Задание на контрольную работу и методические указания к выполнению контрольных работ

В данной методической работе приведены задания на одну контрольную работу, которая состоит из пяти задач с методическими указаниями к их выполнению. Контрольная работа выполняется во 2 семестре 4 курса.

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.

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.

Так как задачи в контрольной работе содержит несколько вариантов, то исходные данные для расчетов надлежит выбрать в соответствии с начальной буквой фамилии студента (табл. 1).

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 х h, расположенными параллельно широкой стороне друг к другу на расстоянии a и закрепленными на опорных изоляторах на расстоянии ℓ между соседними изоляторами. Выбрать размеры сечения b и h токоподводяших 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	В А Р И А Н Т Ы									
	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

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

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

Отношение узкой стороны сечения шинопровода 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 $S_{дл}$ и 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,

$$P_{эд} = 10^{-7} K K_ф I_{КЗ}^2 \quad ,$$

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

$K_ф$ – коэффициент формы, определяется по кривым Двайта.

Максимальное изгибающее механическое напряжение в шине

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

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

Если $\sigma_{max} \le \sigma_{доп} = 13{,}7 \cdot 10^5$ Н/мм^2, то сечение медных токоподводящих шин,

выбранное исходя из длительного режима работы, принимается окончательным. Если же $\sigma_{max} > \sigma_{доп}$, то необходимо увеличить толщину шинопровода, исходя из соотношения

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

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 4 А 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	Варианты									
	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 $\varphi_{дв}$	1	0,92	0,91	0,88	0,88	0,90	0,86	0,87	0,75	0,82
η	8	0,885	0,885	0,885	0,895	0,90	0,86	0,875	0,87	0,87

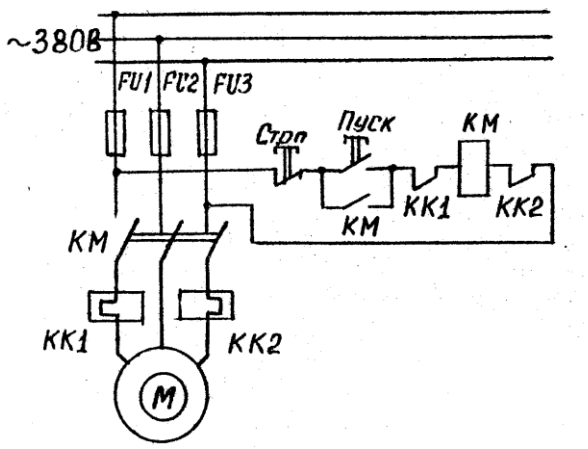

Рис. 1

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

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 необходимо выбрать значение, ближайшее к $I_{уст.ном}$ и проверить, укладывается ли величина $I_{уст.ном}$ в пределы регулирования номинального тока уставки ($\pm$25 %). Технические данные магнитных пускателей при $U_{ном}$=380 В приведены в табл. 4.

Таблица 4

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

Технические данные тепловых реле приведены в табл. 5

Таблица 5

Тип защищенного 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 $I_{ном\cdot дв}$ за время не более 10-20 мин., а при перегрузке током 10 $I_{ном\cdot дв}$ 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 при напряжении 380 В приведены в табл. 6.

Таблица 6

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

$$I_п = 7I_{ном.дв}.$$

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

$$I_{вст.ном} = \frac{I_п}{2{,}5}.$$

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

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

$T_{пл} = 1083^oC$ –температура плавления меди;

$T_{окр} = 40^oC$ –температура окружающей среды;

$K_T = 11 \cdot 10^{-4}$ Вт/см^2 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

замыкавший магнитоуправляемый контакт (рис. 2, обмотка управления не показана).

Исходные данные для расчетов.

Размеры электродов геркона: длина ℓ = 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 ℓ_δ = 1,2 мм. Величина конечного рабочего зазора $\delta_{мин}$ = 0,01 мм. Коэффициент симметрии геркона $K_{см}$ = 0,5. Коэффициент магнитной проводимости путем рассеяния $K_{рас}$ = 0,1. Коэффициент магнитной проводимости магнитопровода $K_{ст}$ = 2. Величина начального рабочего зазора δ_0, число витков обмотки управления приведены в табл. 7.

Таблица 7

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

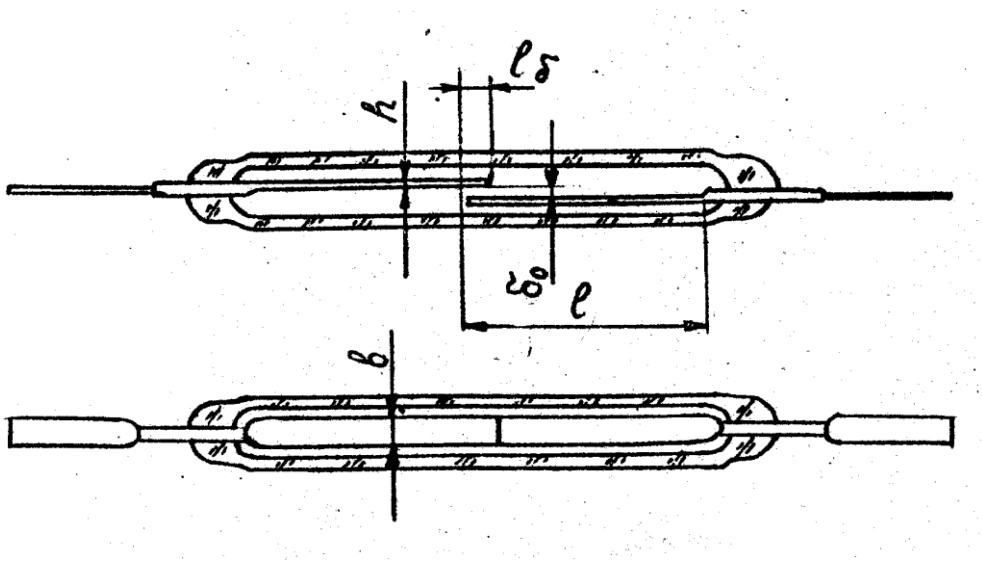

Рис.2

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

$$F_{ср} = (IW)_{ср} = \frac{2\delta_o}{3}\left(\frac{1}{K_{ст}} + 1 + \frac{K_{рас}}{K_{ст}}\right) \cdot \sqrt{\frac{2\delta_o}{3}(1 + \frac{1}{K_{ст} + K_{рас}})\frac{cK_{см}}{\mu_o b \ell_\delta}} \ .$$

Тогда ток срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{F_{ср}}{W} \ .$$

Аналогично, МДС отпускания реле

$$F_{отп} = (IW)_{отп} = \frac{\delta_0 / \delta_{мин} + K_{ст} + K_{рас}}{K_{ст}} \delta_{мин} \sqrt{\frac{2C(\delta_0 - \delta_{мин})K_{см}}{\mu_0 b \ell_\delta}} \ .$$

Ток отпускания реле $I_{отп} = \frac{F_{отп}}{W}$.

Коэффициент возврата реле $K_B = \dfrac{I_{отп}}{I_{ср}}$.

ЗАДАЧА 5. В пускорегулировочном реостате используются резисторы, выполненные из константановой проволоки, намотанной на теплоемкий фарфоровый цилиндр, имеющий желобки для укладки константановой 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	В А Р И А Н Т									
	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 , мм	100					145				
G_k , г·с^2/ см	180					260				

Методические указания

1. Сопротивление резистора

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

где $\rho_o = 5 \cdot 10^{-5}$ Ом · см – удельное сопротивление константана при 0°С;

$\alpha = 3 \cdot 10^{-5}$ 1/°С – температурный коэффициент сопротивления для константана;

$\ell_{пр} = \pi Dn$ - длина проволоки, укладываемой в желобки цилиндра, см;

$S_{пр}$ – сечение проволоки, см^2;

T =500 °С – допустимая температура нагрева константановой проволоки на фарфоровом каркасе.

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

$$I_{дл} = \sqrt{\frac{K_m F_{пр} \tau_{доп}}{R}} \quad ,$$

где K_m = 002 Вт/ (см^2 · град) –коэффициент теплоотдачи с поверхности проволоки;

$F_{пр} = \pi d \ell_{пр} = \pi^2 dDn$ - поверхность проволоки, см^2;

$\tau_{доп}$ = 400 °С –допустимое превышение температуры константановой проволоки над температурой окружающей среды внутри реостата.

3. Постоянная времени нагрева резистора при кратковременном режиме работы

$$\vartheta = \frac{\beta_к c_к G_к + c_0 G_0}{K_{тк} F_к} \quad ,$$

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

$c_к$ = 1,05 Дж/ (г·град) – удельная теплоемкость фарфора;

c_0 =0,4 Дж/ (г·град) – удельная теплоемкость константа;

$G_0 = \gamma_0 S_{пр} \ell_{пр} = \gamma_0 \pi^2 d^2 Dn/4$ – масса проволоки резистора

(здесь γ_0 = 8,9 г/см^3 – плотность константана);

$K_{тк}$ = 0,0023 Вт/(см^2 · град) – коэффициент теплоотдачи с поверхности фарфорового цилиндра;

$F_к = \pi D \ell$ – наружная боковая поверхность охлаждения цилиндра, см.

4. Коэффициент перегрузки резистора по току в кратковременном режиме работы

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

5. Допустимый ток перегрузки резистора в кратковременном режиме работы

$$I_{кр} = p \cdot I_д \ .$$

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