

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет
имени И.Н.Ульянова»

Факультет энергетики и электротехники
Кафедра электрических и электронных аппаратов

**ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

по дисциплине

«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ»
Часть 1

Чебоксары 2020

Задания на контрольную работу и методические указания к выполнению контрольных работ

В работе даются задания на одну контрольную работу, которая включает пять задач с методическими указаниями по их выполнению. Текст контрольной работы можно выполнять либо шариковой ручкой (или чернилами), либо с помощью компьютера, оставляя поля для пометок преподавателя. Все графические работы могут быть выполнены в карандаше на миллиметровой бумаге, либо с помощью компьютера. Расчетные формулы сначала следует писать в общем виде, а затем подставлять в них цифровые значения, указывая размерность полученного результата. Выбранные величины необходимо кратко обосновать.

При заимствовании расчетных формул, методов расчета и т.п. следует сделать ссылку на использованную литературу с указанием страницы и номера формулы. В конце работы нужно привести перечень использованной литературы, указав автора книги, название, место издательства и год издания.

В решении привести все технические данные и массогабаритные показатели, а также общий вид выбранных аппаратов. При необходимости составляется описание принципа действия рассчитываемой схемы.

Если контрольная работа оказывается не зачтенной и требуется ее повторное рецензирование, то необходимо представлять вместе с исправленной или переделанной работой первоначально выполненную работу со всеми замечаниями рецензента. Стирать или заклеивать замечания не разрешается.

Исходные данные для расчетов следует выбирать в соответствии с указанными вариантами.

Перед выполнением определенной задачи следует изучить соответствующий теоретический материал по учебнику.

Выполненные работы для проверки и просмотра нужно направлять на электронный адрес Николаева Николая Николаевича:

e-mail: nikniknik48@mail.ru

Для переписки следует указать свой электронный адрес.

Задача 1. Токоподвод к автоматическому выключателю постоянного тока выполнен медными прямоугольными шинами сечением $b \times h$, расположенными параллельно широкой стороной друг к другу на расстоянии a (между осями) и закрепленными на опорных изоляторах на расстоянии l между соседними изоляторами.

Выбрать размеры сечения b и h токоподводящих шин исходя из длительного режима работы выключателя при номинальном токе $I_{\text{ном}}$ и его электродинамической стойкости при токе короткого замыкания $I_{\text{кз}}$ (максимальное значение пропускаемого тока).

Данные для расчетов представлены в таблице 1.1 для группы ЗЭТ-51-19, в таблице 1.2 - для группы ЗЭТ-61-17.

Данные для расчетов представлены в табл. 1.1 для группы ЗЭТ-51-19.

Таблица 1.1 (ЗЭТ-51-19)

№ вариантов	a , мм	l , мм	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{кз}}$, кА	Фамилия И.О. студента
1.	60	150	150	55	АЛЕКСАНДРОВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ
2.	65	155	150	60	АЛЕКСЕЕВ АРТЕМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
3.	70	160	200	75	АЛЖИРОВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
4.	75	165	200	80	АНДРЕЕВ ЕГОР АЛЕКСАНДРОВИЧ
5.	80	170	250	85	БОГАТНОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
6.	85	175	250	90	ВАСИЛЬЕВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	90	180	400	95	ВАСИЛЬЕВ СТАНИСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ
8.	95	185	400	100	ГРИГОРЬЕВ АЛЕКСАНДР МЕРКУРЬЕВИЧ
9.	100	190	600	110	ГРИГОРЬЕВ АНДРЕЙ МЕРКУРЬЕВИЧ
10.	105	195	600	120	ГРИГОРЬЕВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ
11.	110	200	800	140	ГРИГОРЬЕВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
12.	115	205	800	150	ДАНИЛОВ АРТУР РАДИСЛАВОВИЧ
13.	120	210	1000	160	ЕФИМОВ ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ
14.	125	215	1000	170	ЗАБРОДИН КОНСТАНТИН ДМИТРИЕВИЧ
15.	130	220	1600	180	ИВАНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
16.	135	225	1600	200	ИВАНОВ ДАНИИЛ ИГОРЕВИЧ

17.	140	230	2000	220	КИРИЛЛОВ МАРК ВЛАДИМИРОВИЧ
18.	145	235	2000	240	ЛЕБЕДЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
19.	150	240	2500	260	ЛУКИН ДИМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
20.	155	245	2500	280	ЛЫЧЕВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ
21.	60	200	150	55	МАРДАРЬЕВ ДАНИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
22.	65	205	150	60	МАТВЕЕВ ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
23.	70	210	200	75	МОСКВИН КОНСТАНТИН МИХАЙЛОВИЧ
24.	75	215	200	80	МУСТАФИН МАКСИМ АМИРОВИЧ
25.	80	220	250	85	ОРЛОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ
26.	85	225	250	90	ОСИПОВ ФЕДОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
27.	90	230	400	95	ЯКОВЛЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
28.	95	235	400	100	
29.	100	240	600	110	
30.	105	245	600	120	

Таблица 1.2 (ЗЭТ-61-17)

№ вариантов	a , мм	l , мм	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{кз}}$, кА	Фамилия И.О. студента
1.	135	225	1600	200	АЛЕКСЕЕВ АНДРЕЙ АРКАДЬЕВИЧ
2.	140	230	2000	220	БЕЛЯЕВ ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ
3.	145	235	2000	240	ВАСИЛЬЕВ АНТОН ДМИТРИЕВИЧ
4.	150	240	2500	260	ВАСИЛЬЕВ НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ
5.	155	245	2500	280	ЕГОРОВ ИГОРЬ ВАЛЕРЬЕВИЧ
6.	60	200	150	55	ЖУРАВЛЕВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	65	205	150	60	КУЛИКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ
8.	70	210	200	75	ЛЬВОВ МАКСИМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
9.	75	215	200	80	НИКИФОРОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ
10.	80	220	250	85	НИКОЛАЕВ ДАНИЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

№ вариантов	a , мм	l , мм	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{кз}}$, кА	Фамилия И.О. студента
11.	85	225	250	90	НИКОЛАЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ
12.	90	230	400	95	ПАВЛОВ ЕВГЕНИЙ АРТУРОВИЧ
13.	95	235	400	100	РЕПЬЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
14.	100	240	600	110	СЕМЕНОВ РОСТИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ
15.	105	245	600	120	СКВОРЦОВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
16.	85	225	250	90	СПИРИДОНОВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
17.	90	230	400	95	СТЕПАНОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
18.	95	235	400	100	ТАБАКОВ АЛЕКСЕЙ ПАВЛОВИЧ
19.	100	240	600	110	ФЁДОРОВ АЛЕКСАНДР ИЛЬИЧ
20.	105	245	600	120	ЯКОВЛЕВ СТАНИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ
21.	70	215	200	70	
22.	75	220	250	75	
23.	80	225	250	80	
24.	85	230	400	85	
25.	90	235	400	90	
26.	95	240	600	95	
27.	100	245	600	100	

Методические указания

1. Определение размеров поперечного сечения шинпровода $S_{\text{дл}} = bh$ исходя из длительного режима работы

$$S_{\text{дл}} = \frac{I_{\text{ном}}}{j_{\text{доп}}},$$

где $j_{\text{доп}} = 2 \text{ А/мм}^2$ – допустимая из условий нагрева шинпровода плотность тока.

Отношение узкой стороны сечения шинпровода к его широкой стороне b/h обычно принимается в пределах от 0,1 до 0,25. При этом размеры сечения выбираются из стандартных рядов для медного проката. Для размера b : ..., 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, ... мм, для размера h : ..., 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, ... мм. Выбранные размеры b и h должны обеспечивать сечение не менее $S_{\text{дл}}$, или максимально близкое к нему.

2. Определение размеров сечения шин, исходя из электродинамической стойкости при токе короткого замыкания.

Электродинамическая сила, действующая на участок шинопровода длиной l

$$P_{\text{эд}} = \frac{\mu_0}{4\pi} I_{\text{кз}}^2 k_{\Gamma} k_{\Phi},$$

где

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума);

$$k_{\Gamma} = \frac{2l}{a} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l} \right)^2} - \frac{a}{l} \right] \text{ – коэффициент контура электродинамических}$$

усилий (безразмерная величина);

k_{Φ} – коэффициент формы (безразмерная величина), определяется по кривым Двайта, изображенным на рис. 1. (л.1, с.38, рис.1.5).

Максимальное изгибающее механическое напряжение в шине

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P_{\text{эд}} l}{12 W_{\text{изг}}} = \frac{P_{\text{эд}} l}{2 h b^2},$$

где $W_{\text{изг}} = \frac{h b^2}{6}$ – момент сопротивления изгибу шины, м³.

Если $\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{доп}} = 13,7 \cdot 10^5$ Н/м², то сечение медных токоподводящих шин, выбранное исходя из длительного режима работы, принимается окончательным. Если же $\sigma_{\text{max}} > \sigma_{\text{доп}}$, то необходимо увеличить толщину

шинопровода, исходя из соотношения $b = \sqrt{\frac{P_{\text{эд}} l}{2 h \sigma_{\text{доп}}}}$. Это значение b также должно выбираться из стандартного ряда.

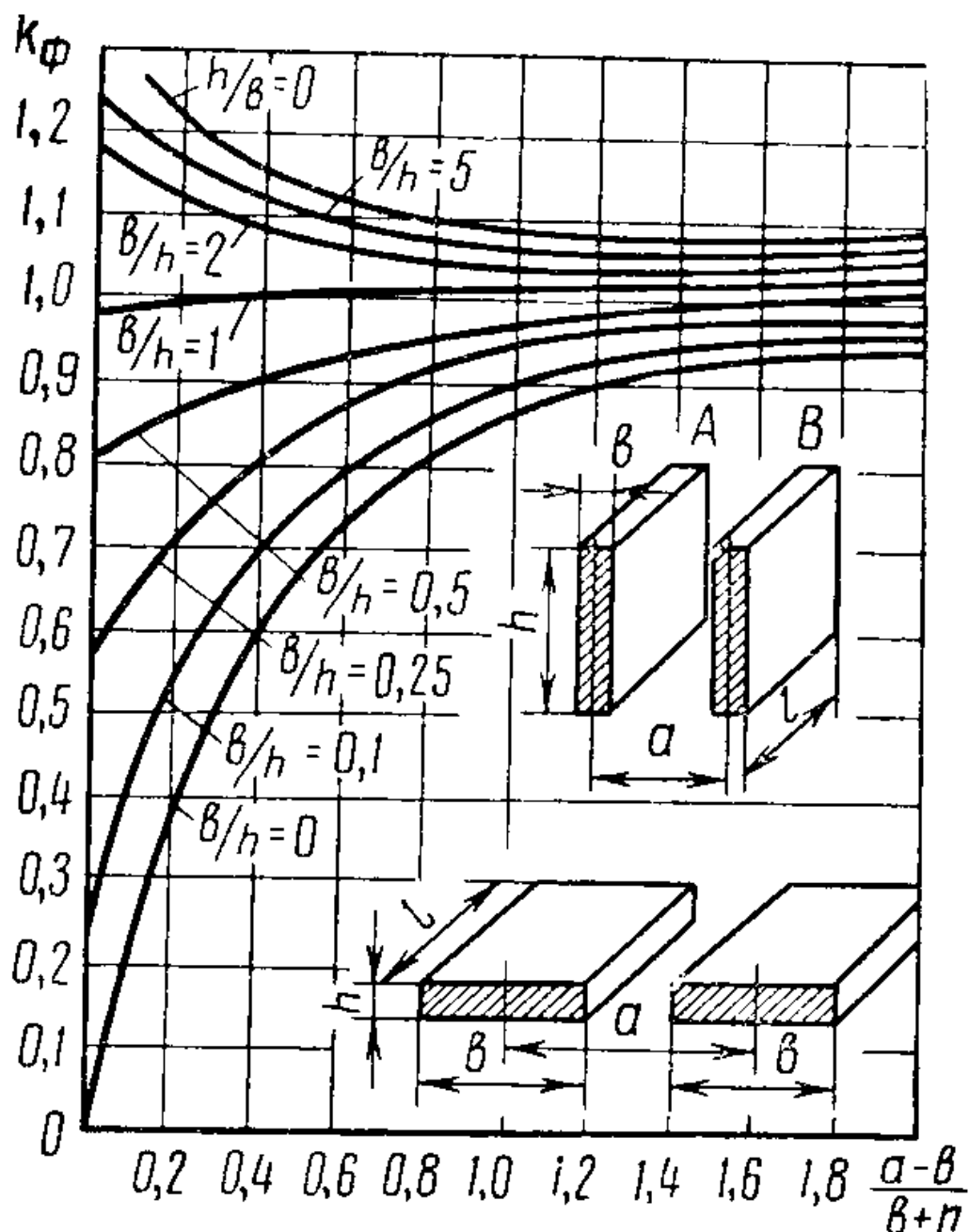


Рис. 1. Кривые Двайта для определения коэффициента формы параллельных проводников

Литература: л.1: с. 35...38, с. 54...58.

ЗАДАЧА 2. Определить температуру медного круглого окрашенного краской проводника диаметром d , по которому протекает постоянный ток I . Проводник находится горизонтально в спокойном воздухе с температурой Θ_0 .

Данные для расчетов по вариантам представлены в таблице 2.1 для группы ЗЭТ-51-19, в таблице - 2.2 для группы ЗЭТ-61-17.

Таблица 2.1 (группа ЗЭТ-51-19)

№ вариантов	d , мм	I , А	Θ_0 , °С	Фамилия И.О. студента
1.	16	400	25	АЛЕКСАНДРОВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ
2.	18	500	25	АЛЕКСЕЕВ АРТЕМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
3.	20	600	25	АЛЖИРОВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
4.	22	700	25	АНДРЕЕВ ЕГОР АЛЕКСАНДРОВИЧ
5.	24	800	25	БОГАТНОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
6.	25	900	25	ВАСИЛЬЕВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	26	1000	25	ВАСИЛЬЕВ СТАНИСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ
8.	27	1100	25	ГРИГОРЬЕВ АЛЕКСАНДР МЕРКУРЬЕВИЧ
9.	28	1200	25	ГРИГОРЬЕВ АНДРЕЙ МЕРКУРЬЕВИЧ
10.	29	1300	25	ГРИГОРЬЕВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ
11.	30	1400	25	ГРИГОРЬЕВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
12.	32	1500	55	ДАНИЛОВ АРТУР РАДИСЛАВОВИЧ
13.	34	1600	55	ЕФИМОВ ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ
14.	37	1700	45	ЗАБРОДИН КОНСТАНТИН ДМИТРИЕВИЧ
15.	38	1800	45	ИВАНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
16.	39	1900	45	ИВАНОВ ДАНИИЛ ИГОРЕВИЧ
17.	40	2000	45	КИРИЛЛОВ МАРК ВЛАДИМИРОВИЧ
18.	41	2100	45	ЛЕБЕДЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
19.	42	2200	45	ЛУКИН ДИМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
20.	44	2300	45	ЛЫЧЕВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ
21.	46	2400	45	МАРДАРЬЕВ ДАНИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
22.	32	1000	55	МАТВЕЕВ ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

№ вариантов	d , мм	I , А	Θ_0 , °С	Фамилия И.О. студента
23.	34	1100	55	МОСКВИН КОНСТАНТИН МИХАЙЛОВИЧ
24.	37	1200	55	МУСТАФИН МАКСИМ АМИРОВИЧ
25.	38	1300	55	ОРЛОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ
26.	39	1400	55	ОСИПОВ ФЕДОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
27.	40	1500	55	ЯКОВЛЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
28.	41	1600	55	
29.	46	2400	55	
30.	16	400	55	

Таблица 2.2 (группа ЗЭТ-61-17)

№ вариантов	d , мм	I , А	θ_0 , °С	Фамилия И.О. студента
1.	18	500	45	АЛЕКСЕЕВ АНДРЕЙ АРКАДЬЕВИЧ
2.	20	600	45	БЕЛЯЕВ ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ
3.	22	700	45	ВАСИЛЬЕВ АНТОН ДМИТРИЕВИЧ
4.	24	800	45	ВАСИЛЬЕВ НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ
5.	25	900	45	ЕГОРОВ ИГОРЬ ВАЛЕРЬЕВИЧ
6.	26	1000	45	ЖУРАВЛЕВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	27	1100	45	КУЛИКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ
8.	28	1200	45	ЛЬВОВ МАКСИМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
9.	29	1300	45	НИКИФОРОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ
10.	30	1400	45	НИКОЛАЕВ ДАНИЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
11.	32	1500	55	НИКОЛАЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ
12.	34	1600	55	ПАВЛОВ ЕВГЕНИЙ АРТУРОВИЧ
13.	37	1700	55	РЕПЬЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
14.	38	1800	55	СЕМЕНОВ РОСТИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ
15.	39	1900	55	СКВОРЦОВ

№ вариантов	d , мм	I , А	θ_0 , °С	Фамилия И.О. студента
				ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
16.	40	2000	55	СПИРИДОНОВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
17.	41	2100	55	СТЕПАНОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
18.	42	2200	55	ТАБАКОВ АЛЕКСЕЙ ПАВЛОВИЧ
19.	44	2300	55	ФЁДОРОВ АЛЕКСАНДР ИЛЬИЧ
20.	46	2400	55	ЯКОВЛЕВ СТАНИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ
21.	32	1000	55	
22.	34	1100	55	
23.	37	1200	55	
24.	38	1300	55	
25.	39	1400	55	
26.	40	1500	55	
27.	41	1600	55	

Методические указания

Исходным уравнением для решения задачи является формула Ньютона

$$P = k_T \cdot S_{\text{охл}} \cdot \tau, \quad (1)$$

где P – мощность тепловых потерь, Вт; k_T – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С); $S_{\text{охл}}$ – площадь поверхности охлаждения, м²; $\tau = \Theta - \Theta_0$ – превышение температуры проводника над температурой окружающей среды °С; Θ – температура нагретого проводника, °С; Θ_0 – температура окружающей среды, °С.

Тепловые потери в проводнике

$$P = I^2 R = I^2 \rho_0 (1 + \alpha \Theta) \frac{l}{q}, \quad (2)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при температуре 0°С; α – температурный коэффициент сопротивления материала проводника; l , q – длина (м) и поперечное сечение (м²) проводника. Для меди $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; $\alpha = 0,0043$ (1/°С).

Для приближенных расчетов коэффициент теплоотдачи k_T определяют по эмпирической формуле

$$k_T = 10k_1 (1 + k_2 10^{-2} \tau), \quad (3)$$

Коэффициенты k_1 и k_2 определяются из таблицы 2.3:

Таблица 2.3

Диаметр проводника d , мм	0,3	10	40	80	200
k_1 , Вт/(м ² ·°C)	4,5	2,24	1,11	1,08	1,02
k_2 , 1/°C	1,7	1,14	0,88	0,75	0,68

Примечание. Зависимости $k_1 = f(d)$ и $k_2 = f(d)$ являются нелинейными. Для определения коэффициентов k_1 и k_2 предварительно необходимо построить приближенные графики зависимостей $k_1 = f(d)$ и $k_2 = f(d)$.

Решая задачу для длины l , находится $S_{\text{охл}} = \pi \cdot d \cdot l$. Подставляя (2) и (3) в выражение (1) получим уравнение для нахождения температуры нагрева проводника Θ :

$$I^2 \rho_0 (1 + \alpha \Theta) \frac{l}{\pi d^2 / 4} = 10k_1 [1 + k_2 10^{-2} (\Theta - \Theta_0)] \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot (\Theta - \Theta_0), \quad (4)$$

или

$$I^2 \rho_0 (1 + \alpha \Theta) \frac{1}{\pi d^2 / 4} = 10k_1 [1 + k_2 10^{-2} (\Theta - \Theta_0)] \cdot \pi \cdot d \cdot (\Theta - \Theta_0), \quad (4.1)$$

Полученное уравнение нелинейное. Его можно решать классическим методом (квадратное уравнение). Но проще решать его средствами Mathcad. Для этого оно записывается в следующем виде:

$$f(\Theta) = I^2 \rho_0 (1 + \alpha \Theta) \frac{1}{\pi d^2 / 4} - 10k_1 [1 + k_2 10^{-2} (\Theta - \Theta_0)] \cdot \pi \cdot d \cdot (\Theta - \Theta_0). \quad (5)$$

Решение получается с использованием функции «**root**($f(\Theta)$, Θ)=».

Пример. Определить температуру медного круглого окрашенного краской проводника диаметром $d=25$ мм, по которому протекает постоянный ток $I=1000$ А. Проводник находится горизонтально в спокойном воздухе с температурой $\Theta_0 = 35^\circ\text{C}$. Коэффициенты k_1 и k_2 определяются из таблицы 2.3: в данном случае $k_1 \cong 1,227$ и $k_2 \cong 1,0095$.

Подставляются числовые данные в квадратное уравнение (4.1)

$$\begin{aligned} 1000^2 \cdot 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043 \cdot \Theta) \frac{1}{\pi \cdot 0,025^2 / 4} = \\ = 10 \cdot 1,227 \cdot [1 + 1,095 \cdot 10^{-2} (\Theta - 35)] \cdot \pi \cdot 0,025 \cdot (\Theta - 35). \end{aligned}$$

Решение полученного уравнения дает $\Theta \cong 70^\circ\text{C}$.

Решение в среде Mathcad с использованием функции «**root**($f(\Theta)$, Θ)=» 69,659.

Литература: л. 1: с. 58...88.

Задача 3. Для прямого пуска короткозамкнутого асинхронного электродвигателя серии 4А мощностью P_n , питающегося от сети с номинальным напряжением U_n , используется магнитный пускатель, схема включения которого представлена на рис. 3.1. В состав пускателя входят контактор КМ1 и тепловое реле КК. Определить необходимые параметры двигателя, выбрать тип магнитного

пускателя и теплового реле, а также номинальный ток теплового элемента $I_{н.тэ}$ теплового реле.

Данные для расчета приведены в табл. 3.1 для группы ЗЭТ-51-19, в табл. 3.2 для группы ЗЭТ-61-17. Технические данные некоторых типов магнитных пускателей и тепловых реле приведены в табл. 3.3 и 3.4.

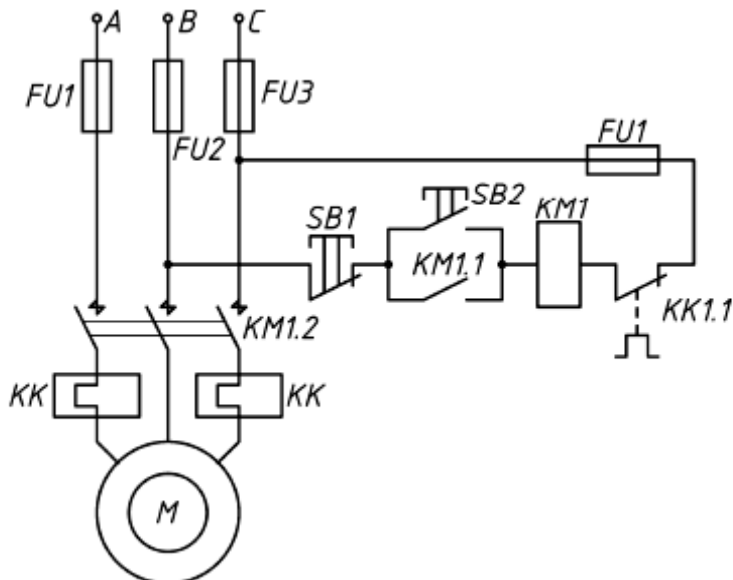


Рис.3.1. Схема прямого пуска асинхронного электродвигателя

Таблица 3.1 (ЗЭТ-51-19)

№ вариантов	P_n , кВт	$\cos\phi$	η (кпд)	U_n , В	Фамилия И.О. студента
1.	3	0,88	0,845	380	АЛЕКСАНДРОВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ
2.	4	0,89	0,865	380	АЛЕКСЕЕВ АРТЕМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
3.	5,5	0,91	0,875	380	АЛЖИРОВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
4.	7,5	0,88	0,875	380	АНДРЕЕВ ЕГОР АЛЕКСАНДРОВИЧ
5.	11	0,90	0,880	380	БОГАТНОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
6.	15	0,91	0,880	380	ВАСИЛЬЕВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	18,5	0,92	0,885	380	ВАСИЛЬЕВ СТАНИСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ
8.	22	0,91	0,885	380	ГРИГОРЬЕВ АЛЕКСАНДР МЕРКУРЬЕВИЧ
9.	30	0,90	0,905	380	ГРИГОРЬЕВ АНДРЕЙ МЕРКУРЬЕВИЧ

№ вариантов	P_n , кВт	$\cos\varphi$	η (кпд)	U_n , В	Фамилия И.О. студента
10.	37	0,89	0,90	380	ГРИГОРЬЕВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ
11.	3	0,88	0,845	220	ГРИГОРЬЕВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
12.	4	0,89	0,865	220	ДАНИЛОВ АРТУР РАДИСЛАВОВИЧ
13.	5,5	0,91	0,875	220	ЕФИМОВ ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ
14.	7,5	0,88	0,875	220	ЗАБРОДИН КОНСТАНТИН ДМИТРИЕВИЧ
15.	11	0,90	0,880	220	ИВАНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
16.	15	0,91	0,880	220	ИВАНОВ ДАНИИЛ ИГОРЕВИЧ
17.	18,5	0,92	0,885	220	КИРИЛЛОВ МАРК ВЛАДИМИРОВИЧ
18.	22	0,91	0,885	220	ЛЕБЕДЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
19.	30	0,90	0,905	220	ЛУКИН ДИМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
20.	37	0,89	0,90	220	ЛЫЧЕВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ
21.	3	0,88	0,845	380	МАРДАРЬЕВ ДАНИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
22.	4	0,89	0,865	380	МАТВЕЕВ ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
23.	5,5	0,91	0,875	380	МОСКВИН КОНСТАНТИН МИХАЙЛОВИЧ
24.	7,5	0,88	0,875	380	МУСТАФИН МАКСИМ АМИРОВИЧ
25.	11	0,90	0,880	380	ОРЛОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ
26.	15	0,91	0,880	220	ОСИПОВ ФЕДОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
27.	18,5	0,92	0,885	220	ЯКОВЛЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
28.	22	0,91	0,885	220	
29.	30	0,90	0,905	220	
30.	37	0,89	0,90	220	

Таблица 3.2 (ЗЭТ-61-17)

№ вариантов	P , кВт	$\cos\varphi_{дв}$	η (кпд)	$U_{ном}$, В	Фамилия И.О. студента
1.	3	0,88	0,845	380	АЛЕКСЕЕВ АНДРЕЙ АРКАДЬЕВИЧ

2.	4	0,89	0,865	380	БЕЛЯЕВ ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ
3.	5,5	0,91	0,875	380	ВАСИЛЬЕВ АНТОН ДМИТРИЕВИЧ
4.	7,5	0,88	0,875	380	ВАСИЛЬЕВ НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ
5.	11	0,90	0,880	380	ЕГОРОВ ИГОРЬ ВАЛЕРЬЕВИЧ
6.	15	0,91	0,880	380	ЖУРАВЛЕВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	18,5	0,92	0,885	380	КУЛИКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ
8.	22	0,91	0,885	380	ЛЬВОВ МАКСИМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
9.	30	0,90	0,905	380	НИКИФОРОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ
10.	37	0,89	0,90	380	НИКОЛАЕВ ДАНИЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
11.	3	0,88	0,845	380	НИКОЛАЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ
12.	4	0,89	0,865	380	ПАВЛОВ ЕВГЕНИЙ АРТУРОВИЧ
13.	5,5	0,91	0,875	380	РЕПЬЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
14.	7,5	0,88	0,875	380	СЕМЕНОВ РОСТИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ
15.	11	0,90	0,880	380	СКВОРЦОВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
16.	15	0,91	0,880	380	СПИРИДОНОВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
17.	18,5	0,92	0,885	380	СТЕПАНОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
18.	22	0,91	0,885	380	ТАБАКОВ АЛЕКСЕЙ ПАВЛОВИЧ
19.	30	0,90	0,905	380	ФЁДОРОВ АЛЕКСАНДР ИЛЬИЧ
20.	37	0,89	0,90	380	ЯКОВЛЕВ СТАНИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ
21.	3	0,88	0,845	380	
22.	4	0,89	0,865	380	
23.	5,5	0,91	0,875	380	
24.	7,5	0,88	0,875	380	
25.	11	0,90	0,880	380	
26.	15	0,91	0,880	380	
27.	18,5	0,92	0,885	380	

Методические указания

1. Определение номинального тока двигателя

$$I_{н.дв} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi},$$

где U_n – номинальное напряжение обмотки двигателя; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности двигателя; η – коэффициент полезного действия двигателя (табл. 3.1). При соединении обмоток асинхронного электродвигателя по схеме «звезда» $U_{нY}=220В$, при схеме обмоток «треугольник» $U_{н\Delta}=380В$.

По величине этого тока из табл. 3.3 производится выбор магнитного пускателя таким образом, чтобы максимальный рабочий ток пускателя в категории применения АС-3 (пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся двигателей при номинальной нагрузке) был не менее номинального тока двигателя и максимально близким к нему.

2. Определение номинального тока уставки теплового реле.

Для лучшего согласования перегрузочной характеристики двигателя и времятоковой (защитной) характеристики теплового реле, номинальный ток уставки реле выбирается на 15...20% выше номинального тока двигателя $I_{уст.н} = (1,15...1,20)I_{н.дв}$. Так как в тепловое реле выбранного выше пускателя может быть установлен тепловой элемент с различным номинальным током $I_{н.тэ}$, то из ряда этих токов для реле пускателя (табл. 3.4) необходимо выбрать значение, ближайшее к $I_{уст.н}$ и проверить, укладывается ли эта величина в пределы регулирования номинального тока уставки ($\pm 25\%$).

Таблица 3.3

Технические данные магнитных пускателей

Тип защищённого исполнения	Номинальный ток, А	Максимальный рабочий ток при категории исполнения АС-3	Тип встроенного теплового реле
ПМЕ-122	10	7,5	ТРН-8
ПМЕ-222	23	18	ТРН-25
ПА-322	40	30	ТРН-32
ПА-422	56	50	ТРП-60
ПА-522	115	100	ТРП-150
ПА-622	140	135	ТРП-150

Таблица 3.4

Технические данные тепловых реле

Тип защищенного исполнения	Номинальный ток теплового реле $I_{н.тр}, A$	Номинальные токи тепловых элементов реле $I_{н.тэ}, A$	Пределы регулирования номинального тока уставки
ТРН-8	10	2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,8; 8; 10	$(0,75...1,25) I_{н.тэ}$
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
ТРН-32	40	16; 20; 25; 32; 40	
ТРП-60	60	25; 30; 40; 50; 60	
ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120; 150	

Примечание. 1. Разрешается выбирать более современные типы магнитных пускателей (ПМА, ПМЛ, ПМ12) и тепловых реле (РТЛ, РТТ). Их технические данные приводятся в [3].

Выбранные таким образом параметры реле обеспечивают отключение двигателя, например, при токе перегрузки $1,3I_{н.дв}$ за время не более 10...20 мин., а при перегрузке током $10I_{н.дв}$ – за время не более 2...5 с.

Литература: л.:1 с. 326...336, 355...360, 366.

ЗАДАЧА 4. Для защиты от токов короткого замыкания цепи питания короткозамкнутого асинхронного электродвигателя мощностью P_n (рис. 3.1) используются плавкие предохранители серии ПР-2 (разборные, без наполнителя). Варианты брать в соответствии с таблицами 3.1 и 3.2.

Определить номинальный и пограничные токи, а также сечение медной плавкой вставки и выбрать наиболее близкое по номинальному току плавкой вставки исполнение предохранителя. Технические данные предохранителей серии ПР-2 при напряжении 380В приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Номинальный ток предохранителя, А	Номинальные токи плавких вставок, А	Предельный отключаемый ток при $\cos\varphi_A = 0,4$, А
15	6, 10 и 15	4500
60	15, 20, 25, 35, 45 и 60	8000
100	60, 80 и 100	11000
200	100, 125, 160 и 200	11000
350	200, 225, 260, 300 и 350	13000
600	350, 430, 500 и 600	20000

Методические указания

1. Определение номинального тока плавкой вставки.

Плавкая вставка предохранителя не должна отключать двигатель при кратковременных перегрузках его пусковыми токами. Для двигателей серии 4А величина пускового тока

$$I_{\text{п}} = 7I_{\text{н.дв.}}$$

Для защиты одиночных двигателей в большинстве практических случаев номинальный ток плавкой вставки рекомендуется определять из соотношения

$$I_{\text{вст.н}} = 0,4I_{\text{п}}$$

В соответствии с рассчитанным значением $I_{\text{вст.н}}$ из табл. 4.1 выбирается номинальный ток плавкой вставки – ближайшее большее значение. В соответствии с выбранным значением $I_{\text{вст.н}}$ определяется исполнение предохранителя (по номинальному току).

2. Определение пограничного тока плавкой вставки.

Под пограничным током $I_{\text{погр}}$ понимают ток, при котором сгорает плавкая вставка, достигнув температуры плавления. Расчетный пограничный ток $I_{\text{погр}}$ берется несколько больше номинального тока плавкой вставки. Отношение $I_{\text{погр}} / I_{\text{вст.н}}$ для медных вставок составляет 1,6...1,8. Т.е. пограничный ток $I_{\text{погр}}$ принимается

$$I_{\text{погр}} = (1,6...1,8)I_{\text{вст.н}}$$

3. Определение диаметра медной плавкой вставки.

Исходя из баланса подводимого и отводимого от плавкой вставки мощностей диаметр плавкой вставки определяется из уравнения

$$d = \sqrt[3]{\frac{4I_{\text{погр}}^2 (1 + \alpha_c T_{\text{пл}}) \rho_0}{\pi^2 k_T (T_{\text{пл}} - T_{\text{окр}})}},$$

где

$\rho_0 = 1,58 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное электрическое сопротивление меди при 0°C ;

$\alpha_c = 0,0043, 1/^\circ\text{C}$ – температурный коэффициент сопротивления для меди;

$T_{\text{пл}} = 1083^\circ\text{C}$ – температура плавления меди;

$T_{\text{окр}} = 40^\circ\text{C}$ – температура окружающей среды;

$k_T = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности плавкой вставки.

Литература: л. 2: с. 229...242.

ЗАДАЧА 5. Для коммутации электрических цепей управления требуется выбрать реле на герконах с числом контактов n , коммутируемым током I_K и напряжением U_K . Напряжение питания обмотки управления U_y . В решении

привести все технические данные и массогабаритные показатели, а также общий вид реле.

Данные для расчетов по вариантам представлены в таблице 5.1 для группы ЗЭТ-51-19, в таблице 5.2 для группы ЗЭТ-61-17.

Таблица 5.1 (ЗЭТ-51-19)

№ вариантов	Кол-во и вид контактов <i>n</i>	I_K , А	U_K , В	U_y , В	Фамилия И.О. студента
1.	1 «З»	1	220	12	АЛЕКСАНДРОВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ
2.	2 «З»	1	220	24	АЛЕКСЕЕВ АРТЕМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
3.	3 «З»	1	220	12	АЛЖИРОВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
4.	4 «З»	0,8	220	24	АНДРЕЕВ ЕГОР АЛЕКСАНДРОВИЧ
5.	5 «З»	0,8	110	12	БОГАТНОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
6.	6 «З»	0,6	110	24	ВАСИЛЬЕВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	7 «З»	0,6	110	12	ВАСИЛЬЕВ СТАНИСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ
8.	8 «З»	0,5	110	24	ГРИГОРЬЕВ АЛЕКСАНДР МЕРКУРЬЕВИЧ
9.	1 «П»	0,5	110	12	ГРИГОРЬЕВ АНДРЕЙ МЕРКУРЬЕВИЧ
10.	2 «П»	0,5	110	12	ГРИГОРЬЕВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ
11.	1 «П»	0,5	110	15	ГРИГОРЬЕВ КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ
12.	2 «П»	0,5	110	15	ДАНИЛОВ АРТУР РАДИСЛАВОВИЧ
13.	1 «П»	0,5	110	24	ЕФИМОВ ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ
14.	2 «П»	0,5	110	24	ЗАБРОДИН КОНСТАНТИН ДМИТРИЕВИЧ
15.	1 «З»	0,5	110	12	ИВАНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
16.	2 «З»	0,5	110	12	ИВАНОВ ДАНИИЛ ИГОРЕВИЧ
17.	3 «З»	0,5	110	12	КИРИЛЛОВ МАРК ВЛАДИМИРОВИЧ
18.	1 «З»	0,4	110	15	ЛЕБЕДЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
19.	2 «З»	0,4	110	15	ЛУКИН ДИМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
20.	3 «З»	0,4	110	15	ЛЫЧЕВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ

№ вариантов	Кол-во и вид контактов <i>n</i>	I_K , А	U_K , В	U_y , В	Фамилия И.О. студента
21.	1 «з»	0,25	60	24	МАРДАРЬЕВ ДАНИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
22.	2 «з»	0,25	60	24	МАТВЕЕВ ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
23.	3 «з»	0,25	60	24	МОСКВИН КОНСТАНТИН МИХАЙЛОВИЧ
24.	1 «з»	2	220	12	МУСТАФИН МАКСИМ АМИРОВИЧ
25.	1 «з»	2,5	220	15	ОРЛОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ
26.	1 «з»	3	110	24	ОСИПОВ ФЕДОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
27.	1 «з»	4	110	48	ЯКОВЛЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
28.	2 «з»	2	220	48	
29.	3 «з»	3	220	60	
30.	4 «з»	4	220	110	

Примечание: «з» - замыкающие контакты; «р» - размыкающие контакты; «п» - переключающие контакты.

Таблица 5.2 (ЗЭТ-61-17).

№ вариантов	Кол-во и вид контактов <i>n</i>	I_K , А	U_K , В	U_y , В	Фамилия И.О. студента
1.	3 «з»	0,5	110	12	АЛЕКСЕЕВ АНДРЕЙ АРКАДЬЕВИЧ
2.	1 «з»	0,4	110	15	БЕЛЯЕВ ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ
3.	2 «з»	0,4	110	15	ВАСИЛЬЕВ АНТОН ДМИТРИЕВИЧ
4.	3 «з»	0,4	110	15	ВАСИЛЬЕВ НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ
5.	1 «з»	0,25	60	24	ЕГОРОВ ИГОРЬ ВАЛЕРЬЕВИЧ
6.	2 «з»	0,25	60	24	ЖУРАВЛЕВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ
7.	3 «з»	0,25	60	24	КУЛИКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ
8.	1 «з»	2	220	12	ЛЬВОВ МАКСИМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
9.	1 «з»	2,5	220	15	НИКИФОРОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ
10.	1 «з»	3	110	24	НИКОЛАЕВ ДАНИЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
11.	1 «з»	4	110	48	НИКОЛАЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ
12.	2 «з»	2	220	48	ПАВЛОВ ЕВГЕНИЙ АРТУРОВИЧ

№ вариантов	Кол-во и вид контактов <i>n</i>	I_K , А	U_K , В	U_y , В	Фамилия И.О. студента
13.	3 «з»	3	220	60	РЕПЬЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ
14.	4 «з»	4	220	110	СЕМЕНОВ РОСТИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ
15.	1 «з»	0,4	110	15	СКВОРЦОВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
16.	2 «з»	0,4	110	15	СПИРИДОНОВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
17.	2 «з»	2	110	48	СТЕПАНОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
18.	3 «з»	3	60	60	ТАБАКОВ АЛЕКСЕЙ ПАВЛОВИЧ
19.	1 «з»	2	220	110	ФЁДОРОВ АЛЕКСАНДР ИЛЬИЧ
20.	1 «з»	1	110	15	ЯКОВЛЕВ СТАНИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ

Примечание: «з» - замыкающие контакты; «р» - размыкающие контакты; «п» - переключающие контакты.

Литература: л. 3: с. 243...282.

Литература

1. *Чунихин, А.А.* Электрические аппараты. Общий курс: учеб. для вузов/ А.А. Чунихин. Изд. 3, перераб. и доп. – М., Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.: ил.
– изд. 4, стереотипное. – М., Энергоатомиздат, 2008. – 720 с.: ил.;
– изд. 3, перераб. и доп./ Репринтное воспроизведение издания 1988 г. – М.: Альянс, 2013. – 720 с.
2. *Таев И.С.* Электрические аппараты управления: учеб. для вузов / И.С. Таев – М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.: ил.
3. *Акимов Е.Г.* Выбор и применение низковольтных электрических аппаратов распределения, управления и автоматики: справочное пособие/ Е.Г. Акимов, Ю.С. Коробков, В.П. Соколов, Е.В. Таланов; под ред. Е.Г. Акимова, Ю.С. Коробкова. – М.: Изд-во МЭИ, 2016. – 344с.: ил.