

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ. Контрольная работа

Библиографический список

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты. -М.: Энергоатомиздат, 1966.
2. Родштейн Л.А. Электрические аппараты -Л.: Энергоиздат, 1981.
3. Таев И.О. Электрические аппараты управления.-М.: Высш. школа, 1984.
4. Электрические и электронные аппараты /Под ред. Ю.К.Розанова.-М.: Энергоатомиздат, 1998.
5. Основы теории электрических аппаратов. /Под ред. И.С.Таева. М.: Высш. школа, 1987.
6. Таев И.О. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения.-М.: Энергия, 1972.
7. Могилевский Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Электрические аппараты высокого напряжения. /Под ред. Г.Н.Александрова.- Л.: Энергоатомиздат, 1989.

ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Содержание выполняемой в соответствии с учебным планом контрольной работы направлено на закрепление теоретических положений курса, на получение студентами практических навыков расчета параметров электрических аппаратов и технически обоснованного выбора аппаратов.

При выполнении контрольной работы следует знать следующие правила:

1. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой указываются фамилия, имя и отчество студента (в именительном падеже), специальность, шифр, наименование предмета, домашний адрес (с индексом предприятия связи). На каждом листе тетради оставляются поля шириной 4-5 см для замечаний рецензента.

2. Текст контрольной работы следует аккуратно оформить, делая все записи чернилами или шариковой ручкой. Условие каждой задачи переписываются в тетрадь.

3. Расчетные формулы следует писать сначала в общем виде и лишь затем подставлять в них цифровые значения, указывая размерность полученного результата.

4. Выбранные величины должны быть обоснованы. При заимствовании расчетных данных, формул, методов расчета и т.п. следует сделать ссылку на использованную литературу с указанием страницы, номера формулы, рисунка и т.п. Перечень использованной литературы нужно привести в конце работы, указав автора книги, название и год ее издания.

5. Результаты вычислений и графических построений оформляются в виде расчетных таблиц. Графическая часть работы (графики, диаграммы и т.п.) выполняются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в тетрадь.

6. Незачтенную контрольную работу необходимо исправить в соответствии с замечаниями рецензента и прислать на повторную рецензию. Исправления делаются в той же тетради в конце работы.

7. Выбор вариантов для решения задач производится по начальной букве фамилии.

Таблица 1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Начальная буква фамилии	АБВ	ГДЕ	ЖЗИ	КЛМ	НОП	РСТ	УФ	ХЦЧ	ШЩ	ЭЮЯ

Задача 1. Токоподвод к автоматическому выключателю постоянного тока выполнен медными прямоугольными шинами сечением $b \times h$, расположенными параллельно широкой стороне друг к другу при расстоянии a 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 $I_{ном}$ и его электродинамической стойкости при сквозном токе короткого замыкания $I_{кз}$. (максимальное значение пропускаемого тока). Данные для расчета представлены в табл.2.

Таблица 2

Параметры	ВАРИАНТЫ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a , мм	60	60	65	70	75	80	90	100	110	120
ℓ , мм	150	160	170	170	180	180	200	200	210	210
$I_{ном}$, А	160	200	250	400	600	800	1000	1600	2000	2500
$I_{кз}$, кА	55	60	75	80	100	120	160	200	250	300

Методические указания

1. Определение размеров сечения шин, 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 $S_{\text{дл}}$ и максимально близкое к нему.

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

Электродинамическая сила, действующая на участок шинпровода длиной ℓ

$$P_{\text{эд}} = 10^{-7} K K_{\phi} I_{\text{КЗ}}^2,$$

где $K = \frac{2\ell}{a} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{\ell}\right)^2} - \frac{a}{\ell} \right]$ - коэффициент контура;

K_{ϕ} - коэффициент формы, определяется по кривым Двайта ([1], с.38, рис.1.5 или [2], с.13. рис.2-4).

Максимальное изгибающее механическое напряжение в шине

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P_{\text{эд}} \ell}{12W_{\text{из}}} = \frac{P_{\text{эд}} \ell}{2hb^2},$$

где $W_{\text{из}} = \frac{hb^2}{6}$ - момент сопротивления изгибу шины, мм^3 .

Если $\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{доп}} = 13,7 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$, 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 шинпровода, исходя из соотношения

$$b = \sqrt{\frac{P_{\text{эд}} \ell}{2h\sigma_{\text{доп}}}}.$$

Это значение ℓ также должно выбираться из стандартного ряда.

Литература: [1], с. 35...38, с.56.

Задача 2. Для прямого пуска короткозамкнутого асинхронного электродвигателя серии 4А мощностью P , питающегося от сети с номинальным напряжением $U_{ном} = 380$ В, используется магнитный пускатель, схема включения которого представлена на рис.1. В состав пускателя входят контактор КМ и тепловые реле КК1 и КК2. Определить необходимые параметры двигателя и выбрать тип пускателя и параметры его тепловых реле.

Данные для расчета приведены в табл.3.

Таблица 3

Параметры	В а р и а н т ы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , кВт	15	18,5	22	15	18,5	22	11	15	11	15
$\cos \varphi_{дв}$	0,91	0,92	0,91	0,88	0,88	0,90	0,86	0,87	0,75	0,82
η	0,88	0,885	0,885	0,885	0,895	0,90	0,86	0,875	0,87	0,87

Технические данные некоторых типов пускателей и тепловых реле приведены в табл.4 и 5.

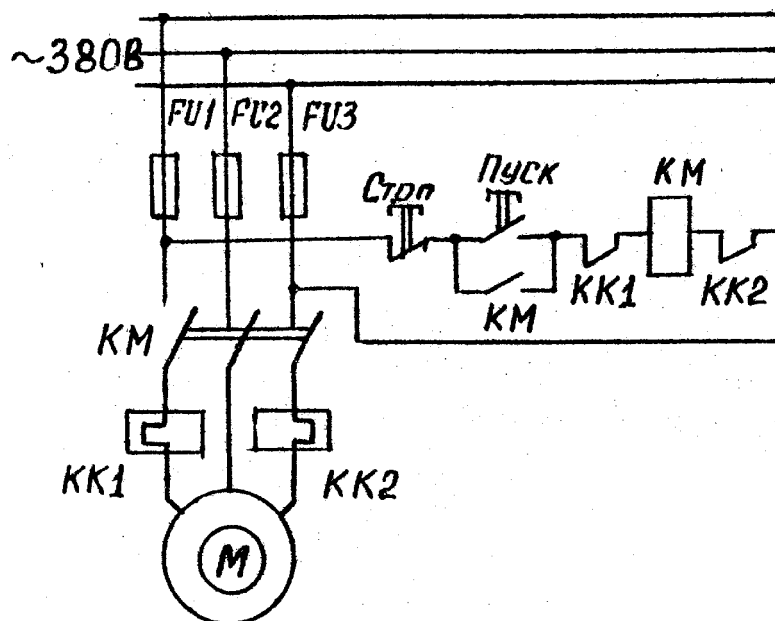


Рис.1

Методические указания

1. Определение номинального тока двигателя

$$I_{ном_{дв}} = \frac{P}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \varphi_{дв} \eta},$$

где $\cos \varphi_{дв}$ - коэффициент мощности двигателя ; η - КПД (табл.3).

По величине этого тока из табл.4 производится выбор 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 защитной (время-токовой) характеристики реле номинальный ток уставки выбирается на 15-20% выше номинального тока двигателя, т.е.

$$I_{уст.ном} = (1,15 + 1,20)I_{ном.дв}$$

так как в тепловое реле выбранного выше пускателя может быть установлен тепловой элемент с различным номинальным током (током срабатывания при нулевом положении регулятора), то из ряда этих токов для реле пускателя (табл.4) необходимо выбрать значение, ближайшее к $I_{уст.ном}$ и проверить укладывается ли величина $I_{уст.ном}$ в пределы регулирования номинального тока уставки ($\pm 25\%$).

Таблица 4

Технические данные магнитных пускателе при $U_{ном}=380$ В

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 5

Технические данные тепловых реле

Тип защищённого исполнения	Номинальный ток, А	Номинальные токи тепловых элементов реле, А (при нулевом положении регулятора)	Пределы регулирования номинального тока установки
ТРН.-8	10	2; 2,5; 3.2; 4; 5; 6,8; 8; 10	От
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20;25	$0,75 I_{ном}$
ТРН-32	40	16; 20; 25; 32; 40	До
ТРП-60	60	25; 30; 40; 50; 60	$1,25 I_{ном}$
ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120; 150	

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

Литература: [1], с.326...336, 355...360, 366.

Задача 3. Для защиты от токов короткого замыкания цепи питания короткозамкнутого асинхронного электродвигателя мощностью P (рис.1 и табл.3) используются плавкие предохранители серии ПР-2 (разборные, без наполнителя).

Определить номинальный и пограничный токи, а также сечение медной плавкой вставки и выбрать наиболее близкое по номинальному току плавкой вставки исполнение предохранителя.

Технические данные предохранителей серии ПР-2 приведены в табл.6.

Таблица 6

Технические данные предохранителей серии ПР-2
при напряжении 380 В

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 А02 величина пускового тока

$$I_n = 7I_{ном.дв}.$$

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

$$I_{вст.ном} = \frac{I_n}{2,5}.$$

В соответствии с рассчитанным значением $I_{вст.ном}$ из табл.6 выбирается номинальный ток плавкой вставки - ближайшее большее значение. В соответствии с выбранным значением $I_{вст.ном}$ определяется исполнение предохранителя (по его номинальному току).

2. Определение пограничного тока плавкой вставки.

Под пограничным током понимают номинальный ток, при котором сгорает плавкая вставка, достигнув установившейся температуры.

Расчетный пограничный ток $I_{погр}$ берется несколько больше номинального тока плавкой вставки. Отношение $I_{погр} / I_{вст.ном}$ для медных вставок составляет $1,6 \div 1,8$, т.е. $I_{погр} = (1,6 \div 1,8)I_{вст.ном}$.

3. Определение диаметра медной плавкой вставки. Исходя из баланса подводимого и отводимого от плавкой вставки мощностей диаметр плавкой вставки определяется из уравнения

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

где $\rho_0 = 1,75 \cdot 10^{-6}$ Ом · см - удельное сопротивление меди;

$\alpha_c = 0,004$ 1/град - температурный коэффициент сопротивления для меди;

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

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

$K_T = 11 \cdot 10^{-4}$ Вт/см² град - коэффициент теплопередачи с наружной поверхности вставки.

Литература : [3], с.229...242.

Задача 4. Определить токи срабатывания и отпускания, а также коэффициент возврата нейтрального экранированного герконового реле, содержащего обмотку управления с числом витков W и один симметричный замыкающий магнитоуправляемый контакт (рис.2, обмотка управления не показана).

Исходные данные для расчетов.

Размеры электродов геркона: длина $\ell = 20$ мм; ширина $b = 2,6$ мм; толщина $h = 0,5$ мм. Жесткость электродов $C = 1,66 \cdot 10^3$ Н/м. Длина перекрытия в рабочем зазоре $\ell_\delta = 1,2$ мм. Величина конечного рабочего зазора $\delta_{мин} = 0,01$ мм. Коэффициент симметрии геркона $K_{см} = 0,5$. Коэффициент магнитное проводимости путем рассеяния $K_{рас} = 0,1$. Коэффициент магнитной проводимости магнитопровода $K_{см} = 2$. Величина начального рабочего зазора δ_0 , число витков обмотки управления приведены в табл.7.

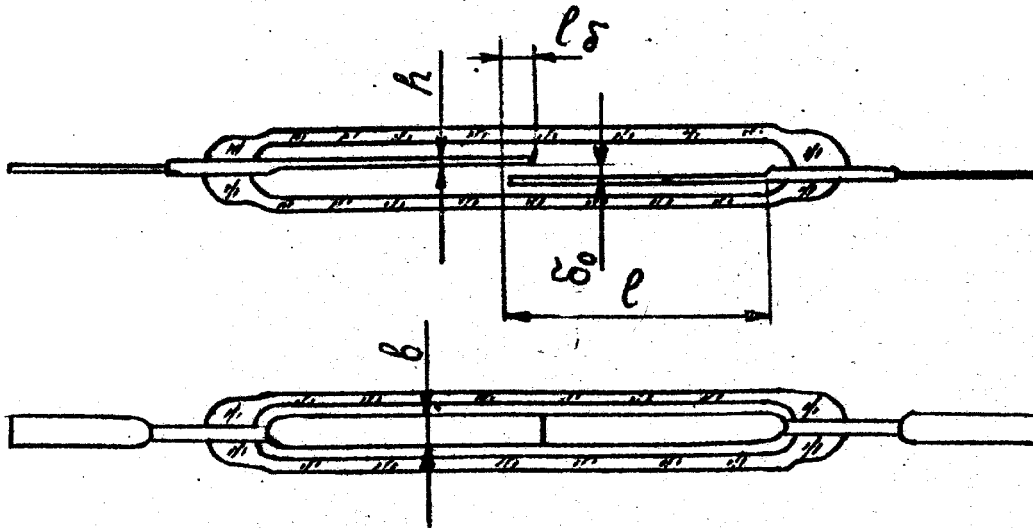


Рис.2

Таблица 7

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ_0 , мм	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,22	0,23	0,24	0,25
w, число витков	15000	18000	20000	22000	25000	30000	15000	18000	20000	25000

Методические указания

Для расчета следует воспользоваться методикой, приведенной в книге: Харазов К.И. Реле с магнитоуправляемыми контактами. - М.: Энергия, 1971, с.29...45.

Согласно этой методике МДС срабатывания такого реле определяется уравнением:

$$F_{cp} = (IW)_{cp} = \frac{2\delta_0}{3} \left(\frac{1}{K_{cm}} + 1 + \frac{K_{pac}}{K_{cm}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2\delta_0}{3} \left(1 + \frac{1}{K_{cm} + K_{pac}} \right) \frac{cK_{cm}}{\mu_0 b l \delta}}$$

Тогда ток срабатывания реле

$$I_{cp} = \frac{F_{cp}}{W}$$

Аналогично, МДС отпущения реле:

$$F_{отп} = (IW)_{отп} = \frac{\delta_0 / \delta_{мин} + K_{cm} + K_{pac}}{K_{cm}} \delta_{мин} \sqrt{\frac{2C(\delta_0 - \delta_{мин})K_{cm}}{\mu_0 b l \delta}}$$

Ток отпускания реле

$$I_{omn} = \frac{F_{omn}}{W} .$$

Коэффициент возврата реле $K_B = \frac{I_{omn}}{I_{cp}} .$

Задача 5. В пуско-регулирующем реостате используются резисторы, выполненные из константовой проволоки, намотанной на теплоемкий фарфоровый цилиндр, имеющий желобки для укладки константовой проволоки. Диаметр цилиндров $D=36$ мм, число желобков n , активная длина цилиндра ℓ , масса цилиндра G_k , диаметр проволоки d .

Определить сопротивление и нагрузочную способность резистора при длительном режиме работы, а также постоянную времени нагрева, коэффициент перегрузки и допустимый ток перегрузки для кратковременного режима работы длительностью $t_{кр}$.

Данные для расчетов приведены в табл.8.

Таблица 8

Параметр	ВАРИАНТ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
$t_{кр}$, с	10	12	15	18	20	12	15	18	20	25
n	30					40				
ℓ	100					145				
G_k	180					260				

Методические указания

1. Сопротивление резистора

$$R = \rho \frac{l_{np}}{S_{np}} = \rho_0 (1 + \alpha T) \frac{4Dn}{d^2} ,$$

где $\rho_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ Ом · см - удельное сопротивление константана при 0°С;
 $\alpha = 3 \cdot 10^{-5}$ 1/°С - температурный коэффициент сопротивления для константана;

$l_{np} = \pi D n$ - длина проволоки, укладываемой в желобки цилиндра, см;
 S_{np} - сечение проволоки, см²;

$T = 500$ °С - допустимая температура нагрева константовой проволоки на фарфоровом каркасе.

2. Нагрузочная способность резистора при длительном режиме работы оценивается допустимой величиной тока

$$I_{\text{дл}} = \sqrt{\frac{K_m F_{\text{нр}} \tau_{\text{дон}}}{R}},$$

где $K_m = 002 \text{ Вт/ (см}^2 \cdot \text{град)}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности проволоки;

$F_{\text{нр}} = \pi d \ell_{\text{нр}} = \pi^2 d D n$ - поверхность проволоки, см^2 ;

$\tau_{\text{дон}} = 400^\circ\text{C}$ - допустимое превышение температуры константовой проволоки над температурой окружающей среды внутри реостата.

3. Постоянная времени нагрева резистора при кратковременном режиме работы

$$\vartheta = \frac{\beta_k c_k G_k + c_0 G_0}{K_{\text{мк}} F_k},$$

где $\beta_k = 0,35$ - коэффициент, учитывающий участие фарфорового цилиндра в теплоотводе от проволоки в кратковременном режиме работы;

$c_k = 1,05 \text{ Дж/ (г} \cdot \text{град)}$ - удельная теплоемкость фарфора;

$c_0 = 0,4 \text{ Дж/ (г} \cdot \text{град)}$ - удельная теплоемкость константа;

$G_0 = \gamma_0 S_{\text{нр}} \ell_{\text{нр}} = \gamma_0 \pi^2 d^2 D n / 4$ - масса проволоки резистора (здесь $\gamma_0 = 8,9 \text{ г/см}^3$ - плотность константана);

$K_{\text{мк}} = 0,0023 \text{ Вт/(см}^2 \cdot \text{град)}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности фарфорового цилиндра;

$F_k = \pi D \ell$ - наружная боковая поверхность охлаждения цилиндра, см .

4. Коэффициент перегрузки резистора по току в кратковременном режиме работы

$$p = \frac{1}{\sqrt{1 - e^{-t_{\text{кр}} / \vartheta}}}.$$

5. Допустимый ток перегрузки резистора в кратковременном режиме работы

$$I_{\text{кр}} = p \cdot I_{\text{дл}}.$$

Литература: [1], с.78...79; 294...304.