	5	6	7	8	1	2	-	4†	
08,58	e-b	110	-	7‡	8	1	2	3	4	5	
09,59	f-d	200	-	8‡	1	2	3	4	-	6	
10,60	b-c	12	-	10	4‡	4	12	4	-	4	
11,61	d-f	10	-	4	4	10‡	4	12	-	4	
12,62	c-d	36	-	12	4	44	10‡	4	-	4	
13,63	k-f	150	-	4	4	12	4	10‡	-	6	
14,64	b-k	48	-	10	2	6	2	5‡	-	3	
15,65	c-k	120	-	15†	7	4	8	2	-	4	
16,66	a-k	15	4	2	10†	4	3	1	-	1	
17,67	e-b	24	-	2	5	5†	4	2	-	2	
18,68	f-d	110	-	12	6	6	3†	4	-	3	
19,69	a-e	200	6	15	7	7	6	8†	4	1	
20,70	b-c	36	-	12‡	12	12	24	36	-	12	
21,71	d-f	48	-	6‡	6‡	6	12	18	-	6	
22,72	c-d	60	-	3	3‡	3	6	8	-	4	
23,73	k-f	90	-	24	24	24‡	48	72	-	8	

Номер варианта	Точки приложенного напряжения	Задаваемые величины									
		U, В	r <sub>1</sub> , Ом	r <sub>2</sub> , Ом	r <sub>3</sub> , Ом	r <sub>4</sub> , Ом	r <sub>5</sub> , Ом	r <sub>6</sub> , Ом	r <sub>7</sub> , Ом	r <sub>8</sub> , Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
24, 74	b-k	120	-	12	18	9	24↓	36	-	6	
25, 75	c-k	150	-	16	16	16	32	32↓	-	18	
26, 76	a-k	180	6	20	20	20	40	40	-	9↓	
27, 77	e-b	210	-	25↑	25	25	50	50	30	10	
28, 78	f-d	240	-	30	30↑	30	60	60	-	20	
29, 79	b-c	24	-	10	10	10↑	6	6	-	4	
30, 80	d-f	12	-	36	150	36	72↑	100	-	14	
31, 81	c-d	24	-	72	300	72	144	200↑	-	28	
32, 82	k-f	36	-	18	75	18	72	100	-	14↑	
33, 83	b-k	48	-	12	12↓	12	24	24	-	12	
34, 84	c-k	60	-	6↓	6	12	12	6	-	6	
35, 85	a-k	72	4	12	12↓	6	6	12	-	1	
36, 86	e-b	84	-	24	24	12↓	12	24	6	24	
37, 87	f-d	96	-	12	24	36	18↓	12	-	18	
38, 88	a-e	108	12	24	36	12	6	24↓	6	12	
39, 89	b-c	120	-	36	24	12	6	36	-	24↓	
40, 90	a-e	48	8	6↑	12	6	12	30	4	48	
41, 91	b-c	60	-	8	14↑	8	14	40	-	50	
42, 92	d-f	72	-	10	16	10↑	16	40	-	50	
43, 93	c-d	84	-	12	16	12↓	16↑	50	-	40	
44, 94	k-f	96	-	16	12	16	12↑	60	-	60	
45, 95	b-k	108	-	20	24	20	16	50	-	50↑	
46, 96	c-k	120	-	25↓	24	25	24	25	-	25	
47, 97	a-k	136	2	4	6↓	4	6	4	-	6	
48, 98	e-b	124	-	6	4	6↓	4	6	4	4	
49, 99	f-d	12	-	2	4	2	4↓	2	-	4	



## Тема: Расчет сложной цепи постоянного тока

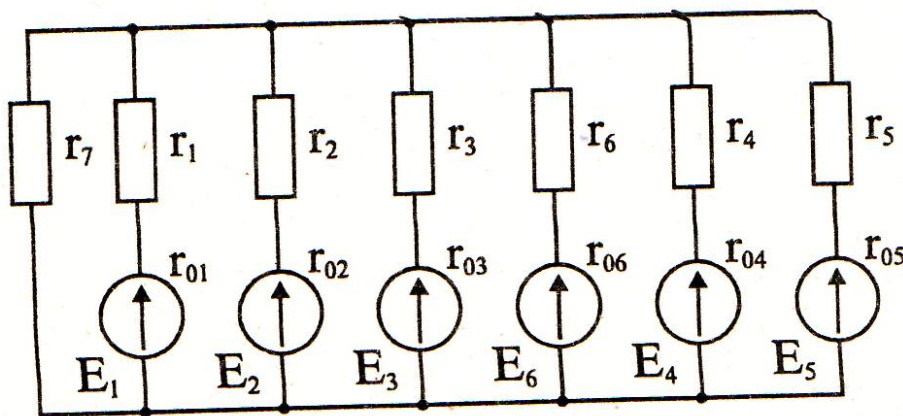
*Знать:*

- I закон Кирхгофа;
- II закон Кирхгофа;
- методы расчета сложных цепей;

*уметь:*

- рассчитывать сложную цепь методом узловых и контурных уравнений, методом наложения;
- строить потенциальную диаграмму.

- Изобразите схему для своего варианта в удобном для расчета виде.
- Составьте на основании закона Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчетов токов во всех ветвях схемы и определите их.
- Определите токи в ветвях, пользуясь любым другим методом расчета.
- Постройте потенциальную диаграмму для любого контура.
- Определите мощности источников, приемников электрической энергии и мощности потерь внутри источников.
- Составьте баланс мощностей.
- В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится потеря мощности внутри источника при изменении указанного сопротивления.



**Рис. 2**

### Таблица. Исходные данные к задаче

Номера вариантов	Заданные величины																		
	E <sub>1</sub> , В	E <sub>2</sub> , В	E <sub>3</sub> , В	E <sub>4</sub> , В	E <sub>5</sub> , В	E <sub>6</sub> , В	R <sub>01</sub> Ом	R <sub>02</sub> Ом	R <sub>03</sub> Ом	R <sub>04</sub> Ом	R <sub>05</sub> Ом	R <sub>06</sub> Ом	R <sub>1</sub> Ом	R <sub>2</sub> Ом	R <sub>3</sub> Ом	R <sub>4</sub> Ом	R <sub>5</sub> Ом	R <sub>6</sub> Ом	R <sub>7</sub> Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
00, 50	90	60	-	-	-	-	0,1	0,2	-	-	-	-	9,9	9,8↑	-	-	-	-	10
01, 51	-	70	50	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	-	9,7	9,8↑	-	-	-	10
02, 52	-	-	60	03	-	-	-	-	0,4	0,4	-	-	-	-	9,6↑	9,6	-	-	10
03, 53	60	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,9	-	9,7↑	-	-	-	10
04, 54	70	-	-	80	-	-	0,4	-	-	0,5	-	-	9,6	-	-	9,5↓	-	-	10
05, 55	-	90	-	60	-	-	-	0,3	-	0,3	-	-	-	9,7↑	-	9,7	-	-	10
06, 56	80	-	-	-	130	-	0,2	-	-	-	0,1	-	9,8↑	-	-	-	9,9	-	10
07, 57	-	90	-	-	60	-	-	0,1	-	-	0,2	-	-	9,9↑	-	-	9,8	-	10
08, 58	-	-	120	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,9↑	-	9,7	-	10
09, 59	-	-	-	110	100	-	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-	-	-	-	-	10

**Практическая работа №4**  
**Тема: Расчет магнитных цепей**

Обучающийся должен  
 знать:

- понятие магнитная цепь;
- классификацию магнитных цепей;
- законы Ома, Кирхгофа для магнитной цепи;

уметь:

- рассчитывать неоднородную, неразветвленную цепь.

Вариант	W, вит.	B <sub>с</sub> , Тл	σ, мм	a, мм	C, мм	B, мм	B <sub>1</sub> = B, мм	B <sub>2</sub> , мм
1	450	0,8	0,5	120	80	20	10	15
2	550	0,85	0,6	130	90	30	10	15
3	600	0,9	0,7	140	100	40	15	20
4	700	0,95	0,8	160	110	40	15	20
5	650	1,05	0,9	170	120	50	20	25
6	750	1,1	1,1	180	130	50	20	25
7	800	1,15	1,2	190	140	55	25	30

**Задача.** Какой ток должен протекать по обмотке с числом витков  $w$ , в магнитной цепи, изображенной на рисунке 1 а, чтобы магнитная индукция в воздушном зазоре  $\sigma$  была  $B_{\sigma}$ . Данные для расчетов даны в таблице.

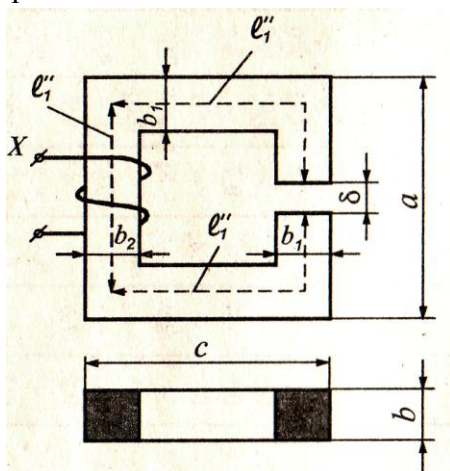


Рис. 3

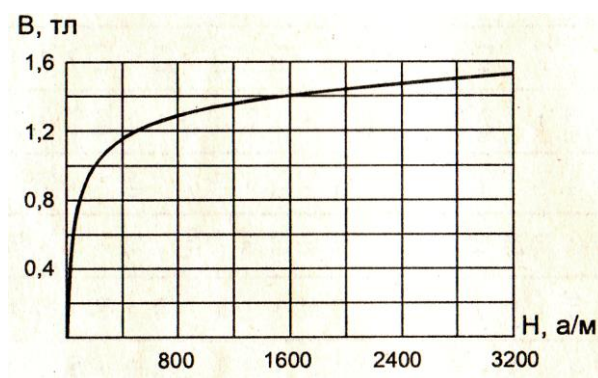


Рис. 4

Таблица. Исходные данные к задаче

**Методические указания.**

При решении большинства электротехнических задач все

<b>8</b>	850	1,2	1,3	200	150	55	25	30
<b>9</b>	900	1,35	1,4	210	160	60	30	35
<b>0</b>	950	1,4	1,5	220	170	60	30	35

вещества практически подразделяются на ферромагнитные и неферромагнитные. У ферромагнитных веществ относительная магнитная проницаемость  $\mu$  намного больше единицы, у всех неферромагнитных -  $\mu$  практически равна единице.

Основными величинами, характеризующими магнитное поле, являются векторные величины: магнитная индукция  $\vec{B}$ , намагниченность  $\vec{J}$ , напряженность  $\vec{H}$ . Эти три величины связаны друг с другом следующей зависимостью:

$$\vec{B} = \mu_0 \left( \vec{H} + \vec{J} \right) \text{ Тл или } \vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \vec{H},$$

где  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$  Гн/м, магнитная проницаемость вакуума;

$\mu$  - относительная магнитная проницаемость вещества.

Магнитный поток  $\Phi$  есть поток вектора магнитной индукции через площадь  $S$ :

$$\Phi = \vec{B} S \cos \alpha.$$

Магнитное поле создается электрическими токами. Количественная связь между линейным интегралом от вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  вдоль любого произвольного контура является алгебраической суммой токов  $\sum I$ , охваченных этим контуром, определяется законом тока  $Hl = \sum I$ .

Магнитодвижущая сила (м.д.с.) или намагничивающая сила (н.с.) катушки или обмотки с током есть произведение числа витков катушки  $W$  на протекающей по ней ток

$$F_M = IW.$$

**Пример** расчета магнитной цепи, показанной на рис. 1, если дано:

$W = 500$  вит.;  $B_\sigma = 1$  Тл;  $\sigma = 1,0$  мм;  $a = 150$  мм;  $c = 130$  мм;  $b = 30$  мм;

$\sigma_1 = \sigma_2 = 15$  мм;  $b_2 = 20$  мм. Найти величину тока в катушке, используя кривую намагничивания на рис. 2.

**Решение:**

Магнитную цепь разбиваем на три участка: первый с сечением  $s_1$ , длина которого

$$\begin{aligned} l_1 &= l_1' + l_1''; \quad l_1' = l_1''; \\ l_1' &= \left( c - \frac{b_1 + b_2}{2} \right) + \frac{a - b}{2} = \left( 130 - \frac{15 + 20}{2} \right) + \frac{150 - 15}{2} = 190 \text{ мм} = 0,19 \text{ м}; \\ l_1 &= 2l_1' = 2 \cdot 0,19 = 0,38 \text{ м}; \\ s_1 &= b \cdot b_1 = 15 \cdot 30 = 450 \text{ мм}^2 = 4,5 \text{ см}^2; \end{aligned}$$

второй с сечением  $s_2$ , длина которого

$$\begin{aligned} l_2 &= a - b_1 = 150 - 15 = 135 \text{ мм} \quad l_2 = 0,135 \text{ м}; \\ s_2 &= b \cdot b_2 = 20 \cdot 30 = 600 \text{ мм}^2 = 6 \text{ см}^2; \end{aligned}$$

третий – воздушный зазор  $\sigma \approx 0,1$  см;  $s_\sigma = s_1 = 4,5 \text{ см}^2$ .

Индукция  $B_1 = B_\sigma = 1$  Тл.

Индукцию на втором участке найдем, разделив поток  $\Phi = B_\sigma \cdot s_\sigma$  на сечение  $s_2$

$$B_2 = \frac{\Phi}{s_2} = \frac{B_\sigma \cdot s_\sigma}{s_2} = \frac{1 \cdot 4,5}{6} = 0,75 \text{ Тл}.$$

Напряженности поля на участках  $l_1$  и  $l_2$  определяем согласно кривой намагничивания (рис. 2) по известным значениям магнитной индукции  $B_1$  и  $B_2$

$$H_1 = 300 \text{ А/м}; \quad H_2 = 115 \text{ А/м}.$$

Напряженность поля в воздушном зазоре



$$H_{\sigma} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot B_{\sigma} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 1 = 8 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$$

Падение магнитного напряжения вдоль всей магнитной цепи

$$\begin{aligned} \Sigma H_k \cdot l_k &= H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_{\sigma} \cdot l_{\sigma} = \\ &= 300 \cdot 0,38 + 115 \cdot 0,135 + 8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4} = 209,6 \text{ А.} \end{aligned}$$

Сила тока в обмотке

$$I = \frac{\Sigma H_k l_k}{W} = \frac{209,6}{500} = 0,419 \text{ А.}$$

## Практическая работа №5

### Тема: Расчет неразветвленной цепи переменного синусоидального тока

Обучающийся должен

знать:

- характеристики переменного тока;
- параметры цепи переменного тока;
- свойства последовательного соединения устройств электрической цепи;

уметь:

- рассчитывать неразветвленную цепь переменного тока;
- строить векторные диаграммы.

**Задача.** Неразветвленная цепь переменного тока, показанная на соответствующем рисунке, содержит активные и реактивные сопротивления, величины которых заданы в таблице с исходными данными. Кроме того, известна одна из дополнительных величин ( $U$ ,  $I$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ). Определить следующие величины, если они не заданы в таблице вариантов: 1) полное сопротивление цепи  $Z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) силу тока в цепи; 4) угол сдвига фаз  $\varphi$  (величину и знак); 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности, потребляемые цепью. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить, как изменится ток в цепи и угол сдвига фаз, если частоту тока увеличить вдвое. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номера вариантов	Номера рисунков	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительная величина
41	16	12	—	10	4	20	10	$Q = -64$ вар
42	16	32	—	20	20	6	10	$I = 4$ А
43	16	32	—	25	15	8	8	$U_{L1} = 125$ В
44	16	40	—	30	20	12	8	$S = 800$ В·А
45	16	80	—	10	10	40	40	$Q_{L2} = 40$ вар
46	16	4	—	2	8	4	3	$U_{C2} = 15$ В
47	16	12	—	20	10	4	10	$U = 80$ В
48	16	40	—	10	10	30	20	$Q_{C1} = -480$ вар
49	16	24	—	8	10	20	30	$P = 96$ Вт
50	16	3	—	5	5	4	2	$U_{R1} = 30$ В
51	17	4	2	5	6	3	—	$I = 5$ А
52	17	8	4	10	15	9	—	$I = 10$ А
53	17	2	4	6	5	3	—	$U = 50$ В
54	17	4	8	10	15	9	—	$Q = 1600$ вар
55	17	4	2	5	6	3	—	$P = 150$ Вт
56	17	4	8	15	10	9	—	$U = 200$ В
57	17	2	4	6	5	3	—	$Q = 200$ вар
58	17	8	4	10	15	9	—	$P = 1200$ Вт
59	17	4	2	6	5	3	—	$S = 250$ В·А
60	17	8	4	15	10	9	—	$S = 2000$ В·А
61	18	8	—	12	—	—	6	$P = 72$ Вт
62	18	4	—	15	—	—	12	$U = 30$ В
63	18	3	—	8	—	—	4	$I = 3$ А
64	18	4	—	5	—	—	8	$Q_{L1} = 80$ вар
65	18	8	—	6	—	—	12	$Q = -48$ вар
66	18	4	—	5	—	—	8	$P = 256$ Вт
67	18	4	—	8	—	—	5	$S = 320$ В·А
68	18	4	—	5	—	—	8	$Q = -192$ вар
69	18	3	—	8	—	—	4	$I = 8$ А
70	18	8	—	12	—	—	6	$S = 90$ В·А
71	19	2	6	—	10	4	—	$U = 20$ В
72	19	6	10	—	8	20	—	$Q = -192$ вар
73	19	6	2	—	16	10	—	$P = 32$ Вт
74	19	10	6	—	8	20	—	$P = 256$ Вт
75	19	4	4	—	2	8	—	$I = 2$ А
76	19	10	6	—	20	8	—	$I = 4$ А
77	19	3	1	—	9	6	—	$U = 80$ В
78	19	6	2	—	4	10	—	$Q = -24$ вар
79	19	6	10	—	20	8	—	$S = 320$ В·А
80	19	3	5	—	12	6	—	$S = 40$ В·А



Номера вариантов	Номера рисунков	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	Дополнительная величина
01	12	8	4	18	—	2	—	$I = 10 \text{ A}$
02	12	10	20	50	—	10	—	$P = 120 \text{ Вт}$
03	12	3	1	5	—	2	—	$P_2 = 100 \text{ Вт}$
04	12	12	20	30	—	6	—	$U_1 = 72 \text{ В}$
05	12	4	8	18	—	2	—	$U = 40 \text{ В}$
06	12	2	1	4	—	8	—	$Q_1 = -96 \text{ вар}$
07	12	20	10	10	—	50	—	$Q = -640 \text{ вар}$
08	12	1	3	2	—	5	—	$Q_{C1} = -125 \text{ вар}$
09	12	1	2	8	—	4	—	$S = 80 \text{ В} \cdot \text{А}$
10	12	8	4	6	—	22	—	$P_1 = 32 \text{ Вт}$
11	13	6	—	2	10	4	—	$U = 40 \text{ В}$
12	13	4	—	6	2	5	—	$P = 16 \text{ Вт}$
13	13	16	—	15	5	8	—	$Q_{L1} = 135 \text{ вар}$
14	13	32	—	8	4	12	—	$Q_{L2} = 16 \text{ вар}$
15	13	8	—	2	2	10	—	$Q_{C1} = -20 \text{ вар}$
16	13	3	—	10	12	26	—	$P_1 = 48 \text{ Вт}$
17	13	40	—	8	6	16	—	$U_2 = 12 \text{ В}$
18	13	16	—	3	5	20	—	$Q_{C1} = -720 \text{ вар}$
19	13	6	—	10	2	4	—	$I = 5 \text{ A}$
20	13	4	—	3	6	12	—	$S = 500 \text{ В} \cdot \text{А}$
21	14	4	—	6	—	4	5	$P = 100 \text{ Вт}$
22	14	8	—	6	—	8	4	$U_{C2} = 40 \text{ В}$
23	14	80	—	100	—	25	15	$I = 1 \text{ A}$
24	14	60	—	20	—	40	60	$Q_{C2} = -240 \text{ вар}$
25	14	48	—	36	—	60	40	$P_1 = 432 \text{ Вт}$
26	14	4	—	9	—	3	3	$U = 20 \text{ В}$
27	14	40	—	50	—	12	8	$Q_{L1} = 200 \text{ вар}$
28	14	12	—	16	—	10	6	$U_{L1} = 160 \text{ В}$
29	14	24	—	28	—	35	25	$S = 1000 \text{ В} \cdot \text{А}$
30	14	8	—	12	—	4	2	$Q_{L1} = 48 \text{ вар}$
31	15	10	14	18	—	20	30	$U_{R2} = 28 \text{ В}$
32	15	6	2	10	—	1	3	$P = 200 \text{ Вт}$
33	15	40	20	20	—	80	20	$Q_{C1} = -320 \text{ вар}$
34	15	30	34	32	—	50	30	$U_{C1} = 500 \text{ В}$
35	15	1	3	10	—	4	3	$Q = 48 \text{ вар}$
36	15	3	1	5	—	6	2	$S = 180 \text{ В} \cdot \text{А}$
37	15	24	40	52	—	40	60	$Q_{L1} = 468 \text{ вар}$
38	15	2	6	4	—	2	8	$U = 40 \text{ В}$
39	15	14	10	50	—	10	8	$I = 5 \text{ A}$
40	15	50	30	100	—	20	20	$P_2 = 480 \text{ Вт}$

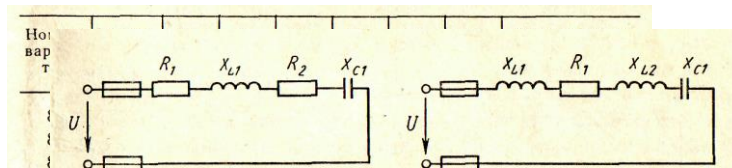


Рис. 12

Рис. 13

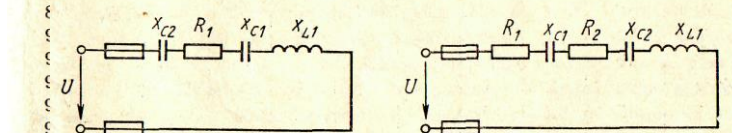


Рис. 14

Рис. 15

98	21	24	—	8	—	25	15	$P = 24 \text{ Вт}$
99	21	5	—	14	—	8	6	$U = 30 \text{ В}$
00	21	32	—	40	—	10	6	$I = 2 \text{ A}$

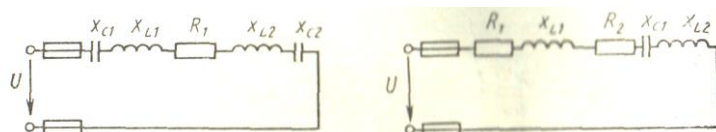


Рис. 16

Рис. 17

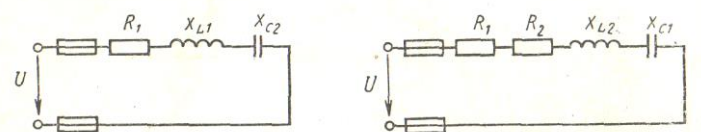


Рис. 18

Рис. 19

## Практическая работа №6

### Тема: Расчет разветвленной цепи переменного синусоидального тока

Обучающийся должен

знать:

- характеристики переменного тока;
- параметры цепи переменного тока;
- свойства параллельного соединения участков электрической цепи;

уметь:

- рассчитывать разветвленные цепи переменного синусоидального тока;
- строить векторные диаграммы.

**Задача.** Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых  $r_1$ ,  $X_{L1}$ ,  $X_{C1}$ ,  $r_2$ ,  $X_{L2}$ ,  $X_{C2}$ , приведены в табл. 1, присоединена к сети напряжением  $U$  и частотой  $f = 50$  Гц.

1. Начертите схему электрической цепи и определите: а) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи; б) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи; в) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети; г) активную, реактивную и полную мощности цепи.

2. В общем виде в логической последовательности покажите, как повлияет изменение указанной в таблице величины на параметры:  $g_1$ ,  $b_1$ ,  $y_1$ ,  $g_2$ ,  $b_2$ ,  $y_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$ .

**Таблица. Исходных данных к задаче**

Номера вариантов	Номера рисунка схемы	Задаваемые величины						
		U, В	$r_1$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{C1}$ , Ом	$r_2$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$X_{C2}$ , Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00, 50	2.1.1	127	75↑	75	10	10	20	–
01, 51	2.1.2	220	10	70↑	15	15	25	100
02, 52	2.1.3	380	15↓	65	–	20	30	150
03, 53	2.1.4	660	20	60	25	25↑	–	200
04, 54	2.1.5	127	25	–	30	30	40↑	250
05, 55	2.1.1	220	30↓	50	35	35	45	–
06, 56	2.1.2	380	35	45↓	40	40	50	300
07, 57	2.1.3	660	40	40	–	45↓	55	350
08, 58	2.1.4	127	45	35	50↓	50	–	60
09, 59	2.1.5	220	50	–	55	55↓	65	70
10, 60	2.1.1	380	55↑	25	60	60	70	–
11, 61	2.1.2	660	60	20↑	65	65	75	90
12, 62	2.1.3	127	65↓	15	–	70	80	5
13, 63	2.1.4	220	70	10	75	75↑	–	10

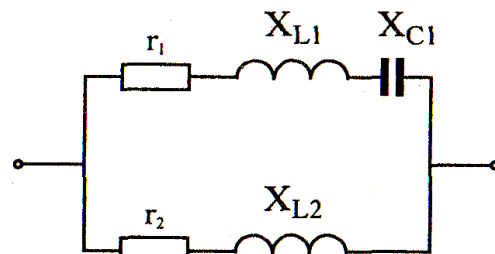


Рис. 2.1.1

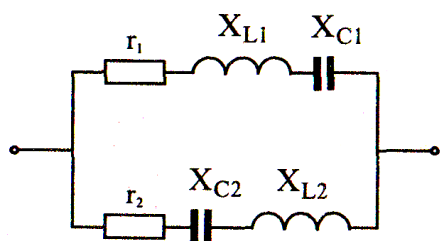


Рис. 2.1.2

**Примечание.** «↑» - величина, указанная в таблице 1, увеличивается, «↓» - уменьшается.

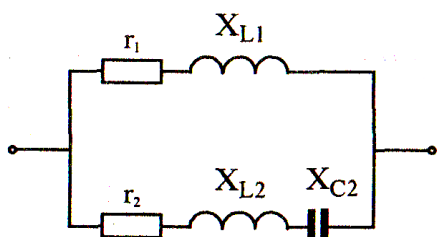


Рис. 2.1.3

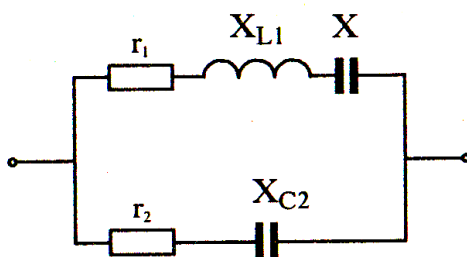


Рис. 2.1.4

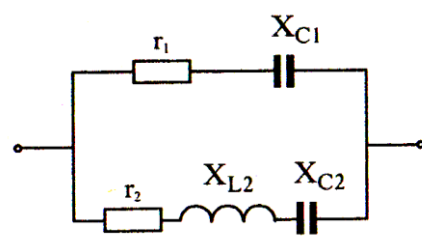


Рис. 2.1.5



1	2	3	4	5	6	7	8	9
14, 64	2.1.5	380	75	–	80	80	90↑	15
15, 65	2.1.1	660	80↓	5	10	80	90	–
16, 66	2.1.2	127	75	10↓	15	75	80	25
17, 67	2.1.3	220	70	15	–	70↓	80	30
18, 68	2.1.4	380	65	20	25	65↓	–	35
19, 69	2.1.5	660	60	–	30	60	70↓	40
20, 70	2.1.1	127	55	30	35↑	55	65	–
21, 71	2.1.2	220	50↑	35	40	50	60	50
22, 72	2.1.3	380	45	40↑	–	45	55	55
23, 73	2.1.4	660	40	45	45	40↑	–	60
24, 74	2.1.5	127	35	–	50	35	45↑	65
25, 75	2.1.1	220	30	55	55↓	30	40	–
26, 76	2.1.2	380	25	60↑	60	25	35	75
27, 77	2.1.3	660	20	65	–	20↑	30	80
28, 78	2.1.4	127	15	70	65	15	–	85↑
29, 79	2.1.5	220	10	–	70	10	20↓	90
30, 80	2.1.1	380	10↓	50	5	100	50	–
31, 81	2.1.2	660	20	45↓	10	90	55	45
32, 82	2.1.3	127	30	40	–	80	60↑	40

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33, 83	2.1.4	220	40	35	20	70↓	–	35
34, 84	2.1.5	380	50	–	25	60	65	30↓
35, 85	2.1.1	660	60↑	25	30	50	70	–
36, 86	2.1.2	127	70	20↑	35	40	75	20
37, 87	2.1.3	220	80	15	–	30	80↓	15
38, 88	2.1.4	380	90	10	45	20↑	–	10
39, 89	2.1.5	660	100	–	50	10	85	5↑
40, 90	2.1.1	127	100↓	15	55	10	5	–
41, 91	2.1.2	220	90	20	60↓	20	10	20
42, 92	2.1.3	380	80	25	–	30↓	15	30
43, 93	2.1.4	660	70	30	70↑	40	–	40
44, 94	2.1.5	127	60	–	75	50	25	50↓
45, 95	2.1.1	220	50↑	30	80	60	30	–
46, 96	2.1.2	380	40	35	85↑	70	35	70
47, 97	2.1.3	660	30	40	–	80↑	40	80
48, 98	2.1.4	127	20	45↓	95	90	–	90
49, 99	2.1.5	220	10	–	100	100	50	100↑

**Задача.** Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых  $r_1 = 16 \text{ Ом}$ ;  $X_{L1} = 12 \text{ Ом}$ ;  $r_2 = 30 \text{ Ом}$ ;  $X_{C2} = 40 \text{ Ом}$ , присоединена к сети с напряжением  $U = 179 \sin 628t$ .

**Определить:** 1) частоту электрической сети; 2) действующее значение напряжения сети; 3) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи; 4) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи; 5) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети; 6) активную, реактивную и полную мощности цепи.

**Решение.**

1. Частота электрической цепи определяется из формулы угловой частоты  $\omega = 2\pi f$ :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2 \cdot 3,14} = 100 \text{ Гц.}$$

2. Действующее значение напряжения определяется по известному амплитудному значению напряжения ( $U_m$ ):

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{179}{1,41} = 127 \text{ В.}$$

3. Для определения токов необходимо найти проводимость ветвей и всей цепи:

- 1) активная, реактивная и полная проводимости первой ветви:

$$g_1 = \frac{r_1}{Z_1^2} = \frac{16}{16^2 + 12^2} = \frac{16}{400} = 0,04 \text{ См;}$$

$$b_1 = \frac{X_{L1}}{Z_1^2} = \frac{12}{16^2 + 12^2} = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ См;}$$

$$y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,03^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05 \text{ См;}$$

- 2) активная, реактивная и полная проводимости второй ветви:

$$g_2 = \frac{r_2}{Z_2^2} = \frac{30}{30^2 + 40^2} = \frac{30}{2500} = 0,012 \text{ См;}$$

$$b_2 = \frac{-X_{C2}}{Z_2^2} = \frac{40}{30^2 + 40^2} = \frac{30}{2500} = -0,016 \text{ См;}$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \sqrt{0,012^2 + (-0,016)^2} = \sqrt{0,0004} = 0,02 \text{ См;}$$

- 3) активная, реактивная и полная проводимости всей цепи:

$$g = g_1 + g_2 = 0,04 + 0,012 = 0,052 \text{ См};$$

$$b = b_1 + b_2 = 0,03 + (-0,016) = 0,014 \text{ См.}$$

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,052^2 + 0,014^2} = \sqrt{0,0029} = 0,054 \text{ См.}$$

4. Токи в ветвях и ток в неразветвленной части цепи:

$$I_1 = U \cdot y_1 = 127 \cdot 0,05 = 6,35 \text{ А};$$

$$I_2 = U \cdot y_2 = 127 \cdot 0,02 = 2,54 \text{ А};$$

$$I = U \cdot y = 127 \cdot 0,054 = 6,86 \text{ А.}$$

## Практическая работа №7

**Тема: Расчет трехфазной несимметричной цепи при соединении приемников «звездой с нулевым проводом» символическим методом**

*Обучающийся должен*

*знать:*

- соединение вида «звезда»;
- понятие не симметричная нагрузка, линейный ток, фазный ток, линейное фазное напряжение;
- комплексные числа;

*уметь:*

- рассчитывать не симметричные цепи при соединении приемников «звездой» с помощью комплексных чисел;

**Задание:** Три приемника электрической энергии соединены «звездой с нулевым проводом» в цепь трехфазного тока с линейным напряжением.

- Начертите схему цепи
- Определите фазные, линейные токи.
- Активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи.
- Задачу решить символическим методом.

**Таблица 1. Исходные данные к задаче**

Задача	Номер варианта	Задаваемые величины				Номер варианта	Задаваемые величины			
		U, В	$\underline{Z}_{AB}$ , Ом	$\underline{Z}_{BC}$ , Ом	$\underline{Z}_{CA}$ , Ом		U, В	$\underline{Z}_{AB}$ , Ом	$\underline{Z}_{BC}$ , Ом	$\underline{Z}_{CA}$ , Ом
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	00, 50	127	4 - j3	3 + j4	6 + j8	25, 75	220	12 + j9	135	12 - j9
	01, 51	660	10	8 - j10	10 + j8	26, 76	380	12 + j16	140	12 - j16
	02, 52	380	16 - j12	12 + j16	32 + j24	27, 77	660	16 + j12	145	16 - j12
	03, 53	660	12 - j9	9 + j12	24 + j18	28, 78	127	18 + j24	150	18 - j24
	04, 54	127	4 - j3	4 + j3	8 + j6	29, 79	220	24 + j18	160	24 - j18
	05, 55	220	20 - j15	15 + j20	40 + j30	30, 80	380	4 - j3	3 + j4	- j4
	06, 56	380	24 - j18	18 + j24	48 + j36	31, 81	660	5 - j4	4 + j5	- j6
	07, 57	660	28 - j21	21 + j28	56 + j42	32, 82	127	6 - j5	5 + j6	- j8
	08, 58	127	32 - j24	24 + j32	64 + j48	33, 83	220	7 - j8	6 + j7	- j10
	09, 59	220	2 - j1,5	1,5 + j2	4 + j3	34, 84	380	8 - j9	7 + j8	- j12
	10, 60	380	4	3 - j4	6 + j9	35, 85	660	9 - j10	8 + j9	- j14
	11, 61	660	6	4 - j3	8 + j6	36, 86	127	10 - j11	9 + j10	- j16
	12, 62	127	8	6 - j8	12 + j8	37, 87	220	11 - j12	10 + j11	- j18
	13, 63	220	10	8 - j6	16 + j16	38, 88	380	12 - j13	11 + j12	- j20
	14, 64	380	12	9 - j12	18 + j12	39, 89	660	13 - j14	12 + j14	- j22
	15, 65	660	14	12 - j9	24 + j36	40, 90	127	- j4	3 + j4	4 + j3

**Пример к задаче 1:** Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений  $Z_A = (8 - j6) \text{ Ом}$ ,  $Z_B = (6 - j8) \text{ Ом}$ ,  $Z_C = (23 + j15,3) \text{ Ом}$  соединены звездой и включены в четырехпроводную сеть трехфазного тока с линейным напряжением  $U_L = 660 \text{ В}$ . Сопротивление нулевого провода  $Z_0 = 1 \text{ Ом}$ . Определить: 1) напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве; 2) для случая с нулевым проводом: а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе; б) активную, реактивную и полную мощность каждой фазы и всей цепи.

### Решение.

Пример необходимо решать символическим методом.

1. При соединении обмоток звездой фазное напряжение

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{660}{1,73} = 380 \text{ В.}$$

2. Представим напряжение и сопротивление в комплексном виде в алгебраической и показательной формах записи:

$$\dot{U}_A = 380 e^{j0^\circ} = (380 + j0) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_B = 380 e^{-j120^\circ} = (-190 - j328) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_C = 380 e^{j120^\circ} = (-190 + j328) \text{ В;}$$

$$\underline{Z}_A = 8 + j6 = 10 e^{+j37^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_B = 6 - j8 = 10 e^{-j53^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_C = 23 + j15,3 = 27,6 e^{j33^\circ 40'} \text{ Ом.}$$

3. Проводимости фаз и нулевого провода:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10 e^{j37^\circ}} = 0,1 e^{-j37^\circ} = (0,08 - j0,06) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{10 e^{-j53^\circ}} = 0,1 e^{j53^\circ} = (0,06 + j0,08) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{27,6 e^{j33^\circ 40'}} = 0,0362 e^{-j33^\circ 40'} = (0,03 - j0,02) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ См.}$$

4. Напряжение смещения нейтрали при наличии нулевого провода:

$$\begin{aligned} \dot{U}_0 &= \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_0}; \\ \dot{U}_0 &= \frac{380 e^{j0^\circ} \cdot 0,1 e^{-j37^\circ} + 380 e^{-j120^\circ} \cdot 0,1 e^{j53^\circ} + 380 e^{j120^\circ} \cdot 0,0362 e^{-j33^\circ 40'}}{0,08 - j0,06 + 0,06 + j0,08 + 0,03 - j0,02 + 1} = \\ &= \frac{38 e^{-j37^\circ} + 38 e^{-j67^\circ} + 13,7 e^{j86^\circ 20'}}{1,17} = \\ &= 32,48 e^{-j37^\circ} + 32,48 e^{-j67^\circ} + 11,75 e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 26 - j19,5 + 12,7 - j30 + 0,752 + j11,75 = \\ &= 39,45 - j37,75 = 54 e^{-j43^\circ 40'}. \end{aligned}$$

5. Напряжение смещения нейтрали при обрыве нулевого провода:

$$\dot{U}'_0 = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} =$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{38e^{-j37^\circ} + 38e^{-j67^\circ} + 13,75e^{j86^\circ 20'}}{0,17} = \\
&= 223,5e^{-j37^\circ} + 223,5e^{-j67^\circ} + 80,9e^{j86^\circ 20'} = \\
&= 178 - j134 + 87 - j205 + 5,17 + j80,74 = \\
&= 270 - j258 = 372e^{-j43^\circ 40'}.
\end{aligned}$$

6. Напряжение на фазах потребителя без нулевого провода:

$$\begin{aligned}
\dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 270 + j258 = 110 + j258 = 280e^{j66^\circ 60'} \text{ В}; \\
\dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 270 + j258 = \\
&= -460 - j70 = 464e^{-j171^\circ} \text{ В}; \\
\dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 270 + j258 = \\
&= -460 + j586 = 745e^{j128^\circ 10'} \text{ В}.
\end{aligned}$$

7. Напряжение на фазах потребителя при наличии нулевого провода:

$$\begin{aligned}
\dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 39,45 + j37,75 = 340,5 + j37,45 = 348e^{j6^\circ 10'} \text{ В}; \\
\dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 39,455 + j37,75 = \\
&= -229 - j290 = 370e^{-j128^\circ 10'} \text{ В}; \\
\dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 39,45 + j37,75 = \\
&= 229,45 + j365,75 = 433e^{j122^\circ} \text{ В}.
\end{aligned}$$

8. Токи фазные (равные линейным токам при соединении потребителей звездой):

$$\begin{aligned}
\dot{I}_A &= \dot{U}'_A \cdot \underline{Y}_A = 348e^{j6^\circ 10'} \cdot 0,1e^{-j37^\circ} = 34,8e^{-j30^\circ 50'} = \\
&= (30 - j17,8) \text{ А}; \\
\dot{I}_B &= \dot{U}'_B \cdot \underline{Y}_B = 370e^{-j128^\circ 20'} \cdot 0,1e^{j53^\circ} = 37e^{-j75^\circ 20'} = \\
&= (9,35 - j35,7) \text{ А}; \\
\dot{I}_C &= \dot{U}'_C \cdot \underline{Y}_C = 433e^{j122^\circ} \cdot 0,0362e^{-j33^\circ 40'} = 15,67e^{j88^\circ 20'} = \\
&= (0,45 + j15,6) \text{ А}.
\end{aligned}$$

9. Ток в нулевом проводе по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 30 - j17,8 + 9,35 - j35,7 + 0,45 + j15,6 = \\
&= 39,8 - j37,9 = 54e^{-j43^\circ 40'} \text{ А}.
\end{aligned}$$

Из вычислений  
нулевого провода

10. Мощности

$$\begin{aligned}
\tilde{S}_A &= \dot{U}'_A \cdot \dot{I}_A = 348e^{j16^\circ 10'} \cdot 34,8e^{-j30^\circ 50'} = 11696e^{j37^\circ} = \\
&= (9357 + j7017) \text{ В} \cdot \text{А}; \\
S_A &= 11696 \text{ В} \cdot \text{А}; P_A = 9357 \text{ Вт}; Q_A = 7017 \text{ вар}; \\
\tilde{S}_B &= \dot{U}'_B \cdot \dot{I}_B = 370e^{-j128^\circ 10'} \cdot 37e^{-j75^\circ 20'} = 13690e^{-j53^\circ} = \\
&= (8214 - j10952) \text{ В} \cdot \text{А}; \\
S_B &= 13690 \text{ В} \cdot \text{А}; P_B = 8214 \text{ Вт}; Q_B = -10952 \text{ вар}; \\
\tilde{S}_C &= \dot{U}'_C \cdot \dot{I}_C = 433e^{j122^\circ} \cdot 15,67e^{-j88^\circ 20'} = 6785e^{j33^\circ 40'} = \\
&= (5647 + j3757) \text{ В} \cdot \text{А}; \\
S_C &= 6785 \text{ В} \cdot \text{А}; P_C = 5647 \text{ Вт}; Q_C = 3757 \text{ вар};
\end{aligned}$$

видно, что ток в  
определен правильно.  
фаз:



11. Мощности всей цепи:

$$\begin{aligned}\tilde{S} &= \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 9357 + j7017 + 8214 - j10952 + \\ &+ 5647 + j3757 = 23218 - j178 \text{ В} \cdot \text{А}; \\ P &= 23218 \text{ Вт}; Q = -178 \text{ вар}.\end{aligned}$$

Эти же мощности определить по другим формулам:

$$\begin{aligned}P &= P_A + P_B + P_C = I_A^2 \cdot r_A + I_B^2 \cdot r_B + I_C^2 \cdot r_C = \\ &= 34,8^2 \cdot 8 + 37^2 \cdot 6 + 15,67^2 \cdot 23 = 23218 \text{ Вт}; \\ Q &= Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 \cdot X_A + I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C = \\ &= 34,8^2 \cdot 6 - 37^2 \cdot 8 + 15,67^2 \cdot 15,3 = -178 \text{ вар}.\end{aligned}$$

## Задача 2.

Номер варианта	Задаваемые величины				Номер варианта	Задаваемые величины			
	U, В	$Z_{AB}$ , Ом	$Z_{BC}$ , Ом	$Z_{CA}$ , Ом		U, В	$Z_{AB}$ , Ом	$Z_{BC}$ , Ом	$Z_{CA}$ , Ом
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
00,50	127	4-j3	3+j4	6+j8	25,75	220	12+j9	135	12-j9
01,51	660	10	8-j10	10+j8	26,76	380	12+j16	140	12-j16
02,52	380	16-j12	12+j16	32+j24	27,77	660	16+j12	145	16-j12
03,53	660	12-j9	9+j12	24+j18	28,78	127	18+j24	150	18-j24
04,54	127	4-j3	4+j3	8+j6	29,79	220	24+j18	160	24-j18
05,55	220	20-j15	15+j20	40+j30	30,80	380	4-j3	3+j4	-j4
06,56	380	24-j18	18+j24	48+j36	31,81	660	5-j4	4+j5	-j6
07,57	660	28-j21	21+j28	56+j42	32,82	127	6-j5	5+j6	-j8
08,58	127	32-j24	24+j32	64+j48	33,83	220	7-j8	6+j7	-j10
09,59	220	2-j1,5	1,5+j2	4+j3	34,84	380	8-j9	7+j8	-j12
10,60	380	4	3-j4	6+j9	35,85	660	9-j10	8+j9	-j14
11,61	660	6	4-j3	8+j6	36,86	127	10-j11	9+j10	-j16
12,62	127	8	6-j8	12+j8	37,87	220	11-j12	10+j11	-j18
13,63	220	10	8-j6	16+j16	38,88	380	12-j13	11+j12	-j20
14,64	380	12	9-j12	18+j12	39,89	660	13-j14	12+j14	-j22
15,65	660	14	12-j9	24+j36	40,90	127	-j4	3+j4	4+j3
16,66	127	16	9-j16	18+j24	41,91	220	-j6	4+j6	6+j4
17,67	220	18	16-j12	32+j18	42,92	380	-j8	6+j8	8+j6
18,68	380	20	9-j9	18+j18	43,93	660	-j10	8+j10	10+j8
19,69	660	22	32-j24	64+j48	44,94	127	-j12	10+j12	12+j10
20,70	127	3+j4	110	3-j4	45,95	220	-j14	12+j14	14+j12
21,71	220	4+j3	115	4-j3	46,96	380	-j16	14+j16	16+j14
22,72	380	6+j8	120	6-j8	47,97	660	-j18	16+j18	18+j16
23,73	660	8+j6	125	8-j6	48,98	127	-j20	18+j20	20+j18
24,74	127	9+j12	130	9-j12	49,99	220	-j22	20+j22	22+j20

Пример к задаче 1.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений  $\underline{Z}_A = (8 + j6) \text{ Ом}$ ,  $\underline{Z}_B = (6 - j8) \text{ Ом}$ ,  $\underline{Z}_C = (23 + j15,3) \text{ Ом}$  соединены звездой и включены в четырехпроводную сеть трехфазного тока с линейным напряжением  $U_L = 660 \text{ В}$ . Сопротивление нулевого провода  $\underline{Z}_0 = 1 \text{ Ом}$ . Определить: 1) напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве; 2) для случая с нулевым проводом: а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе; б) активную, реактивную и полную мощность каждой фазы и всей цепи.

Построить топографическую диаграмму напряжений при обрыве нулевого провода.

**Решение.**

Пример необходимо решать символическим методом.

1. При соединении обмоток звездой фазное напряжение

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{660}{1,73} = 380 \text{ В.}$$

2. Представим напряжение и сопротивление в комплексном виде в алгебраической и показательной формах записи:

$$\dot{U}_A = 380 e^{j0^\circ} = (380 + j0) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_B = 380 e^{-j120^\circ} = (-190 - j328) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_C = 380 e^{j120^\circ} = (-190 + j328) \text{ В;}$$

$$\underline{Z}_A = 8 + j6 = 10 e^{+j37^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_B = 6 - j8 = 10 e^{-j53^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_C = 23 + j15,3 = 27,6 e^{j33^\circ 40'} \text{ Ом.}$$

3. Проводимости фаз и нулевого провода:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10 e^{j37^\circ}} = 0,1 e^{-j37^\circ} = (0,08 - j0,06) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{10 e^{-j53^\circ}} = 0,1 e^{j53^\circ} = (0,06 - j0,08) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{27,6 e^{j33^\circ 40'}} = 0,0362 e^{-j33^\circ 40'} = (0,03 - j0,02) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ См.}$$

4. Напряжение смещения нейтрали при наличии нулевого провода:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_0};$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_0 &= \frac{380e^{j0^\circ} \cdot 0,1e^{-j37^\circ} + 380e^{-j120^\circ} \cdot 0,1e^{j53^\circ} + 380e^{+j120^\circ} \cdot 0,362e^{-j33^\circ 40'}}{0,08 - j0,06 + 0,06 + j0,08 + 0,03 - j0,02 + 1} = \\ &= \frac{38e^{-j37^\circ} + 38e^{-j67^\circ} + 13,7e^{j86^\circ 20'}}{1,17} = \\ &= 32,48e^{-j37^\circ} + 32,48e^{-j67^\circ} + 11,75e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 26 - j19,5 + 12,7 - j30 + 0,752 + j11,75 = \\ &= 39,45 - j37,75 = 54e^{-j43^\circ 40'}.\end{aligned}$$

5. Напряжение смещения нейтрали при обрыве нулевого провода:

$$\begin{aligned}\dot{U}'_0 &= \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \\ &= \frac{38e^{-j37^\circ} + 38e^{-j67^\circ} + 13,75e^{j86^\circ 20'}}{0,17} = \\ &= 223,5e^{-j37^\circ} + 223,5e^{-j67^\circ} + 80,9e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 178 - j134 + 87 - j205 + 5,17 + j80,74 = \\ &= 270 - j258 = 372e^{-j43^\circ 40'}.\end{aligned}$$

6. Напряжение на фазах потребителя без нулевого провода:

$$\begin{aligned}\dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 270 + j258 = 110 + j258 = 280e^{j66^\circ 60'} \text{ В}; \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 270 + j258 = \\ &= -460 - j70 = 464e^{-j171^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 270 + j258 = \\ &= -460 + j586 = 745e^{j128^\circ 10'} \text{ В}.\end{aligned}$$

7. Напряжение на фазах потребителя при наличии нулевого провода:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 39,45 + j37,75 = 340,5 + j37,45 = 348e^{j6^\circ 10'} \text{ В};$$

$$\begin{aligned}\dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 39,455 + j37,75 = \\ &= -229 - j290 = 370 e^{-j128^{\circ}10'} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 39,45 + j37,75 = \\ &= 229,45 + j365,75 = 433 e^{j122^{\circ}} \text{ В}.\end{aligned}$$

8. Токи фазные (равны линейным токам при соединении потребителей звездой):

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{U}'_A \cdot \underline{Y}_A = 348 e^{j6^{\circ}10'} \cdot 0,1 e^{-j37^{\circ}} = 34,8 e^{-j30^{\circ}50'} = \\ &= (30 - j17,8) \text{ А};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_B &= \dot{U}'_B \cdot \underline{Y}_B = 370 e^{-j128^{\circ}20'} \cdot 0,1 e^{j53^{\circ}} = 37 e^{-j75^{\circ}20'} = \\ &= (9,35 - j35,7) \text{ А};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_C &= \dot{U}'_C \cdot \underline{Y}_C = 433 e^{j122^{\circ}} \cdot 0,0362 e^{-j33^{\circ}40'} = 15,67 e^{j88^{\circ}20'} = \\ &= (0,45 + j15,6) \text{ А}.\end{aligned}$$

9. Ток в нулевом проводе по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки:

$$\begin{aligned}\dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 30 - j17,8 + 9,35 - j35,7 + 0,45 + j15,6 = \\ &= 39,8 - j37,9 = 54 e^{-j43^{\circ}40'} \text{ А}.\end{aligned}$$

По другой формуле ток в нулевом проводе:

$$\dot{I}_0 = \dot{U}'_0 \cdot \underline{Y}_0 = 54 e^{-j43^{\circ}40'} \cdot 1 = 54 e^{-j43^{\circ}40'} \text{ А}.$$

Из вычислений видно, что ток в нулевом проводе определен правильно.

10. Мощности фаз:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_A &= \dot{U}'_A \cdot \dot{I}_A = 348 e^{j16^{\circ}10'} \cdot 34,8 e^{-j30^{\circ}50'} = 11696 e^{j37^{\circ}} = \\ &= (9357 + j7017) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_A = 11696 \text{ В} \cdot \text{А}; P_A = 9357 \text{ Вт}; Q_A = 7017 \text{ вар};$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_B &= \dot{U}'_B \cdot \dot{I}_B = 370 e^{-j128^{\circ}10'} \cdot 37 e^{-j75^{\circ}20'} = 13690 e^{-j53^{\circ}} = \\ &= (8214 - j10952) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_B = 13690 \text{ В} \cdot \text{А}; P_B = 8214 \text{ Вт}; Q_B = -10952 \text{ вар};$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_C &= \dot{U}'_C \cdot \dot{I}_C = 433 e^{j122^{\circ}} \cdot 15,67 e^{-j88^{\circ}20'} = 6785 e^{j33^{\circ}40'} = \\ &= (5647 + j3757) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_C = 6785 \text{ В} \cdot \text{А}; P_C = 5647 \text{ Вт}; Q_C = 3757 \text{ вар};$$



11. Мощности всей цепи:

$$\tilde{S} = \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 9357 + j7017 + 8214 - j10952 + \\ + 5647 + j3757 = 23218 - j178 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$P = 23218 \text{ Вт}; Q = -178 \text{ вар.}$$

Эти же мощности определить по другим формулам:

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 \cdot r_A + I_B^2 \cdot r_B + I_C^2 \cdot r_C = \\ = 34,8^2 \cdot 8 + 37^2 \cdot 6 + 15,67^2 \cdot 23 = 23218 \text{ Вт}; \\ Q = Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 \cdot X_A + I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C = \\ = 34,8^2 \cdot 6 - 37^2 \cdot 8 + 15,67^2 \cdot 15,3 = -178 \text{ вар.}$$

12. Топографическая диаграмма строится на комплексной плоскости в масштабе  $m_U = 100 \text{ В/см}$ .

Определяются длины векторов напряжений:

$$\overline{U}'_A = \frac{|U'_A|}{m_U} = \frac{280}{100} = 2,8 \text{ см};$$

$$\overline{U}'_B = \frac{|U'_B|}{m_U} = \frac{464}{100} = 4,64 \text{ см};$$

$$\overline{U}'_C = \frac{|U'_C|}{m_U} = \frac{754}{100} = 7,54 \text{ см};$$

$$\overline{U}'_0 = \frac{|U'_0|}{m_U} = \frac{372}{100} = 3,72 \text{ см};$$

$$U_A = U_B = U_C = \frac{|U_A|}{m_U} = \frac{380}{100} = 3,8 \text{ см.}$$

Порядок построения топографической диаграммы.

Совмещаем вектор напряжения фазы А источника с положительной вещественной осью, так как его угол сдвига фаз равен нулю.

$$\dot{U}_A = 380e^{j0}.$$

Откладываем вектор напряжения фазы В источника в сторону от вектора напряжения фазы А на  $120^\circ$ , а вектор направления фазы С – в сторону опережения на угол  $120^\circ$ .

$$\dot{U}_B = 380e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = 380e^{j120^\circ}$$

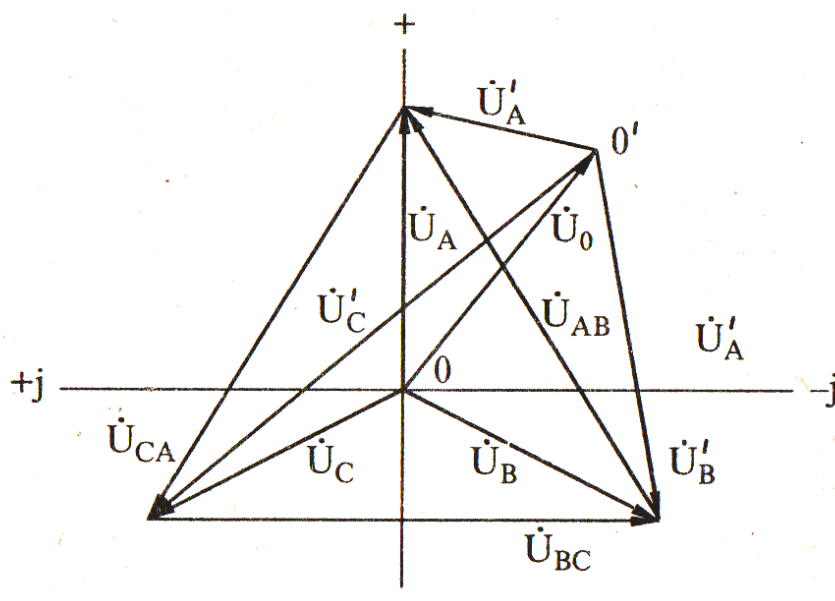
Соединяя концы вектора фазных напряжений источников, получим векторы линейных напряжений источников.

Длины векторов линейных напряжений определяются:

$$\overline{U}_{AB} = \overline{U}_{BC} = \overline{U}_{CA} = \frac{U_{\text{л}}}{m_U} = \frac{660}{100} = 6,6 \text{ см.}$$

Векторы напряжений одинаковы, так как генераторы индуцируют симметричные ЭДС, следовательно, и напряжения симметричны. Из начала координат под углом  $43^\circ 40'$  в сторону отставания от вещественной положительной оси откладывается напряжение смещения нейтрали  $U_0 = 372e^{-j43^\circ 40'}$  В. Длина этого вектора в масштабе 3,72 см.

Соединяя конец вектора напряжения смещения нейтрали с началами векторов фазных напряжений источников, получаем векторы фазных напряжений приемников электрической энергии  $\dot{U}'_A; \dot{U}'_B; \dot{U}'_C$ . Точка  $O'$ , в которой сходятся начала векторов напряжений приемников, есть нейтральная точка приемников электрической энергии, а точка  $O$ , в которой сходятся начала векторов фазных напряжений источников, есть нейтральная точка источников электрической энергии. Топографическая диаграмма показана на рис.





Пример к задаче 2

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений:

$$\underline{Z}_{AB} = (8 - j6) \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = (12 + j16) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{CA} = (3 + j4) \text{ Ом}$$

соединены треугольником и включены в трехпроводную цепь трехфазного тока с линейным напряжением  $U_L = 220 \text{ В}$ .

- Начертите схему цепи и определите: 1) фазные и линейные токи; 2) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи; 3) фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы ВС.

Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов и напряжений при наличии трех фаз.

### Решение.

Задача решается символическим методом.

1. Сопротивления и напряжения фаз приемника в алгебраической и показательной формах записи комплексов:

$$\underline{Z}_{AB} = 8 - j6 = 10 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = 12 + j16 = 20 e^{j53^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{CA} = 3 + j4 = 5 e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

При соединении фаз треугольником:

$$\dot{U}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} = (220 + j0) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} = (-110 - j190) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} = (-110 + j190) \text{ В};$$

2. Фазные токи:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = 22 e^{j37^\circ} = (17,5 + j13,2) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = 11 e^{-j37^\circ} = (-10,9 - j1,34) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = 44 e^{j67^\circ} = (17,2 + j40,5) \text{ А}.$$

3. Линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = -10,9 - j1,34 - 17,5 - j13,2 = -28,4 - j14,54 = 32 e^{-j153^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = -17,2 + j40,5 + 10,9 + j1,34 = -6,3 + j41,84 = 50,5 e^{j56^\circ 10'} \text{ А}.$$

4. Активная, реактивная и полная мощности фазы АВ:

$$\tilde{S}_{AB} = \dot{U}_{AB} \cdot \dot{I}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} \cdot 22 e^{-j37^\circ} =$$

$$= 4840 e^{-j37^\circ} = (3871 - j2904) \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{AB} = 4840 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{AB} = 3872 \text{ Вт}; \quad Q_{AB} = -2904 \text{ вар}.$$



5. Активная, реактивная и полная мощность фазы ВС:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_{BC} &= \dot{U}_{BC} \cdot \dot{I}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} \cdot 11 e^{j173^\circ} = \\ &= 2420 e^{j53^\circ} = (1452 + j1936) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_{BC} = 2420 \text{ В} \cdot \text{А}; P_{BC} = 1452 \text{ Вт}; Q_{BC} = -1936 \text{ вар}.$$

6. Активная, реактивная и полная мощности фазы СА:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_{CA} &= \dot{U}_{CA} \cdot \dot{I}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} \cdot 44 e^{-j67^\circ} = \\ &= 9680 e^{j53^\circ} = (5808 + j7744) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_{CA} = 9680 \text{ В} \cdot \text{А}; P_{CA} = 5808 \text{ Вт}; Q_{CA} = 7744 \text{ вар}.$$

7. Активная мощность всей цепи:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт}.$$

Активная мощность всей цепи по другой формуле:

$$\begin{aligned}P &= P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ &= 22^2 \cdot 8 + 11^2 \cdot 12 + 44^2 \cdot 3 = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

8. Реактивная мощность всей цепи:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар}.$$

Реактивная мощность всей цепи по другой формуле:

$$\begin{aligned}Q &= Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ &= 22^2 \cdot (-6) + 11^2 \cdot 16 + 44^2 \cdot 4 = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар}.\end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что задача решена правильно. Полная мощность всей цепи:

$$\tilde{S} = P + jQ = 11132 + j6776 = 13000 e^{j31^\circ 20'} = 13000 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

9. При обрыве фазы ВС сопротивление ее равно бесконечности, следовательно, ток в ней равен нулю ( $I_{BC} = 0$ ). Токи в фазах АВ и СА останутся такими же, как до обрыва фазы ВС, вследствие того, что линейные, а, следовательно, и фазные напряжения не изменяются (рис. 2.8), то есть

$$\dot{I}_{AB} = 17,5 + j13,2 = 22 e^{j37^\circ} \text{ А}; I_{AB} = 22 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{CA} = 17,2 + j40,5 = 44 e^{j67^\circ} \text{ А}; I_{CA} = 44 \text{ А};$$

Линейные токи при обрыве фазы ВС равны:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А};$$



$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 0 - 17,5 - j13,2 = -17,5 - j13,2 = 22 e^{-j43^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17,2 + j40,5 - 0 = 44 e^{j67^\circ} \text{ A}.$$

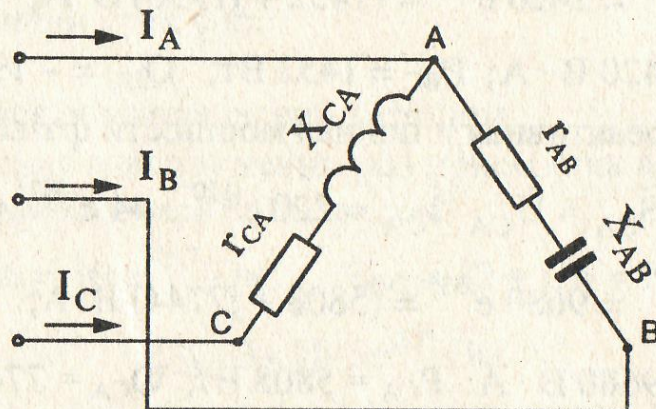


Рис. 2.8

### Векторная диаграмма

Для построения векторной диаграммы выбираются масштабы напряжения и тока:

$$m_U = 100 \text{ В/см}; \quad m_I = 10 \text{ А/см}.$$

Длины векторов напряжений:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{BC} = \bar{U}_{CA} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ см}.$$

Длины векторов токов:

$$\bar{I}_{AB} = \frac{|I_{AB}|}{m_I} = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{BC} = \frac{|I_{BC}|}{m_I} = \frac{11}{10} = 1,1 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{CA} = \frac{|I_{CA}|}{m_I} = \frac{44}{10} = 4,4 \text{ см};$$

$$\bar{I}_A = \frac{|I_A|}{m_I} = \frac{27,3}{10} = 2,73 \text{ см};$$

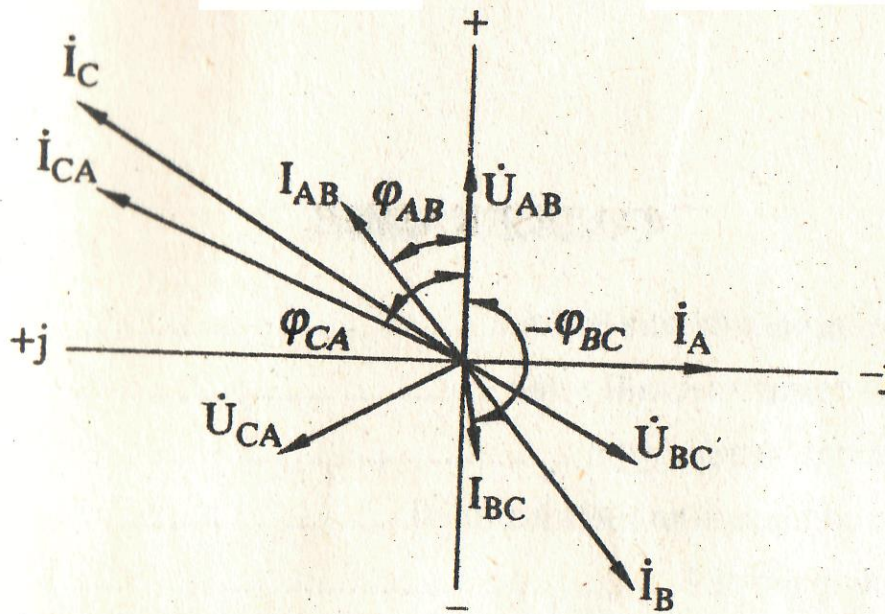
$$\bar{I}_B = \frac{|I_B|}{m_I} = \frac{31,7}{10} = 3,17 \text{ см};$$

$$\bar{I}_C = \frac{|I_C|}{m_I} = \frac{50,7}{10} = 5,07 \text{ см}.$$



Вектор напряжения  $\bar{U}_{AB} = 220 e^{j^\circ}$  совмещаем с вещественной положительной осью, вектор напряжения  $\bar{U}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ}$  откладываем в сторону отставания на  $120^\circ$ , а вектор напряжения  $\bar{U}_{CA} = 220 e^{+j120^\circ}$  в сторону опережения вектора напряжения  $\bar{U}_{AB}$  на  $120^\circ$ .

Векторы токов откладываются на комплексной плоскости с учетом их углов сдвига фаз.



### Практическая работа №8

**Тема: Расчет трехфазной несимметричной цепи при соединении приемников треугольником  
символическим методом**

*Обучающийся должен  
знать:*

- соединение вида «треугольник»;
- понятие не симметричная нагрузка, линейный ток, фазный ток, линейное фазное напряжение;
- комплексные числа;

*уметь:*

- рассчитывать не симметричные цепи при соединении приемников «треугольником» с помощью комплексных чисел;

**Задание:** Три приемника электрической энергии соединены «треугольником» в цепь трехфазного тока с линейным напряжением.

- Начертите схему цепи
- Определите фазные, линейные токи.
- Активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи.
- Задачу решить символическим методом.

**Таблица 1. Исходные данные к задаче**

Номер варианта	Задаваемые величины				Номер варианта	Задаваемые величины			
	U, В	$Z_{AB}$ , Ом	$Z_{BC}$ , Ом	$Z_{CA}$ , Ом		U, В	$Z_{AB}$ , Ом	$Z_{BC}$ , Ом	$Z_{CA}$ , Ом
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
00, 50	127	$4 - j3$	$3 + j4$	$6 + j8$	25, 75	220	$12 + j9$	135	$12 - j9$
01, 51	660	10	$8 - j10$	$10 + j8$	26, 76	380	$12 + j16$	140	$12 - j16$
02, 52	380	$16 - j12$	$12 + j16$	$32 + j24$	27, 77	660	$16 + j12$	145	$16 - j12$
03, 53	660	$12 - j9$	$9 + j12$	$24 + j18$	28, 78	127	$18 + j24$	150	$18 - j24$
04, 54	127	$4 - j3$	$4 + j3$	$8 + j6$	29, 79	220	$24 + j18$	160	$24 - j18$
05, 55	220	$20 - j15$	$15 + j20$	$40 + j30$	30, 80	380	$4 - j3$	$3 + j4$	$-j4$
06, 56	380	$24 - j18$	$18 + j24$	$48 + j36$	31, 81	660	$5 - j4$	$4 + j5$	$-j6$
07, 57	660	$28 - j21$	$21 + j28$	$56 + j42$	32, 82	127	$6 - j5$	$5 + j6$	$-j8$
08, 58	127	$32 - j24$	$24 + j32$	$64 + j48$	33, 83	220	$7 - j8$	$6 + j7$	$-j10$
09, 59	220	$2 - j1,5$	$1,5 + j2$	$4 + j3$	34, 84	380	$8 - j9$	$7 + j8$	$-j12$
10, 60	380	4	$3 - j4$	$6 + j9$	35, 85	660	$9 - j10$	$8 + j9$	$-j14$
11, 61	660	6	$4 - j3$	$8 + j6$	36, 86	127	$10 - j11$	$9 + j10$	$-j16$
12, 62	127	8	$6 - j8$	$12 + j8$	37, 87	220	$11 - j12$	$10 + j11$	$-j18$
13, 63	220	10	$8 - j6$	$16 + j16$	38, 88	380	$12 - j13$	$11 + j12$	$-j20$
14, 64	380	12	$9 - j12$	$18 + j12$	39, 89	660	$13 - j14$	$12 + j14$	$-j22$
15, 65	660	14	$12 - j9$	$24 + j36$	40, 90	127	$-j4$	$3 + j4$	$4 + j3$
16, 66	127	16	$9 - j16$	$18 + j24$	41, 91	220	$-j6$	$4 + j6$	$6 + j4$
17, 67	220	18	$16 - j12$	$32 + j18$	42, 92	380	$-j8$	$6 + j8$	$8 + j6$
18, 68	380	20	$9 - j9$	$18 + j18$	43, 93	660	$-j10$	$8 + j10$	$10 + j8$
19, 69	660	22	$32 - j24$	$64 + j48$	44, 94	127	$-j12$	$10 + j12$	$12 + j10$
20, 70	127	$3 + j4$	110	$3 - j4$	45, 95	220	$-j14$	$12 + j14$	$14 + j12$
21, 71	220	$4 + j3$	115	$4 - j3$	46, 96	380	$-j16$	$14 + j16$	$16 + j14$
22, 72	380	$6 + j8$	120	$6 - j8$	47, 97	660	$-j18$	$16 + j18$	$18 + j16$
23, 73	660	$8 + j6$	125	$8 - j6$	48, 98	127	$-j20$	$18 + j20$	$20 + j18$
24, 74	127	$9 + j12$	130	$9 - j12$	49, 99	220	$-j22$	$20 + j22$	$22 + j20$

**Пример к задаче 1.** Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений:

$$\begin{aligned} Z_{AB} &= (8 - j6) \text{ Ом}; & Z_{BC} &= (12 + j16) \text{ Ом}; \\ Z_{CA} &= (3 + j4) \text{ Ом} \end{aligned}$$

соединены треугольником и включены в трехпроводную цепь трехфазного тока с линейным напряжением  $U_L = 220 \text{ В}$ .



Начертите схему цепи и определите: 1) фазные и линейные токи; 2) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи; 3) фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы ВС.

### Решение.

Задача решается символическим методом.

1. Сопротивления и напряжения фаз приемника в алгебраической и показательной формах записи комплексов:

$$\underline{Z}_{AB} = 8 - j6 = 10 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = 12 + j16 = 20 e^{j53^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{CA} = 3 + j4 = 5 e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

При соединении фаз треугольником:

$$\dot{U}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} = (220 + j0) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} = (-110 - j190) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} = (-110 + j190) \text{ В};$$

2. Фазные токи:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = 22 e^{j37^\circ} = (17,5 + j13,2) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = 11 e^{-j137^\circ} = (-10,9 - j1,34) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = 44 e^{j67^\circ} = (17,2 + j40,5) \text{ А}.$$

3. Линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = -10,9 - j1,34 - 17,5 - j13,2 = -28,4 - j14,54 = 32 e^{-j153^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = -17,2 + j40,5 + 10,9 + j1,34 = -6,3 + j41,84 = 50,5 e^{j56^\circ 10'} \text{ А}.$$

4. Активная, реактивная и полная мощности фазы АВ:

$$\tilde{S}_{AB} = \dot{U}_{AB} \cdot \dot{I}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} \cdot 22 e^{-j37^\circ} =$$

$$= 4840 e^{-j37^\circ} = (3871 - j2904) \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{AB} = 4840 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{AB} = 3872 \text{ Вт}; \quad Q_{AB} = -2904 \text{ вар}.$$

5. Активная, реактивная и полная мощность фазы ВС:

$$\tilde{S}_{BC} = \dot{U}_{BC} \cdot \dot{I}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} \cdot 11 e^{j173^\circ} =$$

$$= 2420 e^{j53^\circ} = (1452 + j1936) \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{BC} = 2420 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{BC} = 1452 \text{ Вт}; \quad Q_{BC} = 1936 \text{ вар}.$$

6. Активная, реактивная и полная мощности фазы СА:

$$\tilde{S}_{CA} = \dot{U}_{CA} \cdot \dot{I}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} \cdot 44 e^{-j67^\circ} =$$

$$= 9680 e^{j53^\circ} = (5808 + j7744) \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{CA} = 9680 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{CA} = 5808 \text{ Вт}; \quad Q_{CA} = 7744 \text{ вар}.$$

7. Активная мощность всей цепи:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт}.$$

Активная мощность всей цепи по другой формуле:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ = 22^2 \cdot 8 + 11^2 \cdot 12 + 44^2 \cdot 3 = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт.}$$

8. Реактивная мощность всей цепи:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар.}$$

Реактивная мощность всей цепи по другой формуле:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ = 22^2 \cdot (-6) + 11^2 \cdot 16 + 44^2 \cdot 4 = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар.}$$

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что задача решена правильно.

Полная мощность всей цепи:

$$\tilde{S} = P + jQ = 11132 + j6776 = 13000 e^{j31^\circ 20'} = 13000 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

9. При обрыве фазы ВС сопротивление ее равно бесконечности, следовательно, ток в ней равен нулю ( $I_{BC}=0$ ). Токи в фазах АВ и СА останутся такими же, как до обрыва фазы ВС, вследствие того, что линейные, а, следовательно, и фазные напряжения не изменяются (рис. 1.), то есть

$$\dot{I}_{AB} = 17,5 + j13,2 = 22 e^{j37^\circ} \text{ А; } I_{AB} = 22 \text{ А;}$$

$$\dot{I}_{CA} = 17,2 + j40,5 = 44 e^{j67^\circ} \text{ А; } I_{CA} = 44 \text{ А;}$$

Линейные токи при  
ВС равны:

обрыве фазы

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 0 - 17,5 - j13,2 = -17,5 - j13,2 = 22 e^{j43^\circ} \text{ А; } 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А;}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17,2 + j40,5 - 0 = 44 e^{j67^\circ} \text{ А.}$$

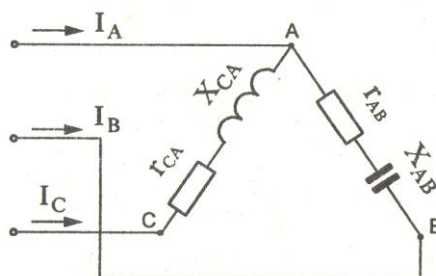


Рис. 5

## Практическая работа №9

## Тема: Расчет однофазных и трехфазных трансформаторов

*Обучающийся должен*

**Знать:**

- устройство, назначение трансформаторов;

*уметь:*

- определять параметры однофазных и трехфазных трансформаторов;

**Задача 1.** Для трехфазного трансформатора известны: мощность  $S_{\text{ном}}$ ; первичное и вторичное напряжения  $U_{\text{ном1}}$ ,  $U_{\text{ном2}}$ ; первичный и вторичный токи  $I_{\text{ном1}}$ ,  $I_{\text{ном2}}$ ; коэффициент трансформации  $K$ ; потери в стали  $P_{\text{ст}}$  и в обмотках  $P_{0\text{ном}}$ . Активные сопротивления обмоток  $R_1$  и  $R_2$ ; КПД трансформатора при полной нагрузке и коэффициенте мощности нагрузки  $\cos\varphi_2$  равен  $\eta_{\text{ном}}$ . Обмотки соединены в звезду. Потери мощности в обмотках распределяются поровну между ними. Определить величины, отмеченные прочерками, в таблице с исходными данными.

**Таблица 1. Исходные данные к задаче 1.**

Вариант	$S_{ном},$ кВ·А	$U_{ном1},$ кВ	$U_{ном2},$ кВ	$I_{ном1},$ А	$I_{ном2},$ А	К	$P_{ст},$ Вт	$P_{0ном},$ Вт	$R_1,$ $O_M$	$R_2, O_M$	$\cos\varphi_2$	$\eta_{ном}$
1	630	-	0,4	60,7	-	-	1,31	-	0,344	-	0,6	-
2	-	-	0,4	14,45	360,8	-	-	-	3,35	0,00538	-	0,981
3	1000	-	-	57,7	-	14,5	2,45	12,2	-	-	-	0,979
4	-	6	-	-	909	15	1,31	-	-	-	0,6	0,977
5	-	10	0,69	-	837	14,5	-	-	0,626	-	-	0,976
6	400	6	-	-	-	15	-	-	-	0,0029	0,75	0,978
7	-	6	0,4	-	-	-	-	7,6	-	0,00153	0,8	0,98
8	250	10	-	-	-	25	0,74	4,2	-	-	1,0	-
9	-	10	0,69	-	387	-	-	-	0,626	0,0029	0,92	-
10	160	6	0,23	-	-	-	0,51	3,1	-	-	0,8	-

**Задача 2.** Для однофазного трансформатора в таблице 2 заданы номинальные величины: мощность  $S_{\text{ном}}$ ; первичное  $U_{\text{ном1}}$  и вторичное  $U_{\text{ном2}}$  напряжения; первичный  $I_{\text{ном1}}$  и вторичный  $I_{\text{ном2}}$  токи; коэффициент трансформации  $K$ . В обмотках наводятся ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ ; числа витков обмоток  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Магнитная индукция в магнитопроводе  $B_m$ , его сечение  $Q$ , магнитный поток  $\Phi_m$ . Частота в сети  $f$ . Определить величины, отмеченные прочерками в таблице с исходными данными.

**Таблица 2. Исходные данные к задаче 2.**

Вариант	$S_{ном},$ кВ·А	$U_{ном1},$ кВ	$U_{ном2},$ кВ	$I_{ном1},$ А	$I_{ном2},$ А	К	$E_1,$ В	$E_2, В$	$\omega_1$	$\omega_2$	$B_m,$ Тл	$Q \cdot 10^{-3},$ м <sup>2</sup>	$\Phi_m \cdot 10^{-3},$ Вб	f, Гц
1	100	1000	250	-	-	-	-	-	-	-	1,5	12	-	50
2	-	-	220	-	2,23	-	380	-	-	-	1,2	-	3	100
3	12	6000	-	-	120	-	-	-	-	-	-	5	6,5	50



4	-	-	-	4,17	-	-	-	-	422	35	1,6	10	-	200
5	0,5	-	-	-	-	-	380	220	285	-	-	2,5	-	100
6	-	-	-	-	400	4	-	250	-	63	1,5	-	-	50
7	5	-	-	50	-	10	-	-	-	-	-	7,5	10,5	400
8	-	-	250	100	-	-	-	-	250	-	-	12	18	50
9	-	-	-	50	5	-	-	1000	5,4	-	1,4	-	-	400
10	-	-	-	2	-	60	6000	-	4150	-	-	5	-	50

### Пример:

**Задача 1.** Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные данные: мощность  $S_{ном} = 160$  кВ·А, напряжения обмоток  $U_{ном1} = 10$  кВ,  $U_{ном2} = 0,4$  кВ. Коэффициент его нагрузки  $k_H = 0,8$ ; коэффициент мощности потребителя  $\cos\varphi_2 = 0,95$ . Сечение магнитопровода  $Q = 160$  см<sup>2</sup>, амплитуда магнитной индукции  $B_m = 1,3$  Тл. Частота тока в сети  $f = 50$  Гц.

**Определить:** 1) номинальные токи в обмотках и токи при действительной нагрузке; 2) числа витков обмоток; 3) КПД при номинальной и действительной нагрузках. Обмотки трансформатора соединены в звезду.

*Решение.*

1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном} 1000}{(\sqrt{3} U_{ном1})} = \frac{160 \cdot 1000}{1,73 \cdot 10000} = 9,25 A;$$

$$I_{ном2} = \frac{S_{ном} 1000}{(\sqrt{3} U_{ном2})} = \frac{160 \cdot 1000}{1,73 \cdot 400} = 231 A.$$

2. Токи в обмотках при заданном коэффициенте нагрузки:

$$I_1 = k_H I_{ном1} = 0,8 \cdot 9,25 = 7,4 A;$$

$$I_2 = k_H I_{ном2} = 0,8 \cdot 231 = 185 A.$$

3. Фазные ЭДС в обмотках при соединении обмоток  $\lambda/\lambda$ :

$$E_{\phi1} = \frac{U_{ном1}}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{1,73} = 5774 B;$$

$$E_{\phi2} = \frac{U_{ном2}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1,73} = 230 B.$$

4. Числа витков обмоток находим из формулы:

$$E_{\phi1} = 4,44 f \omega_1 \Phi_m = 4,44 f \omega_1 B_m Q,$$

откуда число витков

$$\omega_1 = \frac{E_{\phi1}}{(4,44 B_m Q)} = \frac{5774}{(4,44 \cdot 50 \cdot 1,3 \cdot 0,016)} = 1250;$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 E_{\phi2}}{E_{\phi1}} = \frac{1250 \cdot 230}{5774} = 50.$$

5. КПД при номинальной нагрузке. Предварительно из табл. 3 находим потери в стали  $P_{ст} = 0,51$  кВт и потери в обмотках  $R_{0ном} = 3,1$  кВт. Тогда КПД

$$\eta_{ном} = \frac{S_{ном} \cos \varphi_2}{(S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_{0ном})} = \frac{160 \cdot 0,95}{(160 \cdot 0,95 + 0,51 + 3,1)} = 0,977, \text{ или } 97,7\%.$$

КПД при действительной нагрузке

$$\eta = \frac{k_n S_{ном} \cos \varphi_2}{(k_n S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{ст} + k_n^2 P_{0ном})} = \frac{0,8 \cdot 160 \cdot 0,95}{(0,8 \cdot 160 \cdot 0,95 + 0,51 + 0,8^2 \cdot 3,1)} = 0,98, \text{ или } 98\%.$$

Таблица 3

Тип трансформатора	$S_{ном},$ кВ·А	Напряжения обмоток, кВ		Потери мощности, кВт		$U_K,$ %	$I_{1х},$ %
		$U_{ном1}$	$U_{ном2}$	$P_{ст}$	$P_{ном}$		
ТМ-100/6; 10	100	6; 10	0,23; 0,4	0,33	2,27	6,8	2,6
ТМ-160/6; 10	160		0,23; 0,4; 0,69	0,51	3,1	4,7	2,4
ТМ-250/6; 10	250		0,23; 0,4; 0,69	0,74	4,2	4,7	2,3
ТМ-400/6; 10	400		0,23; 0,4; 0,69	0,95	5,5	4,5	2,1
ТМ-630/6; 10	630		0,23; 0,4; 0,69	1,31	7,6	5,5	2,0
ТМ-1000/6; 10	1000		0,23; 0,4; 0,69	2,45	12,2	5,5	2,8
ТМ-1600/6; 10	1600		0,23; 0,4; 0,69	3,3	18,0	5,5	2,6
ТМ-2500/10	2500	10	0,4; 0,69; 10,5	4,3	24,0	5,5	1,0

*Примечание.* Трансформатор ТМ-400/10 - с масляным охлаждением, трехфазный с  $S_{ном} = 400$  кВ·А;  $U_{ном1} = 10$  кВ и  $U_{ном2} = 0,23$  или  $0,4$ , или  $0,69$  кВ; потери в стали  $P_{ст} = 0,95$  кВт; потери в обмотках  $P_{0ном} = 5,5$  кВт; напряжение короткого замыкания  $U_K = 4,5\%$ ; ток холостого хода  $I_{1х} = 2,1\%$ .

**Задача 2.** Однофазный трансформатор с  $S_{ном} = 250$  В·А служит для питания ламп безопасности. Напряжения обмоток  $U_{ном} = 380$  В;  $U_{ном2} = 12$  В. К трансформатору присоединены восемь ламп накаливания мощностью по 25 Вт с коэффициентом мощности  $\cos \varphi_2 = 1,0$ . Магнитный поток в магнитопроводе  $\Phi_m = 0,0025$  Вб. Частота тока в сети  $f = 50$  Гц.

**Определить:** 1) номинальные токи в обмотках; 2) коэффициент нагрузки; 3) токи при действительной нагрузке; 4) числа витков обмоток; 5) коэффициент трансформации.

*Решение.*

1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{U_{ном1}} = \frac{250}{380} = 0,66 \text{ А};$$

$$I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{U_{ном2}} = \frac{250}{12} = 20,8 \text{ А}.$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$k_n = \frac{P_2}{(S_{ном} \cos \varphi_2)} = \frac{25 \cdot 8}{250 \cdot 1,0} = 0,8.$$

3. Токи в обмотках при действительной нагрузке:

$$I_1 = k_{ном} I_{ном1} = 0,8 \cdot 0,66 = 0,53 \text{ А};$$

$$I_2 = k_{номI} I_{ном2} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,64 \text{ А}.$$

4. Числа витков обмоток находим из формулы:  $E = 4,44 f \omega \Phi_m$ .

$$\text{Тогда } \omega_1 = \frac{E_1}{(4,44 f \Phi_m)} = \frac{380}{(4,44 \cdot 50 \cdot 0,0025)} = 685;$$

$$\omega_2 = \frac{E_2}{(4,44 f \Phi_m)} = \frac{12}{(4,44 \cdot 50 \cdot 0,0025)} = 22.$$

$$5. \text{Коэффициент трансформации } K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{380}{12} = 31,7.$$

### Практическая работа №10

#### Тема: Решение задач по теме: «Генераторы постоянного тока»

Обучающийся должен

знать:

- устройство генератора постоянного тока;
- способы возбуждения генераторов постоянного тока;

уметь:

- рассчитывать параметры генератора постоянного тока с параллельным возбуждением;
- чертить схему генератора, включенного в сеть с параллельным возбуждением.

**Задача.** Генераторы постоянного тока с параллельным возбуждением отдаёт полезную мощность  $P_2$  при напряжении  $U_{\text{ном}}$ . Ток в нагрузке  $I_n$ ; ток в цепи якоря  $I_a$ , в обмотке возбуждения  $I_b$ . Сопротивления цепи: якоря  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_b$ ; ЭДС генератора  $E$ . Генератор приводится во вращение двигателем мощностью  $P_d$ . Электромагнитная мощность, развиваемая генератором, равна  $P_{\text{эм}}$ . Потери мощности в цепи якоря  $p_a$ , в обмотке возбуждения  $p_b$ . Суммарные потери мощности составляют  $\Sigma p$ ; КПД генератора  $\eta_r$ . Определить величины, указанные в последней графе таблицы 1.

Таблица. Исходных данных к задаче

Вариант	$P_d$ , кВт	$P_2$ , кВт	$P_{\text{эм}}$ , кВт	$p_a$ , кВт	$p_b$ , кВт	$\Sigma p$ , кВт	$I_n$ , А	$I_a$ , А	$I_b$ , А	$U_{\text{ном}}$ , В	$E$ , В	$R_a$ , Ом	$R_b$ , Ом	$\eta_r$	Определить значения величин
1	23,4	-	22	-	-	-	-	-	-	430	440	-	215	-	$I_a, I_n, P_2, \eta_r$
2	-	20,6	-	-	-	2,8	48	-	-	-	440	0,2	-	-	$P_{\text{эм}}, U_{\text{ном}}, R_b, \eta_r$
3	-	20,6	-	0,5	-	-	48	-	2	-	-	-	-	0,88	$U_{\text{ном}}, P_{\text{эм}}, E, R_a$
4	-	-	-	-	-	-	48	-	-	430	440	0,2	-	0,88	$P_2, \Sigma p, p_b, I_a$
5	-	-	-	-	-	-	48	50	-	-	-	0,2	215	0,88	$P_{\text{эм}}, U_{\text{ном}}, P_1, E$
6	23,4	20,6	-	-	-	-	-	-	2	430	440	-	-	-	$I_n, I_a, R_a, \eta_r$
7	-	-	-	0,5	0,86	-	-	-	-	-	-	0,2	215	0,88	$P_2, P_1, P_{\text{эм}}, E$
8	-	-	-	-	-	2,8	-	50	2	430	-	0,2	-	-	$P_1, P_2, E, \eta_r$
9	23,4	-	-	-	-	-	48	-	2	-	440	-	-	0,88	$P_2, p_a, R_a, U_{\text{ном}}$
10	-	-	22	0,5	0,86	-	-	-	-	-	440	-	-	0,88	$P_2, I_a, I_b, U_{\text{ном}}$
11	-	-	23,5	-	-	3,8	98	100	-	-	-	0,15	-	-	$U_{\text{ном}}, P_2, E, \eta_r$
12	25,4	-	-	1,5	-	3,8	-	-	2	220	-	-	-	-	$I_n, E, R_b, \eta_r$
13	-	-	-	1,5	0,44	-	-	100	-	220	-	-	-	0,85	$P_1, P_2, E, I_b$
14	25,4	-	23,5	-	-	3,8	-	-	-	-	235	-	110	-	$I_n, I_a, U_{\text{ном}}, \eta_r$
15	25,4	21,6	-	-	-	-	98	100	-	-	-	0,15	-	-	$U_{\text{ном}}, E, I_b, \eta_r$
16	-	21,6	23,5	-	-	-	98	100	-	-	-	-	-	0,85	$U_{\text{ном}}, E, R_a, \Sigma p$
17	-	21,6	-	-	0,44	-	-	-	-	220	-	0,15	-	0,85	$P_1, p_a, I_n, E$



18	-	-	-	-	0,44	-	-	100	-	-	235	0,15	-	0,85	$U_{ном}, P_2, \Sigma p, R_B$
19	25,4	-	-	-	-	-	-	100	-	220	235	-	110	-	$P_2, I_H, R_a, \eta_r$
20	-	-	-	-	-	-	98	-	-	220	-	0,15	110	0,85	$P_1, P_{эм}, \Sigma p, E$

**Задача.** Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 1) развивает на выводах номинальное напряжение  $U_{ном} = 220В$  и нагружен на сопротивление  $R_H = 2,2 Ом$ . Сопротивления обмотки якоря  $R_a = 0,1 Ом$  и обмотки возбуждения  $R_B = 110 Ом$ . КПД генератора  $\eta_r = 0,88$ . Определить: 1) токи в нагрузке  $I_H$  обмотках якоря  $I_a$  и возбуждения  $I_B$ ; 2) ЭДС генератора  $E$ ; 3) полезную мощность  $P_2$  и потребляемую  $P_1$ ; 4) суммарные потери в генераторе  $\Sigma p$ ; 5) электромагнитную мощность  $P_{эм}$ ; 6) электрические потери в обмотках якоря  $p_a$  и возбуждения  $p_B$ .

**Решение.**

1. Токи в нагрузке, обмотках возбуждения и якоря:

$$I_H = \frac{U_{ном}}{R_H} = \frac{220}{2,2} = 100 A;$$

$$I_B = \frac{U_{ном}}{R_B} = \frac{220}{110} = 2 A;$$

$$I_a = I_H + I_B = 100 + 2 = 102 A.$$

2. ЭДС генератора:

$$E = U_{ном} + I_a R_a = 220 + 102 \cdot 0,1 = 230,2 В$$

3. Полезная и потребляемая мощности:

$$P_2 = U_{ном} I_H = 220 \cdot 100 = 22000 Вт = 22 кВт;$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_r} = \frac{22}{0,88} = 25 кВт.$$

4. Суммарные потери в генераторе:

$$\Sigma p = P_1 - P_2 = 25 - 22 = 3 кВт.$$

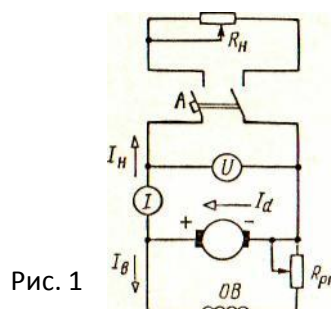
5. Электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = E I_a = 230,2 \cdot 102 = 23480,4 Вт = 23,48 кВт.$$

6. Электрические потери в обмотках якоря и возбуждения:

$$p_a = I_a^2 R_a = 102^2 \cdot 0,1 = 1040,4 Вт;$$

$$p_B = I_B^2 R_B = 2^2 \cdot 110 = 440 Вт$$



## Практическая работа №11

### Тема: Решение задач по теме: «Асинхронные двигатели»

Обучающийся должен

знать:

- устройство асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;

уметь:

- рассчитывать параметры асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- строить механическую характеристику АД с короткозамкнутым ротором.

**Задача.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором серии АИР имеет технические данные, приведенные в таблице, работает от сети с частотой 50 Гц и напряжением  $U_C = 380\text{В}$ .

**Определить:** высоту оси вращения  $h$ ; число полюсов  $2p$ ; особые условия работы, климатическое исполнение, категорию размещения, критическое скольжение  $S_{кр}$ ; частоту вращения поля статора  $n_1$  и частоту вращения ротора при номинальной нагрузке  $n_n$ ; частоту тока в роторе при номинальной нагрузке  $f_{2S}$ , номинальный момент на валу двигателя  $M_{ном}$ ; начальный пусковой  $M_{п}$  и максимальный  $M_{макс}$  моменты; силу номинального и пускового токов  $I_n$  и  $I_{п}$  питающей сети при соединении обмоток статора звездой и треугольником; потребляемую электродвигателем мощность  $P_1$  (кВт) при номинальной нагрузке.

Рассчитать данные и построить механическую характеристику электродвигателя  $M = f(S)$ , приняв  $S = 0$ ,  $S_n$ ,  $S_{кр}$ ,  $S = 1$ ,  $S = 0,4$  и  $S = 0,6$ .

*Примечание:* Для электродвигателей, имеющих соединение обмоток только «звездой», определить, насколько изменится сила пускового тока. Начальный, пусковой и максимальный моменты при снижении напряжения в сети на 10%.

**Таблица. Исходные данные к задаче**

вариант	Типоразмер двигателя	Номинальная мощность $P_n$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	Номинальное напряжение $U_n$ , В при соединении обмоток статора	
			КПД, %	$\cos \varphi$	скольжение $s_{нн}$ , %				У	Д
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	АИР100S2У1	4	87	0,88	5	2	2,2	7,5	380	-
2	АИР100L2У3	5,5	88	0,89	5	2	2,2	7,5	380	-
3	АИР112М2У3	7,5	87,5	0,88	3,5	2	2,2	7,5	380	-
4	АИР132М2У3	11	88	0,9	3	1,6	2,2	7,5	380	-
5	АИР160S2У2	15	89	0,89	3	1,8	2,7	7	660	380

6	АИР160М2У2	18,5	89,5	0,9	3	1,8	2,7	7	660	380
7	АИР180S2У1	22	89,5	0,8 8	2,7	1,7	2,7	7	660	380
8	АИР100L4СУ 1	4	85	0,8 4	6	2	2,2	7	380	-
9	АИР112М4У5	5,5	87,5	0,8 8	4,5	2	2,2	7	380	-
10	АИР132S4У2	7,5	87,5	0,8 6	4	2	2,2	7,5	380	-
11	АИР132М4У2	11	87,5	0,8 7	3,5	2	2,2	7,5	380	-
12	АИР160S4У2	15	89,5	0,8 9	3	1,9	2,9	7	660	380
13	АИР160М4У2	18,5	90	0,8 9	3	1,9	2,9	7	660	380
14	АИР180М2СУ 1	30	90,5	0,8 8	2,5	1,7	2,7	7,5	660	380
15	АИР180М4У2	30	91,5	0,8 6	2	1,7	2,7	7	660	380
16	АИР112М6СУ 1	4	82	0,8 1	5	2	2,2	6	380	-
17	АИР132S6СУ 1	5,5	85	0,8	4	2	2,2	7	380	-
18	АИР132М6У3	7,5	85	0,8 1	4	2	2,2	7	380	-
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
19	АИР160S6У4	11	87	0,8 4	3	1,7	2,5	6,5	380	-
20	АИР160М6У2	15	88	0,8 5	3	1,7	2,6	6,5	660	380
21	АИР180М6У2	18,5	88	0,8 5	2	1,6	2,4	6,5	660	380
22	АИР132М8У5	5,5	83	0,7 4	5	1,8	2,2	6	380	-
23	АИР160S8У4	7,5	87	0,7 5	3	1,6	2,4	5,5	380	-
24	АИР160М8У3	11	87,5	0,7 5	3	1,6	2,4	6	380	-
25	АИР180М8У2	15	89	0,8 2	2,5	1,6	2,2	5,5	660	380

### **Задание 1.**

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИР180S4У2 имеет следующие технические данные: номинальную мощность  $P_H = 22$  кВт; номинальное напряжение при соединении обмоток в треугольник или звезду  $U_H = 380/660$  В; скольжение  $S_H = 2,5\%$ ; КПД = 90%,  $\cos\varphi = 0,87$ ; кратности моментов: пускового  $M_{\pi}/M_H = 1,5$ ; максимального  $\lambda = M_{\max}/M_H = 2,4$ , ( $\kappa$



- перегрузочная способность двигателя), минимального  $\kappa = M_{\min}/M_n = 1,7$ ; кратность пускового тока  $\kappa_i = I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 6,5$ .

Напряжение питающей сети  $U_n = 380$  В (фазное), частота  $f = 50$  Гц.

**Определить:** высоту оси вращения  $h$ , число полюсов  $2p$ , особые условия работы, климатическое исполнение, категорию размещения, критическое скольжение  $S_{\text{кр}}$ , частоту вращения поля статора  $n_1$  частоту тока в роторе  $f_{2s}$  и частоту вращения ротора  $n_{\text{ном}}$  при номинальной нагрузке, момент на валу  $M_{\text{ном}}$ , начальный пусковой  $M_{\text{п}}$  и максимальный  $M_{\text{макс}}$  моменты; силу номинального и пускового токов  $I_{1n}$  и  $I_{\text{п}}$  в питающей сети при соединении обмоток статора звездой и треугольником; потребляемую электродвигателем мощность при номинальной нагрузке  $P_1$  (кВт).

По упрощенной формуле Клосса рассчитать данные и построить механическую характеристику  $M = f(S)$ .

### **Решение:**

1. Высоту оси вращения  $h$  и число полюсов  $2p$  находят из структуры обозначения типоразмера электродвигателя: АИР180S4У2

$$h = 180 \text{ мм}; 2p = 4.$$

Буква «У» в структуре обозначения показывает, что двигатель предназначен для работы в умеренном климате, цифра 2 - для размещения под навесом (вторая категория размещения).

2. Критическое скольжение:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 2,5 \left( 2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1} \right) = 2,5 * 4,58 = 11,5\%$$

3. Частота вращения поля статора:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ мин}^{-1}.$$

4. Частота тока в роторе при номинальной нагрузке:

$$f_{2s} = f_1 * S_{\text{ном}} = 50 * 0,025 = 1,25 \text{ Гц}.$$

5. Частота вращения ротора при номинальной нагрузке:

$$n_n = n_1 (1 - S_n) = 1500 * (1 - 0,025) \approx 1462 \text{ мин}^{-1}.$$

6. Номинальный момент на валу двигателя:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_n}{n_n} = 9,55 \frac{22 \cdot 10^3}{1462} = 143,7 \text{ Нм}.$$

7. Начальный пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = 1,5 * M_{\text{ном}} = 1,5 * 143,7 = 215,55 \text{ Нм}.$$

8. Максимальный момент:

$$M_{\text{макс}} = \lambda * M_{\text{ном}} = 2,4 * 143,7 = 344,88 \text{ Нм}.$$

9. Потребляемая электродвигателем из сети мощность:

$$P_1 = P_n / \eta_n = 22 / 0,9 = 24,44 \text{ кВт}.$$

10. Сила номинального тока в питающей сети определяется при сопряжении обмоток статора в «треугольник»:

$$I_{1 \text{ ном}} = P_1 / \sqrt{3} U_1 * \cos \varphi_n = 24440 / 1,73 * 380 * 0,87 = 42,73 \text{ А}.$$

Сила номинального тока в фазе обмотки статора:

$$I_{1 \Phi} = I_{1 \text{ ном}} / \sqrt{3} = 42,73 / 1,73 = 24,7 \text{ А}.$$

11. Сила пускового тока при соединении обмоток статора «треугольником» (то есть при номинальном напряжении):

$$I_{п\Delta} = k_i \cdot I_{ном} = 6,5 \cdot 42,73 = 277,7 \text{ А.}$$

Сила пускового тока при соединении обмоток статора «звездой»:

$$I_{пY} = I_{п\Delta} / 3 = 277,7 / 3 = 92,6 \text{ А.}$$

12. Начальный пусковой и максимальный моменты также уменьшаются в 3 раза, так как развиваемый двигателем момент пропорционален квадрату напряжения  $U_1$

$$M_{пY} = M_{п\Delta} / 3 = 215,55 / 3 \approx 71,8 \text{ Н м,}$$

$$M_{максY} = M_{макс\Delta} / 3 = 344,88 / 3 \approx 114,9 \text{ Н м.}$$

13. Значения моментов при  $S = 0,4$  и  $S = 0,6$  определяем по упрощенной формуле Клосса:

$$M = M_{макс} \frac{2}{S / S_{кр} + S_{кр} / S},$$

$$M_{0,4} \approx 344,88 \cdot \frac{2}{0,4 / 0,115 + 0,115 / 0,4} = 344,88 \cdot 0,53 = 183,17 \text{ Нм.}$$

$$M_{0,6} \approx 344,88 \cdot \frac{2}{0,6 / 0,115 + 0,115 / 0,6} = 344,88 \cdot 0,37 = 127,54 \text{ Нм.}$$

14. По значениям скольжений и моментов:

$S = 0 \text{ о.е.}$	$S_H = 0,025$	$S_{кр} = 0,115$	$S = 0,4$	$S = 0,6$	$S = 1$
$M = 0, \text{ Нм.}$	$M_H = 143,7$	$M_{кр} = 344,88$	$M_{0,4} = 183,17$	$M_{0,6} = 127,54$	$M_{пуск} = 215,55$

Строим механическую характеристику  $M = f(S)$ .

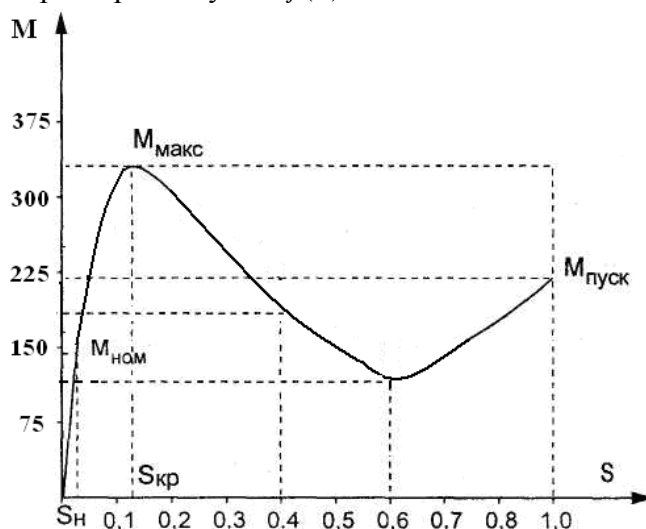


Рис. 1.3. Механическая характеристика асинхронного двигателя АИР180S4У2.

15. Сила пускового тока при снижении  $U_1$  на 10%,

$$I_n^1 = I_n \frac{0,9U_n}{U_n} = 0,9 \cdot 277,7 = 249,9 \text{ А.}$$

Начальный, пусковой и максимальный моменты составят при  $U_1 = 0,9U_H$ :

$$M_n^1 = M_n \cdot \left( \frac{0,9U_n}{U_n} \right)^2 = 0,81 M_n = 0,81 \cdot 143,7 = 116,4 \text{ Нм;}$$

$$M_{макс}^1 = M_{макс} \cdot \left( \frac{0,9U_n}{U_n} \right)^2 = 0,81 M_{макс} = 0,81 \cdot 344,88 = 279,35 \text{ Нм.}$$

Вывод. Квадратичная зависимость момента асинхронных двигателей от напряжения  $M=U_c^2$  является их недостатком, так как при незначительном снижении напряжения момент существенно изменяется.

Изменение напряжения влияет не только на значения моментов, но и на значение частоты вращения двигателя.

Пуск двигателя возможен, если его пусковой момент  $M_{\text{пуск}}$  больше момента  $M_c$ , равного сумме моментов холостого хода и сопротивления рабочей машины, приводимой во вращение.

## **Практическая работа №12** **Инструкционная карта**

### **ЛПЗ № 12**

по дисциплине: «Электротехника и электронная техника»

**Тема:** *«Изучение устройства индукционного и электромагнитного измерительного механизма»*

**Цель работы:** Изучение устройства, принципа действия, достоинств и недостатков электроизмерительных механизмов.

Студент должен:

Знать: принцип действия, устройство, основные характеристики электронных устройств и приборов;

Уметь: подбирать устройства электронной техники, электрические приборы;

**Норма времени:** 2 часа

**Перечень оборудования:**

1. Измерительный прибор
2. Инструменты

**Порядок выполнения работы**

1. Определение назначения всех элементов устройства измерительного механизма.
2. Изучения принципа работы.
3. Составления отчета.
4. Ответы на контрольные вопросы.

**Контрольные вопросы**

1. Принцип создания вращающегося момента.
2. Принцип создания момента противодействия.
3. Принцип создания успокаивающего (тормозного) момента.
4. Достоинства и недостатки механизмов данной системы.
5. Схемы подключения приборов данной системы.

**Содержание отчета:**

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Оборудование и приборы.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Выводы.



## Практическая работа № 13

### Инструкционная карта

#### ЛПЗ № 13

по дисциплине: «Электротехника и электронная техника»

**Тема:** *«Изучение измерений токов, напряжений, сопротивлений»*

**Цель работы:** Изучение устройства, принципа действия, достоинств и недостатков электроизмерительных приборов: амперметра; вольтметра; омметра.

Студент должен

*Знать:* принцип действия, устройство, основные характеристики электронных устройств и приборов;

*Уметь:* пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями;

**Норма времени:** 2 часа

#### **Перечень оборудования:**

Амперметр.

Вольтметр.

Омметр.

Схема электрической цепи.

#### **Порядок выполнения работы**

Определение назначения всех элементов устройства измерительного прибора.

Способы подключения его в цепь.

Определение цены деления.

Снятие показаний.

#### **Контрольные вопросы**

6. Принцип подключения амперметра в цепь.
7. Выполнение измерения тока амперметром.
8. Принцип подключения вольтметра в цепь.
9. Выполнение измерения напряжения вольтметром.
10. Принцип определения сопротивления по показаниям амперметра и вольтметра.
11. Принцип подключения омметра в цепь.
12. Выполнение измерения сопротивления омметром.

#### **Содержание отчета:**

6. Наименование работы.
7. Цель работы.
8. Оборудование и приборы.
9. Ответы на контрольные вопросы.
10. Выводы.

## Практическая работа № 14

### Инструкционная карта

#### ЛПЗ № 14

по дисциплине: «Электротехника и электронная техника»

**Тема:** *«Изучение измерений мощностей»*

**Цель работы:** Изучение устройства, принципа действия, достоинств и недостатков электроизмерительного прибора ваттметра.

#### **Порядок выполнения работы**

Определение назначения всех элементов устройства измерительного прибора.

Способы подключения его в цепь.

Определение цены деления.

Снятие показаний.

**Норма времени:** 2 часа

**Перечень оборудования:**

5. Ваттметр.
6. Схема электрической цепи.

**Контрольные вопросы**

13. Принцип подключения ваттметра в цепь.
14. Выполнение измерения мощности ваттметром.
15. Принцип подключения ваттметра в симметричную трёхфазную цепь при соединении нагрузки звездой.
16. Принцип подключения ваттметра в симметричную трёхфазную цепь при соединении нагрузки треугольником.
17. Принцип подключения ваттметра в трёхпроводную трёхфазную цепь при несимметричной нагрузке.
18. Принцип подключения ваттметра с искусственной нулевой точкой.
19. Выполнение измерения мощности ваттметром в трёхфазных цепях.

**Содержание отчета:**

11. Наименование работы.
12. Цель работы.
13. Оборудование и приборы.
14. Ответы на контрольные вопросы.
15. Выводы.

## **Практическая работа № 15**

**Тема: Выбор пуско-защитной аппаратуры для силового электрооборудования**

*Обучающийся должен*

*знать:*

- условия выбора двигателя, магнитного пускателя, теплового реле, автоматического выключателя, предохранителя, сечения и марки привода (кабеля);

*уметь:*

- пользоваться справочной литературой.

**Задача.** Рабочая машина (агрегат, установка, рабочий механизм) приводится в движение с помощью передаточного устройства трехфазным АД с короткозамкнутым ротором. Двигатель питается от сети напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью при частоте  $f_{\text{л}} = 50$  Гц.

Данные к задаче представлены в таблице.

Климатический район, где расположена рабочая машина, определить по месту расположения учебного заведения.

*Требуется:*

1. Вычертить схему управления двигателя рабочей машины в зависимости от наличия реверса с помощью магнитного пускателя.

2. Выбрать электродвигатель для привода рабочей машины, магнитный пускатель, тепловое реле, сечение провода (кабеля), автоматический выключатель для защиты электроустановки от перегрузки и короткого замыкания.

**Таблица 1. Исходные данные к задаче**

Варианты	Рабочая машина, агрегат, установка, механизм	Тип передачи	Частота вращения рабочего вала машины, мин <sup>-1</sup>	Потребляемая мощность, кВт	Характеристика места установки рабочей машины	Способ прокладки проводов (кабеля)
1	2	3	4	5	6	7
<b>Дробилка – измельчитель грубых кормов повышенной влажности ИРТ-80</b>						
01, 26, 51, 76	ротор дробилки	непосредственно	2920	27	под навесом	в металло-рукаве
0,2 27, 52, 77	загрузочный бункер	вариаторная + коническая + клиноременная	n <sub>мин</sub> =218 n <sub>макс</sub> =515	1,4	—«—	—«—
<b>Измельчитель грубых кормов ИГК 30Б</b>						
03, 28, 53, 78	ротор дробилки	клиноременная 1:3	2920	25,6	—«—	—«—
<b>Установка доильная «Елочка-Автомат» УДА-16А</b>						
04, 29, 54, 79	молочный насос НМУ-6	непосредственно	2940	0,6	как и под навесом	в ПВХ-рукаве
05, 30, 55, 80	вакуумная установка УВУ-60	непосредственно	2850	3,2	—«—	—«—
<b>Универсальная доильная установка УДС-3Б</b>						
06, 31, 56, 81	вакуумная установка УВУ-45	непосредственно	2850	2,4	—«—	—«—
<b>Резервуар – охладитель молока МКА-2000 л-2А</b>						
07, 32, 57, 82	молочный насос 36 МЦ-10-20	непосредственно	2850	1,2	—«—	—«—
<b>Установка теплохолодильная ТХУ 23</b>						
08, 33, 58, 83	насос хладоносителя (воды) 1,5К-6А	непосредственно	2900	1,5	—«—	—«—
<b>Холодильная машина МВТ-20-01</b>						
09, 34, 59, 84	вентилятор	непосредственно	1360	0,55	Сухое неотапливаемое	—«—
<b>Агрегат картофелезапарочный АКЗ-3</b>						
10, 35, 60, 85	выгрузной шнек	Червячный одноходовой редуктор + цепь	85	1,0		в металло-рукаве
1	2	3	4	5	6	7
<b>Дробилка кормов молотковая ДКМ-5</b>						
11, 36, 61, 86	ротор дробилки	непосредственно	2920	27	под навесом	—«—
12, 37, 62, 87	загрузочный шнек	Редуктор 2-х ступенчатый цилиндрический	85	0,9	—«—	—«—



Агрегат для сухой очистки и измельчения корнеклубнеплодов ИКУ-Ф-10						
13, 38, 63, 88	измельчитель кормов	непосредственно	975	7,0	—«—	—«—
14, 39, 64, 89	конвейер винтовой	непосредственно	950	2,0	—«—	—«—
15, 40, 65, 90	конвейер скребковый	Редуктор 2-х ступенчатый цилиндрический 3:1	935	0,9	—«—	—«—
16, 41, 66, 91	очиститель	Редуктор 2-х ступенчатый цилиндрический 1,54:1	935	1,85	—«—	—«—
Кормораздатчик КЭС-1,7						
17, 42, 67, 92	механизм передвижения	Редуктор 2-х ступенчатый цилиндрический	85	0,6	как и на открытом воздухе	гибкий кабель в металло-рукаве
18, 43, 68, 93	механизм раздачи корма	Редуктор 2-х ступенчатый цилиндрический	85	2,0	—«—	—«—
19, 44, 69, 94	Электрофреза для обработки почвы ФС-0,85А	Редуктор 2-х ступенчатый цилиндрический	240	3,0	—«—	гибкий кабель
20, 45, 70, 95	Нория Н1-10, h=30 м	червячный двухзаходный редуктор	114	1,0	—«—	в металло-рукаве
21, 46, 71, 96	Нория Н1-20, h=30 м	2-х ступенчатый цилиндрический редуктор + клиноременная	92	3,5	—«—	—«—
22, 47, 72, 97	Нория Н1-100, h=30 м	2-х ступенчатый цилиндрический редуктор + клиноременная	61	11	под навесом	—«—
23, 48, 73, 98	Ленточный трансформатор ЛТ-100	клиноременная	114	12	на открытом воздухе	—«—
24, 49, 74, 99	Цепной трансформатор Т1-ТСЦ-25/15	2-х ступенчатый цилиндрический редуктор	61	2,5	под навесом	—«—
25, 50, 75, 00	Токарно-винторезный станок 1К-62, главный привод	клиноременная + цилиндрический редуктор	20...3000	9	сухое, отапливаемое	в трубе

#### Методические указания

**Задача** – комплексная, содержит задания по выбору электродвигателя для привода конкретной рабочей машины, аппаратов управления, проводов (кабеля) для питания электродвигателя, аппаратов защиты.

Электродвигатели к рабочим машинам выбирают по условиям:

- по напряжению и роду тока  $U_{ндв} = U_{сети}$
- частоте вращения  $n_{ндв} = n_{раб. м.}$
- условиям окружающей среды: климатическое исполнение, категория размещения
- значению нагрузки:  $P_{н. дв} \geq P_{потр. раб. м.} (P_x)$
- режима нагрузки: длительный, кратковременный, повторно-кратковременный.

В сельскохозяйственном производстве, в основном, используют трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, предназначенные для продолжительного режима работы при напряжении 380/220 В.

### Выбор электродвигателя по частоте вращения

Прямое соединение двигателя с машиной с помощью муфты возможно только при совпадении частот вращения двигателя и приводного вала машины. Если частоты не совпадают, то подбирают двигатель с большей частотой вращения и применяют соответствующего типа передачу. Тип передачи выбирают в зависимости от необходимого передаточного числа и конструктивных особенностей производственной установки.

**Таблица 2. КПД и максимально допустимые передаточные числа различных передач**

Тип передачи	Максимально допустимое передаточное число	КПД
Прямая (с помощью муфты)	1	
Клиноременная	10	0,95...0,96
Цепная	8	0,96..0,97
Зубчатая сухая	7	0,93..0,95
Зубчатая в масляной ванне	7	0,95...0,98
Двухступенчатый цилиндрический редуктор		0,86...0,94
Редуктор с однозаходной червячной передачей		0,72...0,77
Редуктор двухзаходной червячной передачей		0,80...0,85

При выборе электродвигателя по номинальной частоте вращения учитывают и технические показатели. Масса и стоимость быстроходных двигателей меньше, а номинальные КПД и коэффициент мощности  $\cos\phi$  больше.

Технико-экономические расчеты и практический опыт показывают, что в большинстве случаев наиболее экономичны двигатели с частотой вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$ . Число таких двигателей в сельском хозяйстве превышает 90%. Двигатели на  $3000 \text{ мин}^{-1}$  применяют для привода центробежных насосов и вентиляторов большого напора. Двигатели на  $1000 \text{ мин}^{-1}$  используют для привода поршневых компрессоров, вентиляторов среднего напора большой производительности и в других случаях, когда возможно прямое соединение с валом рабочей машины.

Тихоходные двигатели обладают техническими преимуществами по сравнению с быстроходными в том случае, когда осуществляются частые пуски и реверсы. При этом тихоходные двигатели, обладая малой величиной кинетической энергии ротора, обеспечивают меньшие потери энергии и время переходных процессов.

Выбирая тип двигателя в зависимости от характера нагрузки и мощности механизмов, можно руководствоваться следующими данными. При длительной постоянной и переменной нагрузках мощностью до 100 кВт наиболее экономичны асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, при нагрузках больше 100 кВт – синхронные двигатели. При резкопеременной нагрузке мощностью до 100 кВт применяют асинхронные двигатели с повышенным скольжением, при мощности свыше 100 кВт – асинхронные двигатели с фазным ротором.

### **Выбор электродвигателя по условиям окружающей среды**

Электродвигатели одного и того же типа изготавливают в различных конструктивных исполнениях в зависимости от среды, в которой они могут работать, и способа механического монтажа их на производственной машине.

### **Выбор электродвигателей по характеру нагрузки**

Различный характер работы технологических установок обусловил выделение восьми стандартизованных нагрузочных режимов работы двигателей электропривода, условное обозначение которых проставляется на паспортной табличке (щитке) электродвигателя: S1, S2...S8

Из них наиболее используемые: S1 – длительный, S2 – кратковременный, S3 – повторно-кратковременный.

Для режима работы S2 электродвигатели выпускают на стандартные продолжительности работы 10, 30, 60 и 90 мин.

Режим S3 дополнительно характеризуется относительной продолжительностью включения (ПВ):

$$ПВ = 100\% \cdot t_p / t_u$$

$$t_u = t_p + t_o$$

где  $t_p$ ,  $t_o$ ,  $t_u$  - продолжительности работы, отключения и одного цикла  $t_u \leq 10$  мин.

Стандартные значения ПВ: 15, 25, 40 и 60%.

### **Выбор электродвигателя по мощности**

Мощность электрического привода определяется мощностью используемого в его составе двигателя, который должен иметь в процессе работы допустимую температуру нагрева, надежно запускаться при возможных снижениях питающего напряжения, устойчиво работать при возникновении различных внешних возмущений.

Мощность двигателя для привода рабочей машины определяют по мощности нагрузки на ее валу ( $P_x$ ), и режиму работы.

При выборе электродвигателя по мощности возможны два случая:

- 1) мощность нагрузки на валу рабочей машины известна (приводится в технической характеристике машины);
- 2) мощность нагрузки на валу рабочей машины неизвестна.

Во втором случае для определения мощности  $P_x$  нужно использовать нагрузочные диаграммы, снятые каким-либо регистрирующим прибором; нормативы, учитывающие расход энергии и выход вырабатываемой продукции; известные формулы для расчета  $P_x$ .

При известной мощности нагрузки  $P_x$  на валу рабочей машины мощность электродвигателя выбирают из условия

$$P_{н.дв} \geq P_x / \eta_n K_3,$$

где  $\eta$  – к.п.д. передачи (о.е), см. табл. 2.

$K_3$  - рекомендуемый коэффициент загрузки двигателя для данного типа машины или механизма (см. табл. 3.)

**Таблица 3.**



Наименование машин	Коэффициент загрузки, $K_3$
зерноочистительные и зерносушильные машины	1,0
транспортные устройства для подачи кормов, зерна на токах, сбора яиц	0,8
транспортные устройства для уборки навоза, помета	0,6
кормоприготовительные машины	0,6-1,0
доильные установки	0,8
сепараторы, пастеризаторы	0,95
маслоизготовительные и охлаждающие устройства	0,65
инкубаторы, насосы и вентиляторы	1,0
мельницы	0,7-0,9
металлообрабатывающие станки	1,0

Общий к.п.д. передачи всех механических передач из n-ступеней равен  $\eta_n = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_n$

### Выбор аппаратов управления и защиты

Методика выбора аппаратов управления и защиты установлена руководящими техническими материалами РТМ «Методика выбора элементов пускорегулирующей и защитной аппаратуры электроприводов сельскохозяйственных машин». Согласно этому документу аппараты управления и защиты выбирают в зависимости от установленной мощности и режима работы электроприемника, условий внешней среды, технических требований и монтажного исполнения. Выбор аппаратов защиты начинают с определения вида (принципа действия) защиты. Неправильный выбор вида защиты способствует интенсивному старению изоляции и сокращению срока службы электроприемников, возникновению пожаров, а также поражению животных и людей электрическим током. Учитывая это, рекомендуют следующие виды защиты.

**Таблица 4. Выбор вида защиты**

Электроприемники	Вид защиты	Аппараты защиты
Электроприводы металлорежущих и деревообрабатывающих станков, зерноочистительных машин, механизмов, работающих в присутствии обслуживающего персонала	Токовая	Предохранители, тепловые реле. Автоматические выключатели
Электроприводы вентиляторов, насосов, компрессоров	Токовая	То же
Электроприводы механизмов, работающих в животноводческих помещениях	Температурная. Фазочувствительная	Устройства УВТЗ, ФУЗ-У, ФУЗ-М
Электроприводы дробилок, измельчителей, молотилок, мельниц, дозаторов, пилорам, котельных насосов, сушилок	То же	То же

Электроприводы транспортеров элеваторов, шнеков, тельферов, лебедок, кранов, лифтов	В зависимости от характера нагрузки. Токовая или температурная	Автоматические выключатели, устройства УВТЗ
Электроприводы механизмов, работающих без присутствия обслуживающего персонала (вентиляторы сушки сена, погружные насосы и пр.)	Температурная. Фазочувствительная	Устройства УВТЗ, ФУЗ-У, ФУЗ-М
Электротермические и осветительные установки	Токовая	Автоматические выключатели

**Магнитные пускатели** предназначены для дистанционного управления трехфазными АД и другими электроустановками, а также для защиты от самозапуска, от снижения напряжения, а в исполнении с тепловыми реле от длительных перегрузок и обрыва фазы.

В настоящее время выпускают пускатели серии ПМЛ со встроенными тепловыми реле серии РТЛ, имеющие меньшие габаритные размеры, значительно ниже их инерционность, они постепенно заменяют пускатели старых серий ПМЕ, ПАЕ (см. приложения 2 и 3).

Выбор магнитных пускателей производится:

- по напряжению сети  $U_{н.п.} \geq U_{сети}$ ;
- по роду тока и его значению  $I_{н.п.} \geq I_{раб. макс.}$ ;
- по напряжению катушки  $U_K = U_{упр.}$ ;
- по исполнению (степень защиты, категория размещения, необходимое количество вспомогательных контактов, наличие реверса, теплового реле и т.д.),

где  $U_{н.п.}$ ,  $U_{сети}$ ,  $U_K$ ,  $U_{упр.}$  – соответственно номинальное напряжение пускателя, сети, катушки, управления.  $I_{н.п.}$ ,  $I_{р. макс.}$  – соответственно номинальный ток пускателя, рабочий максимальный ток потребителя.

Выбор тепловых реле производится:

- по напряжению сети  $U_{н.п.} \geq U_{сети}$ ;
- по роду тока и его значению  $I_{н.п.} \geq I_{раб. макс.}$ ;

$$I_{т. расц} \geq I_{р. макс.}$$

$$I_y \geq I_{р. макс.}$$

где  $U_{н.п.}$ ,  $U_{сети}$  – соответственно номинальное напряжение пускателя и сети;  $I_{н.п.}$ ,  $I_{т. расц}$ ,  $I_y$  – соответственно номинальный ток реле, теплового расцепителя и ток уставки теплового расцепителя;  $I_{раб. макс.}$  – рабочий максимальный ток потребителя.

Для асинхронного двигателя:

$$I_{р. макс} = I_{н.д.} \text{ если } k_3 \geq 0,7;$$

$$I_{р. макс} = 1,1 \cdot k_3 I_{н.д.} \text{ если } k_3 \leq 0,7.$$

Технические данные магнитных пускателей и тепловых реле представлены в приложениях 2 и 3.

**Электропроводки выбирают** в зависимости от вида электроприемников (стационарные, мобильные) с учетом условий окружающей среды и требований безопасности и противопожарной безопасности.

Для облегчения выбора марок проводов и кабелей и способа их прокладки можно пользоваться специальными справочными таблицами.

*При этом следует выбирать провода и кабели с алюминиевыми жилами, за исключением тех случаев, когда электропроводки проектируются во взрывоопасных помещениях, в*

киноаппаратных, в зрительных залах на 800 и более мест и других объектах, где электропроводки выполняются проводами и кабелями с медными жилами. В сырых, особо сырых с химически активной средой, а также в пожароопасных помещениях следует применять провода и кабели с пластмассовой изоляцией.

**Расчет сетей по нагреву** заключается в выборе сечения проводника в зависимости от токовой нагрузки, ограниченной предельной допустимой для проводов и кабелей температурой. Длительно допустимая токовая нагрузка зависит от температуры окружающей среды.

Температура окружающей среды для воздуха принимают равной 25°C, для земли и воды +15°C.

Таким образом  $I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.табл}} \cdot k_0$ ,

где  $k_0$  - поправочный коэффициент, принимается по таблице 1.3.3. ПУЭ-85.

Сечения проводов и кабелей напряжением до 1000 В определяются по условию нагревания длительным расчетным током

$$I_{\text{доп}} \geq I_p;$$

Для осветительных проводок с лампами накаливания расчетный ток определяют по формулам.

Для однофазной линии освещения

$$I = \frac{P_p}{U_\phi}$$

Для двухфазной линии при подключении ламп на фазное напряжение

$$I = \frac{P_p}{2 \cdot U_\phi}$$

Для трехфазной линии

$$I = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

Если к осветительной проводке присоединены светильники с люминесцентными лампами, то расчетный ток определяют по формулам: для однофазной линии

$$I = \frac{1,25 \cdot P_{\text{ном}}}{U_\phi \cdot \cos \varphi};$$

для двухфазной линии

$$I = \frac{1,25 \cdot P_{\text{ном}}}{2 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi};$$

для трехфазной линии

$$I = \frac{1,25 \cdot P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi};$$

Для ламп ДРЛ следует вместо коэффициента 1,25 подставить величину 1,12, так как ДРЛ имеет меньшие пусковые токи.

Длительные допустимые токи на изолированные провода представлены в приложении 6.

Допустимый ток ( $I_{\text{доп}}$ ), кроме того, должен быть согласован с током аппарата защиты ( $I_{\text{пл.в}}$  – плавкого предохранителя, или  $I_y$  – автоматического выключателя), защищающего данный участок сети.

Предохранители устанавливают в местах изменения сечения проводника (с большего на меньшее), на вводах в здание, в головных участках сети.

Выбор предохранителей производится:

по напряжению

$$U_{\text{н.п.}} \geq U_{\text{сети}};$$



по току предохранителя

$$I_{н.п.} \geq I_{р. макс};$$

по предельной коммутационной способности

$$I_{пр} \geq I_{к.з.}^{(3)} \quad или \quad \geq I_{к}^{(1)}$$

Номинальный ток плавкой вставки для безинерционных предохранителей должен удовлетворять двум условиям:

$$I_{пл.в.} \geq I_{р.макс};$$

$$I_{пл.в.} \geq I_{макс} / \alpha,$$

где  $I_{пл.в.}$ ,  $I_{р.макс}$ ,  $I_{макс}$  - соответственно ток плавкой вставки, ток рабочий максимальный, ток максимальный (пусковой или пиковый);  $\alpha$  - коэффициент зависящий от длительности прохождения пускового (пикового) тока,  $\alpha = 1,6 \dots 2,5$ .

При  $t_{пуска} < 8$  сек  $\alpha = 2,5$

$t_{пуска} > 8$  сек  $\alpha = 1,6 \dots 2$ .

Сечения проводов и кабелей согласуют с выбранными вставками:

1.  $I_{доп} \geq 1,25 I_{в}$  – при защите от перегрузок;

2.  $I_{доп} \geq 0,33 I_{в}$  – при защите только от к.з. – по селективности защиты.

Технические данные предохранителей представлены в приложении 5.

**Выбор автоматических выключателей** производится:

- по напряжению  $U_{н.п.} \geq U_{сети}$ ;

- по роду тока и его значению  $I_{н.а} \geq I_{р.макс}$ ;

Для отдельного двигателя за расчетный максимальный ток принимается

$$I_{р.макс} = I_{н.дв}, \text{ если } k_3 > 0,7;$$

$$I_{р.макс} = 1,1 k_3 I_{н.дв}, \text{ если } k_3 < 0,7.$$

Для группы двигателей

$$I_{р.макс} = \sum_{i=1}^{i=n} I_{н.дв.i},$$

где  $I_{н.дв.i}$  - номинальный ток i-го двигателя, А,

n - число одновременно работающих двигателей

- соответствия исполнения аппарата условиям окружающей среды и режиму работы;

- по току уставки теплового расцепителя автомата,

$$I_{у.т.р.} \geq k_n I_{р.макс}$$

где  $k_n$  - коэффициент надежности для автоматических выключателей АЕ 2000, А 3700 –  $k_n = 1,15$

ВА –  $k_n = 1,2 \dots 1,35$  в зависимости от тока.

- по типу уставки электромагнитного расцепителя

$$I_{у.э.р.} \geq k_n I_{макс}$$

где  $I_{макс} = k_i I_{н.дв}$  – для одиночного двигателя

$$I_{макс} = \sum_{i=1}^{i=n-1} I_{н.дв} + I_{пускмакс}.$$

где  $\sum_{i=1}^{i=n-1} I_{н.дв}$  – сумма номинальных токов электродвигателей без пускаемого двигателя,

$I_{пуск макс}$  - наибольший пусковой ток одного из двигателей.

– по предельно отключаемому току

$$I_{пред.откл} \geq I_{к.з.макс}$$

– по условию чувствительности при однофазных, коротких замыканиях:

$$k_q^{(I)} \geq \frac{I_{к.з.}^{(I)}}{I_{у.т.р.}} \geq 3 - \text{для невзрывоопасной среды}$$

$$k_q^{(I)} \geq \frac{I_{к.з.}^{(I)}}{I_{у.т.р.}} \geq 6 - \text{для взрывоопасной среды}$$

Сечение проводов и кабелей согласуют с выбранными уставками расцепителей автоматов:

1.  $I_{доп} > 1,25 \cdot I_{у.т.р.}$  - при защите от перегрузок
2.  $I_{доп} > I_{утр}/1,5$  - при защите только от к.з. для автоматов с тепловыми расцепителями
3.  $I_{доп} > I_{уэр}/4,5$  - при защите только от к.з. для автоматов с электромагнитными расцепителями.

Технические данные проводов, предохранителей и автоматических выключателей приведены в приложениях 6, 5, 4 соответственно.

### Пример задачи.

Электропривод основного движения токарно-винторезного станка осуществляется трехфазным асинхронным электродвигателем с к.з. ротором серии АИР с помощью клиноременной передачи и 2-х ступенчатого цилиндрического редуктора.

Двигатель питается от сети 380/220 В с глухозаземленной нейтралью при частоте  $f_l = 50$  Гц.

Мощность нагрузки на выходном валу станка (на шпинделе)  $P_x = 6,3$  кВт при частоте вращения вала  $n_x = 200 \dots 3000$  мин<sup>-1</sup>.

Станок установлен в токарном отделении ремонтно-механической мастерской (сухое отапливаемое производственное помещение). Электропроводку к станку предусматривается выполнить проводом АПВ-660 в трубе.

Микроклиматический район, где расположена РММ – «У» (с умеренным климатом).

### Требуется:

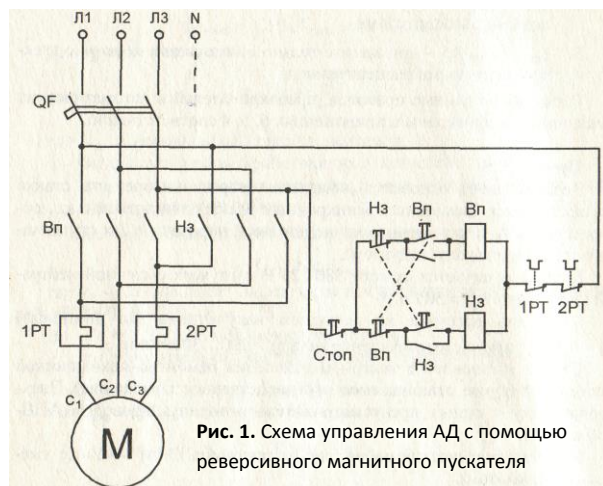


Рис. 1. Схема управления АД с помощью реверсивного магнитного пускателя

1. Вычертить схему управления двигателем основного движения станка 1К62 с помощью реверсивного магнитного пускателя.
2. Выбрать электродвигатель для основного движения станка, магнитный пускатель, тепловое реле, сечение провода для питания станка, автоматический выключатель для защиты электроустановки от перегрузки и коротких замыканий.

### Решение:

1. Вычерчиваем схему управления АД с помощью реверсивного магнитного пускателя (см. И.А.

Данилов, с. 58, рис. 1).

2. Выбор электродвигателя.

**Исходные данные:** Мощность нагрузки:  $P_x = 6,3$  кВт;

Тип передачи: клиноременная + 2-х ступенчатый цилиндрический редуктор;

Микроклиматический район расположения РММ - «У» (с умеренным климатом).

Помещение установки станка - сухое производственное отапливаемое - категория размещения - 4.

- 2.1. Определяем мощность электродвигателя из условия

$$P_{дв} \geq P_x / \eta_n K_3,$$

где  $P_x = 6,3$  кВт - по условию

$\eta_n = \eta_{кл.рем} \cdot \eta_{ц.ред} = 0,95 \cdot 0,9 = 0,855$  - общий К.П.Д. передачи

$\eta_{кл.рем} = 0,95$  - К.П.Д. клиноременной передачи по табл. 2.

$\eta_{ц.ред} = 0,9$  - К.П.Д. передачи 2-х ступенчатого цилиндрического редуктора по табл. 2.  
 $K_3 = 1$  - коэффициент загрузки двигателя для токарно-винторезных станков по табл. 3.

$$P_{дв} = 6,3 / 0,855 \cdot 1 = 7,4 \text{ кВт.}$$

2.2. Выбираем стандартную номинальную мощность электродвигателя (см. приложение 1).

$$P_n = 7,5 \text{ кВт} \geq P_{да}$$

2.3. Определяем частоту вращения двигателя

$$n_{дв} = \frac{n_{х.мин} + n_{х.макс}}{2} = \frac{200 + 3000}{2} = \frac{3200}{2} = 1600 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем синхронную частоту вращения двигателя  $n_1 = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $2p = 4$ .

2.4. По приложению 1 выбираем электродвигатель АМР132S4 с техническими данными:

$$P_n = 7,5 \text{ кВт,}$$

$$U_n = 380 \text{ В, } I_{ном} = 15,4 \text{ А.}$$

$$\eta = 87,5\%$$

$$\cos \varphi = 0,86$$

$$k_i = 7,5$$

$$n_n = 1440 \text{ мин}^{-1},$$

С привязкой по 1 варианту, с высотой оси вращения 132 мм, с установочным размером по длине станины S, четырехполюсный. Климатическое исполнение У, категория размещения 4. Двигатель - АИР13284У4.

## 2. Выбор магнитного пускателя

Исходные данные:

$P_n = 7,5 \text{ кВт}$  - номинальная мощность электродвигателя;

$I_{ном} = 15,4 \text{ А}$  - номинальный ток;

$U_n = 380 \text{ В}$  - номинальное напряжение;

$k_i = 7,5$  - кратность пускового тока;

место установки пускателя - шкаф управления станка;

реверс есть.

### Решение:

1. По приложению 2 выбираем магнитный пускатель ПМЛ-2000 второй величины с номинальным током

$$I_{н.п.} = 25 \text{ А} > I_{н.дв.} = 15,4 \text{ А.}$$

Мощность управляемого двигателя при напряжении 380 В  $P_{у.дв.} = 11 \text{ кВт}$

$$P_{у.дв.} = 11 \text{ кВт} > P_{н.дв.} = 7,5 \text{ кВт.}$$

С учетом места установки, наличия реверса выбираем по приложению 2 пускатель ПМЛ-261102, реверсивный, без кнопок «Пуск» и «Стоп», открытого исполнения.

## 3. Выбор теплового реле

Исходные данные:

$P_n = 7,5 \text{ кВт}$  - номинальная мощность электродвигателя;

$U_n = 380 \text{ В}$

$I_n = 15,4 \text{ А}$

По приложению 3 выбираем тепловое реле РТЛ-102104, исходя из условия  $I_{н.п.} = 25 \text{ А} \geq I_{р.макс.} = I_n = 15,4 \text{ А}$ , так как  $k_3 > 0,7$ .

Среднее значение силы тока теплового элемента  $I_{ср.} = 16 \text{ А}$ . Пределы регулирования силы тока несрабатывания 13... 19 А.

## 4. Выбор сечения проводов для питания электродвигателя

Исходные данные:

$$P_H = 7,5 \text{ кВт}$$

$$I_{\text{ном}} = 15,4 \text{ А}$$

$$U_H = 380 \text{ В}$$

$$k_i = 7,5$$

Помещение сухое, отапливаемое, способ прокладки проводов – в трубе, рекомендуемый провод – АПВ-660. **Решение:**

4.1. Определяем рабочий (расчетный) ток двигателя:

$$I_{\text{р. макс.}} = I_H = 15,4 \text{ А, так как } k_3 > 0,7.$$

4.2. Максимальный ток двигателя

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{пуск}} = k_i \cdot I_H = 7,5 \cdot 15,4 = 115,5 \text{ А.}$$

4.3. По приложению 4 выбираем автоматический выключатель с комбинированным расцепителем АЕ 2000, исходя из условия:

$$I_{\text{н.п.}} \geq I_{\text{р. макс.}} = 15,4 \text{ А}$$

Принимаем к установке автомат АЕ-2036 с  $I_{\text{н.а.}} = 25 \text{ А}$  и  $U_H = 500 \text{ В}$ .

4.4. Ток уставки теплового расцепителя автомата

$$I_{\text{у.т.р.}} \geq K_H \cdot I_{\text{р. макс.}} = 1,15 \cdot 15,4 = 17,7 \text{ А,}$$

где  $K_H = 1,15$  – для автоматов АЕ-2000, принимаем  $I_{\text{у.т.р.}} = 20 \text{ А}$ .

4.5. Ток уставки электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq K_H \cdot I_{\text{макс}} = 1,15 \cdot 115,5 = 132,8 \text{ А.}$$

Принимаем  $I_{\text{у.э.р.}} = 12 \cdot I_{\text{ном}}$ , так как при  $I_{\text{у.э.р.}} = 3 \cdot I_{\text{ном}}$  автоматический выключатель будет ложно срабатывать при пуске электродвигателя.

4.6. По приложению 6 выбираем сечение токопроводящей жилы  $F = 4,0 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп. табл.}} = 28 \text{ А}$  для трех проводов, проложенных в трубе (для данного помещения ПУЭ разрешают использовать трубу в качестве защитного и заземляющего проводников).

$$I_{\text{доп. табл.}} = 28 \text{ А} > I_{\text{у.т.р.}} = 20 \text{ А} > I_{\text{р. макс.}} = 15,4 \text{ А.}$$

Приложение 1.

Технические данные асинхронных электродвигателей трехфазного тока с короткозамкнутым ротором серии АИР мощностью от 0,25 до 75 кВт (по данным Информэлектро)

Тип двигателя	При номинальной нагрузке					Кратность моментов			
	Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	сила тока статора, А	КПД, %	коэффициент мощности	Кратность пускового тока	пускового	максимального	минимального
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР56В2	0,25	2730	0,70	69	0,79	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР63А2	0,37	2730	0,91	72	0,86	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР63В2	0,55	2730	1,31	75	0,85	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР71А2	0,75	2820	1,75	78,5	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР71В2	1,1	2800	2,55	79	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР80А2	1,5	2850	3,31	81	0,85	7,0	2,1	2,2	1,6
АИР80В2	2,2	2850	4,63	83	0,87	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР90L2	3,0	2850	6,13	84,5	0,88	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100S2	4,0	2850	7,94	87	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР100L2	5,5	2850	10,7	88	0,89	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР112M2	7,5	2900	14,8	87,5	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР132M2	11	2910	21,0	88	0,90	7,5	1,6	2,2	1,2
АИР160S2	15	2910	28,5	90	0,89	7,0	1,8	2,7	1,7
АИР160M2	18,5	2910	34,5	90,5	0,90	7,0	2,0	2,7	1,8
АИР180S2	22	2920	41,5	90,5	0,89	7,0	2,0	2,7	1,9
АИР1802	30	2920	55,5	91,5	0,90	7,5	2,2	3,0	1,9
АИР200M2	37	2940	70,6	91,5	0,87	7,0	1,6	2,8	1,5
АИР200L2	45	2940	86,5	92	0,88	7,5	1,8	2,8	1,5
АИР225M2	55	2940	99,3	92,5	0,91	7,5	1,8	2,6	1,5
АИР250S2	75	2940	136	93	0,90	7,5	1,8	3,0	1,6
АИР63А4	0,25	1320	0,88	68	0,67	5,0	2,1	2,2	1,8
АИР63В4	0,37	1320	1,18	68	0,70	5,0	2,1	2,2	1,8
АИР71А4	0,55	1360	1,69	70,5	0,70	5,0	2,3	2,2	1,8
АИР71В4	0,75	1360	2,14	73	0,73	5,0	2,2	2,2	1,6
АИР80А4	1,1	1395	2,75	75	0,81	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР80В4	1,5	1395	3,52	78	0,83	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР90L4	2,2	1400	5,0	81	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6
АИР100S4	3,0	1410	6,7	82	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100L4	4,0	1410	8,4	85	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР112M4	5,5	1430	11,4	85,5	0,86	7,0	2,0	2,2	1,6



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
АИР132S4	7,5	1440	15,4	87,5	0,86	7,5	1,9	2,2	1,6										
АИР132M4	11	1450	22,0	87,5	0,87	7,5	2,0	2,2	1,6										
АИР160S4	15	1455	28,5	90	0,87	7,0	2,0	2,9	1,8										
АИР160M4	18,5	1455	34,9	90,5	0,89	7,0	1,9	2,9	1,8										
АИР180S4	22	1460	42,5	90,5	0,89	7,0	1,7	2,4	1,5										
АИР200M4	37	1470	68,3	92,5	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6										
АИР200L4	45	1470	83,0	92,2	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6										
АИР225M4	55	1470	101	93	0,89	7,0	1,7	2,6	1,6										
АИР250S4	75	1480	138	94	0,89	7,5	1,7	2,5	АИР160M8	7,5	725	17,5	87	0,75	5,5	1,6	2,4	1,4	
АИР63B6	0,25	860	1,04	59	0,62	4,0	2,0	2,2	АИР180M8	11	725	25,5	87,5	0,75	6,0	1,6	2,4	1,4	
АИР71A6	0,37	915	1,31	65	0,65	4,5	2,0	2,2	АИР200M8	15	730	31,2	89	0,82	5,5	1,6	2,2	1,5	
АИР71B6	0,55	915	1,74	68,6	0,70	4,5	2,0	2,2	АИР200L8	18,5	730	39,0	89	0,81	6,0	1,6	2,3	1,4	
АИР80A6	0,75	920	2,26	70	0,72	4,5	2,0	2,2	АИР225M8	22	730	45,8	90	0,81	6,0	1,6	2,3	1,4	
АИР80B6	1,1	920	3,05	74	0,74	4,5	2,0	2,2	АИР250S8	30	730	62,2	90,5	0,81	6,0	1,4	2,3	1,3	
АИР90L6	7,5	925	4,2	76	0,72	6,0	2,0	2,2	АИР250M8	37	735	77,9	92,5	0,78	6,0	1,5	2,3	1,4	
АИР100L6	2,2	945	5,6	81	0,74	6,0	2,0	2,2	АИР280S8	45	735	93,6	92,5	0,79	6,0	1,4	2,2	1,3	
АИР112MA6	3,0	950	7,1	81	0,76	6,0	2,0	2,2	АИР280M8	55	725	106	92	0,86	6,0	1,3	2,2	1,0	
АИР112MB6	4,0	950	9,2	82	0,81	6,0	2,0	2,2	АИР315S8	75	725	141	93	0,87	6,0	1,4	2,2	1,0	
АИР132S6	6,5	960	12,3	85	0,80	7,0	2,0	2,2	1,6										
АИРВ2M6	7,5	960	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2	1,6										
АИР160S6	11	970	22,9	89,5	0,83	6,5	2,0	2,7	1,6										
АИР160M6	15	970	30,1	88	0,85	6,5	2,0	2,7	1,6										
АИР180M6	18,5	980	37	88	0,85	6,5	1,8	2,4	1,6										
АИР200M6	22	980	14,7	90	0,83	6,5	1,6	2,4	1,4										
АИР200L6	30	975	59,6	90	0,85	6,5	1,6	2,4	1,4										
АИР225M6	37	980	72,7	91	0,85	6,5	1,5	2,3	1,4										
АИР250S6	45	980	87	92,5	0,85	6,5	1,5	2,3	1,4										
АИР250M6	55	980	105	92,5	0,86	6,5	1,5	2,3	1,4										
АИР280S6	75	980	137	92,5	0,90	6,5	1,3	2,2	1,0										
АИР80A8	0,25	690	1,04	56	0,65	4,0	1,8	1,9	1,4										
АИР80B8	0,37	700	1,54	60	0,61	4,0	1,8	1,9	1,4										
АИР90LA8	0,55	700	2,07	64	0,63	4,0	1,8	1,9	1,4										
АИР90LB8	0,75	700	2,47	70	0,66	3,5	1,6	1,7	1,2										
АИР100L8	1,1	700	3,32	72	0,70	3,5	1,6	1,7	1,2										
АИР112MA8	1,5	705	4,1	76	0,73	5,5	1,6	1,7	1,2										
АИР112MB8	2,2	710	6,2	76,5	0,71	6,0	1,8	2,2	1,4										
АИР132S8	3,0	710	7,8	79	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4										
АИР132M8	4,0	715	10,5	83	0,70	6,0	1,8	2,2	1,4										
АИР160S8	5,5	710	13,6	83	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4										

Технические данные пускателей серии ПМЛ (По данным каталога Информэлектро 07.14.01-79)										Приложение 2.	
Величина пускателя	Номинальная сила тока, А	Число и исполнение контактов вспомогательной цепи	Тип и исполнение								
			Нереверсивное			Реверсивное					
			Без кнопок «Пуск» и «Стоп»	С кнопками «Пуск» и «Стоп»	С кнопками «Пуск» и «Стоп» и сигнальными лампами	Без кнопок «Пуск» и «Стоп»	С кнопками «Пуск» и «Стоп»	С кнопками «Пуск» и «Стоп» и сигнальными лампами	Звезда — треугольник		
1	10	1з. 1р.	ПМЛ-121002	ПМЛ-122002	ПМЛ-123002	ПМЛ-161102	ПМЛ-162102	ПМЛ-163102	ПМЛ-172002		
2	25	1з. 1р.	ПМЛ-221002	ПМЛ-222002	ПМЛ-223002	ПМЛ-261102	ПМЛ-262102	ПМЛ-263102	ПМЛ-272002		
3	40	1з. +1р.	+ ПМЛ-321002	ПМЛ-322002	ПМЛ-323002	ПМЛ-361002	ПМЛ-362002	ПМЛ-363002	-		
4	63	1з. +1р.	+ ПМЛ-421002	ПМЛ-422002	ПМЛ-423002	ПМЛ-461002	ПМЛ-462002	ПМЛ-463002	ПМЛ-472002		
5	80	1з. +1р. 2з. +2р.	+ ПМЛ-521002	-	-	ПМЛ-561102	-	-	ПМЛ-472002 ПМЛ-571002		
6	125	1з. +1р. 2з. +2р.	+ ПМЛ-621002	-	-	ПМЛ-661002	-	-	ПМЛ-671002		
7	200	2з. +2р.	+ ПМЛ-721102	-	-	ПМЛ-761102	-	-	-		

Примечание к приложению 2.

1. Все пускатели имеют степень защиты IP54.
2. Пускатели первой - четвертой величины допускают установку одной дополнительной контактной приставки для вспомогательных



цепей в исполнениях 4р.; 1з.+1р.; 2з.+2р.; 2з.; 4з.

3. Номинальная сила тока указана для пускателей открытого исполнения.

Приложение 3.

Технические данные тепловых реле серии РТЛ, встраиваемых в пускатели НМЛ (согласно ТУ 16-523, 549-78)

Величина пускателя	Тип реле	Номинальная сила тока реле, А	Среднее значение силы тока теплового элемента реле, А	Пределы регулирования силы тока несрабатывания, А
1	2	3	4	5
1	РТЛ – 100104	25	0,14	0,1-0,17
	РТЛ – 100204		0,21	0,16-0,26
	РТЛ – 100304		0,32	0,24-0,4
	РТЛ – 100404		0,52	0,38-0,65
	РТЛ – 100504		0,8	0,61-1,0
	РТЛ – 100604		1,3	0,95-1,6
	РТЛ – 100704		2,0	1,5-2,6
	РТЛ – 100804		3,2	2,4-4,0
	РТЛ – 101004		5,0	3,8-6,0
	РТЛ – 101204		6,8	5,5-8,0
	РТЛ – 101404		8,5	7,0-10
2	РТЛ – 101004		8,5	7,0-10
	РТЛ – 101604		12	9,5-14
	РТЛ – 102104		16	13-19
	РТЛ – 202204		21,5	18-25
3	РТЛ – 102204	80	21,5	18-25
	РТЛ – 205304		27,0	23-32
	РТЛ – 205504		35,0	30-40
4	РТЛ – 205504		35	30-40
	РТЛ – 205704		44	38-50
	РТЛ – 205904		52	47-57
	РТЛ – 206104		60	54-66
5	РТЛ – 206104		60	54-66
	РТЛ – 206304		71,5	63-80
6	РТЛ – 206304	200	71,5	63-80
	РТЛ – 312504		99	75-105
	РТЛ – 312504		110	95-125
7	РТЛ – 312504		110	95-125
	РТЛ – 316004		140	120-160
	РТЛ – 320004		175	150-200

Приложение 4.

Технические данные трехполюсных автоматов с комбинированными расцепителями

Типо-исполнение	Номинальные сила тока и напряжение выключателя	Расцепители Сила номинального тока I <sub>ном</sub> , А	Пределы регулирования	Кратность силы тока срабатывания
АЕ2016Р	10 А, 500 В	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10	(0,9...1,15) · I <sub>ном.р.</sub>	12 · I <sub>ном.р.</sub>
АЕ2036Р	25 А, 500 В	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25		
АЕ2046Р	63 А, 500 В	10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63		
АЕ2056Р	100 А, 500 В	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100		
АП50Б	63 А, 500 В	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63	(0,6... 1,0) · I <sub>ном.р.</sub>	12 · I <sub>ном.р.</sub>
А3714Б	160 А, 660 В	32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	(0,64...1,0) · I <sub>ном.р.</sub>	
ВА51Г25	25 А, 660 В	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	(0,8...1,0) · I <sub>ном.р.</sub>	10 · I <sub>ном.р.</sub>
ВА51Г31	100 А, 660 В	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100		14 · I <sub>ном.р.</sub>
ВА51Г33	160 А, 660 В	80; 100; 125; 160		
ВА51-35	250 А, 660 В	160; 200; 250		10 · I <sub>ном.р.</sub>
ВА51-37	400 А, 660 В	250; 320; 400		
ВА51-39	630 А, 660 В	400; 500; 630		

Приложение 5.

Технические данные плавких предохранителей

Тип	Исполнение	Номинальные величины			Разрывная способность (амплитудное значение), кА
		напряжение, В	ток патрона, А	ток плавкой вставки, А	
ПРС	Пробочный резьбовой	380	6	1,2,4,6	2
			20	10,16,20	60
			63	25,40,63	60
			100	80,100	60
НПН2	Закрытый неразборный с наполнителем	500	15	6,10,15	10
			60	15,20,25,35, 45,60	10
ПН-Р (ПН2)	Закрытый разборный с наполнителем	500	100	30,40,50,60, 80,100	50
			250	80,100,120, 150,200,250	40
			400	20,250,300, 350,400	25
ПР2	Закрытый разборный без наполнителя	500	15	6,10,15	7
			60	15,20,25,35, 45,60	3,5
			100	60,80,100	10
			200	100,125,160 200	10
			350	200,225,260, 300,350	11
ПН-50	Закрытый неразборный (стеклянный) без наполнителя	600	5	0,25; 0,5; 1;2;3;4;5	2

Приложение 6.

Длительные допустимые токи (токовые нагрузки) на изолированные провода и кабели, в амперах

Площадь сечения токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с медными жилами		Провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с алюминиевыми жилами			Трехжильные кабели с медными жилами, с резиновой или пластмассовой изоляцией, бронированные и небронированные		Трехжильные кабели с алюминиевыми жилами, с резиновой или пластмассовой изоляцией, бронированные и небронированные	
	открытая проводка	три провода в трубе	открытая проводка	два провода в трубе	три провода в трубе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	30	25	24	20	19	25	38	19	29
4,0	41	35	32	28	28	35	49	27	38
6,0	50	42	39	36	32	42	60	32	46
10	80	60	55	50	47	55	90	42	70
16	100	80	80	60	60	75	115	60	90
25	140	100	105	85	80	95	150	75	115
35	170	125	130	100	95	120	180	90	140
50	215	170	165	140	130	145	225	110	175
70	270	210	210	175	165	180	275	140	210
95	330	255	255	215	200	220	330	170	255
120	385	290	295	245	220	260	385	200	295

**Практическая работа № 16**  
**Тема: Составление схем автоматизации**

*Обучающийся должен*

*знать:*

- Условные обозначения элементов схем;

*уметь:*

- Разрабатывать и чертить развернутую схему релейно-контакторного управления трехфазными асинхронными двигателями.

**Задача.** Разработать и вычертить согласно ГОСТ развернутую схему релейно-контакторного управления трехфазными асинхронными электродвигателями. Данные для всех вариантов приведены в таблице 1. Пояснить работу схемы.

вариан	Число двигател ей	Тип ротор а	Наличи е реверса	Характер пуска	Число постов	Защита двигате ля	Световая сигнализация срабатывает при
--------	-------------------------	-------------------	------------------------	-------------------	-----------------	-------------------------	--

**Таблица 1. Исходные данные к задаче**



	1	2	3	короткозамкнутый	фазный	нет	есть	прямой	резистор в статоре	Число ступеней в роторе		1	2	3	тепловые реле	токовые реле	
										2	3						
1		+		+		+		+				+			+		пуске каждого двигателя
2	+				+	+				+			+		+		останове двигателя
3			+	+		+		+				+				+	пуске каждого двигателя
4	+			+			+	+						+	+		останове двигателя
5	+				+		+			+		+			+		пуске двигателя
6		+		+		+		+				+			+		пуске последнего двигателя
7	+				+	+					+		+			+	останове двигателя
8	+			+			+		+			+			+		пуске и останове двигателя
9			+	+		+		+					+			+	пуске каждого двигателя
10	+				+		+				+	+			+		останове двигателя
11	+			+		+			+				+			+	пуске и останове двигателя
12		+		+		+		+					+			+	пуске каждого двигателя
13	+			+			+		+					+	+		останове двигателя
14			+	+		+		+					+		+		пуске последнего двигателя
15	+				+		+			+			+			+	останове двигателя
16		+		+		+		+				+				+	пуске каждого двигателя
17	+				+		+				+		+		+		пуске и останове двигателя
18	+			+		+			+			+				+	останове двигателя
19		+		+		+		+					+		+		останове последнего двигателя
20		+		+		+		+						+	+		пуске последнего двигателя

Примечания: 1. В нереверсивной схеме в каждом посту две кнопки: «Пуск» и «Стоп», реверсивной схеме три кнопки: «Вперед», «Назад» и «Стоп». 2. Крестиками указаны условия, которые нужно принимать при составлении схемы. 3. при наличии в схеме нескольких электродвигателей предусмотреть контакты реле времени для создания выдержки времени при пуске каждого двигателя. Должна обеспечиваться такая последовательность пуска: 1–2 или 1–2–3. 4. При нескольких постах кнопки «Пуск» включаются параллельно, кнопки «Стоп» – последовательно.

Условные графические и буквенные обозначения на электрических схемах, согласно ГОСТ 2.728–68, 2.732–68, 2730–73, 2.754–74.

Наименование	Условное обозначение	Буквенное обозначение
Электродвигатель переменного тока		<i>M</i>
Электрическая машина постоянного тока:		<i>M</i> <i>ОВ</i>
а) с параллельным возбуждением		
б) с последовательным возбуждением		<i>M</i> ; <i>ОВ</i>
Диод, стабилитрон		<i>Д</i>
Транзистор		<i>Т</i>
Тиристор		<i>S</i>
Выпрямитель		<i>В</i>

Наименование	Условное обозначение	Буквенное обозначение
б) размыкающий		<i>КЛ</i>
в) с выдержкой времени при срабатывании		<i>РВ</i>
г) с выдержкой времени при возврате		<i>РВ</i>
д) теплового реле		<i>РТ</i>
Кнопка «Пуск»		<i>КнП</i>
Кнопка «Стоп»		<i>КнС</i>
Лампа накаливания сигнальная и осветительная		<i>ЛС</i>
Предохранитель плавкий		<i>Пр</i>
Катушка контактора, магнитного пускателя, реле		<i>КЛ</i>

Наименование	Условное обозначение	Буквенное обозначение
Элемент нагревательный		<i>РТ</i>
Выключатель автоматический:		<i>ВА</i>
а) двухполюсный максимального тока		
б) трехполюсный с комбинированным расцепителем		<i>ВА</i>
Контакт силовой замыкающий магнитного пускателя с дугогашением		<i>КЛ</i>
То же, без дугогашения		<i>КЛ</i>
Контакт реле, блок-контакт магнитного пускателя:		<i>КЛ</i>
а) замыкающий		