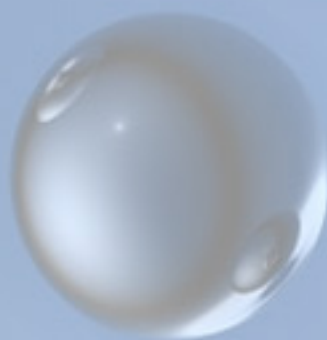


Выбор низковольтных электрических аппаратов распределения и управления



Москва

Выбор низковольтных электрических аппаратов распределения и управления

Основные технические характеристики электрических аппаратов

Одним из основных технических параметров большинства аппаратов является *номинальное напряжение* (U_n). Это напряжение, на которое рассчитан электрический аппарат, как с точки зрения коммутации, управления и регулирования, так и изоляции его токоведущих частей. Согласно ГОСТ Р 50030.1 номинальные значения параметров устанавливаются изготовителем. Так номинальное напряжение аппарата характеризуется: *номинальным рабочим напряжением* (U_e), на которое ориентируются при проведении соответствующих испытаний и установлении категории применения аппарата; *номинальным напряжением изоляции* (U_i) – значение напряжения, по которому определяют испытательное напряжение при испытании изоляционных свойств, расстояние утечки и воздушные зазоры. Максимальное значение номинального рабочего напряжения не должно превышать наибольшего значения номинального напряжения изоляции. Примерная шкала номинальных напряжений для электрических аппаратов переменного тока составляет: 36; 127; 220; 380; 660; 1140 В; для электрических аппаратов постоянного тока: 6; 12; 24; 27; 48; 110; 220; 440; 600; 750 В. Причем, меньшие значения напряжений относятся к цепям управления. Предусматривается надежная работа электрических аппаратов при повышении напряжения до $1,1 U_n$, а в цепи управления при его изменении от 0,85 до $1,1 U_n$.

В цепях высокого напряжения шкала номинальных напряжений может иметь вид: 3; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 кВ.

Другим основным техническим параметром является *номинальный ток* (I_n), длительное протекание которого не вызывает нагрев токоведущих частей электрического аппарата выше допустимых значений, определяемых классом изоляции, с которой эти части соприкасаются. Аппараты характеризуют следующие токи: *номинальный рабочий ток* (I_e), это указанные изготовителем значения рабочих токов с учетом номинального рабочего напряжения,

номинальной частоты, номинального режима, категории применения и типа защитной оболочки при ее наличии; *номинальный длительный ток* (I_u), это значение тока, который может проводить аппарат в продолжительном режиме. Существуют понятия *условного теплового тока* на открытом воздухе (I_{th}) и в оболочке (I_{the}), которые определяются условиями проведения испытаний открытых, либо защищенных аппаратов.

Примерная шкала номинальных токов в цепях низкого напряжения - 1; 3; 6; 10; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500; 4000 и 6300 А.

В цепях высокого напряжения: 200; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000; 20000; 25000; 31500 А.

Существует понятие *стандартных номинальных режимов* работы аппаратов. К ним относятся:

-*восьмичасовой режим* – режим, в котором главные контакты аппарата остаются замкнутыми, проводя установившийся ток, достаточно долго, чтобы аппарат достиг теплового равновесия, но не более 8 ч без перерыва;

-*продолжительный режим* – режим, в котором главные контакты аппарата остаются замкнутыми, проводя установившийся ток, без перерыва более 8 ч (в течение недель, месяцев или даже лет);

-*повторно-кратковременный режим* – режим, в котором главные контакты аппарата остаются замкнутыми или разомкнутыми с определенной периодичностью, но аппарат при этом не достигает теплового равновесия. Повторно-кратковременный режим характеризуется значением тока, длительностью его прохождения и коэффициентом нагрузки, представляющим собой отношение периода прохождения тока ко всему времени. Стандартные значения коэффициента нагружения 15, 25, 40 и 60%. Аппараты по числу циклов оперирования, которое они могут выполнять за 1 час, подразделяют на 12 классов с числом циклов в час от 1 до 300000;

-*кратковременный режим* – режим, в котором главные контакты аппарата остаются замкнутыми в интервалы времени, недостаточные для достижения

аппаратом теплового равновесия, которые чередуются с периодами нулевой нагрузки достаточной длительности, чтобы восстановить равенство температур с охлаждающей средой. Стандартизированные значения для кратковременного режима 3, 10, 60 и 90 мин при замкнутых контактах;

-*периодический режим* – режим, предусматривающий регулярное повторение срабатывания либо при постоянной, либо при переменной нагрузке.

Для аппаратов управления и, в частности, для контакторов и магнитных пускателей важнейшим параметром является *категория применения* аппарата. Определены 4 основные категории применения аппаратов управления и распределения переменного и постоянного тока, 16 категорий применения для цепей управления переменного ток и 7 категорий применения для цепей управления постоянного тока (см. табл. 1).

Категория применения определяет область применения электрического аппарата в зависимости от характера нагрузки и условий эксплуатации. В категории применения указываются режимы нормальной (частой) и редких коммутаций. Причем в каждом режиме рассматриваются процессы включения и отключения и выделяются четыре показателя, характеризующие каждую категорию применения.

1.*Область применения аппарата (тип коммутируемой нагрузки)*. Аппарат в каждой категории применения работает с определенным типом нагрузки. Например, работая в основной категории применения АС-3 аппарат должен включать пусковые токи асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, а отключать тот же двигатель, работающий в номинальном режиме. Работая в основной категории применения АС-4, аппарат должен включать пусковые токи асинхронного двигателя и отключать статорную обмотку медленно вращающегося или неподвижного двигателя (заторможенный двигатель). Значительно легче функции аппарата в категории применения АС-1, когда нагрузкой является активная, либо слабоиндуктивная цепь.

Таблица 1

Род тока	Категория применения	Номинальный рабочий ток, А	Включение				Отключение			
			Отношение коммутационного тока к номинальному рабочему току	Отношение напряжения перед включением к номинальному рабочему напряжению	Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi\pm0,05$	Постоянная времени цепи t_p , мс $\pm15\%$	Отношение коммутационного тока к номинальному рабочему току	Отношение напряжения перед включением к номинальному рабочему напряжению	Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi\pm0,05$	Постоянная времени цепи t_p , мс $\pm15\%$
Режим нормальных коммутаций										
Переменный	АС-1 АС-21	Все значения	1	1	0,95	—	1	1	0,95	—
	АС-2		2,5		0,65		2,5		0,65	
	АС-3	до 17	6		0,35		1	0,17	0,35	
		свыше 17			0,65		6		0,65	
	АС-4	до 17			0,35		1	0,4	0,35	
		свыше 17			0,65				0,65	
	АС-11	Все значения	10		0,7		1	0,65	0,4	
	АС-22		1		0,65				0,65	
	АС-23	до 17	1		0,35		1	0,35		
		свыше 17			0,35					
Постоянный	DC-1 DC-21	Все значения	1	1	—	1	1	1	1	
	DC-2		2,5			2	0,1	7,5		
	DC-3					2,5	1	2		
	DC-4		7,5			1	0,3	10		
	DC-5					2,5	7,5			
	DC-11		до 300			1	до 300			
	DC-22		2				2			
	DC-23		7,5				7,5			

Род тока	Категория применения	Номинальный рабочий ток, А	Включение				Отключение			
			Отношение коммутационного тока к номинальному рабочему току	Отношение напряжения перед включением к номинальному рабочему напряжению	Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi\pm0,05$	Постоянная времени цепи τ , мс $\pm15\%$	Отношение коммутационного тока к номинальному рабочему току	Отношение напряжения перед включением к номинальному рабочему напряжению	Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi\pm0,05$	Постоянная времени цепи τ , мс $\pm15\%$
Режим редких коммутаций										
Переменный	АС-1 АС-21	Все значения	1,5	1,1	0,95	—	1,5	1,1	0,95	—
	АС-2		4		0,65		4		0,65	
	АС-3	до 17	10		0,35		8		0,35	
		17–100	8				6			
		свыше 100								
	АС-4	до 17	12		0,65		10		0,65	
		17–100	10		0,35		8		0,35	
		свыше 100								
	АС-11	Все значения	11		0,7		11		0,7	
	АС-20		****		***		****		****	
АС-22	до 17	3	0,65	3	0,65					
АС-23	17–100	10	0,35	8	0,35					
	свыше 100	8		6						
Постоянный	DC-1 DC-21	Все значения	—	—	—	—	—	—	—	
	DC-2		4	1,1		2,5	4	1,1		2,5
	DC-3					15				15
	DC-4									
	DC-5									
	DC-11		1,1			**	1,1			**

Род тока	Категория применения	Номинальный рабочий ток, А	Включение				Отключение			
			Отношение коммутируемого тока к номинальному рабочему току	Отношение напряжения перед включением к номинальному рабочему напряжению	Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi \pm 0,05$	Постоянная времени цепи τ , мс $\pm 15\%$	Отношение коммутируемого тока к номинальному рабочему току	Отношение напряжения перед включением к номинальному рабочему напряжению	Коэффициент мощности цепи $\cos\varphi \pm 0,05$	Постоянная времени цепи τ , мс $\pm 15\%$
Постоянный	DC-20	Все значения	****	1,1	—	****	****	1,1	—	****
	DC-22		4			2,5	4			2,5
	DC-23					15				15

Примечания:

* Переменный ток выражен действующим значением симметричной составляющей.

** Для категории применения DC-11 постоянная времени при включении указана как $\tau_{0,95}$ (время, мс, необходимое для достижения 0,95 значения установившегося тока, которое рассчитывается по эмпирической формуле $\tau_{0,95} = 6P$, где P – мощность электромагнита, не более 50 Вт. Если мощность превышает 50 Вт, τ принимается равным 300 мс).

*** Для номинального рабочего тока свыше 100 А минимальное значение коммутируемого тока: 1000 А – для категорий применения AC-3 и AC-23 при включении и AC-4 при отключении; 800 А – для категорий применения AC-3 и AC-23 при отключении; 1200 А – для категорий применения AC-4 при включении.

**** Если для категорий применения AC-20 и DC-20 коммутационная способность не равна нулю, то значения тока и коэффициента мощности (или постоянной времени) цепи должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на конкретные виды или серии и типы аппаратов.

Аналогично дифференцирована нагрузка в цепях постоянного тока, когда в наиболее тяжелом режиме аппарат оказывается в основной категории применения DC-5 (включение пусковых токов электродвигателей с последовательным возбуждением и отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей).

Категория применения, например AC-15, применяется для цепей управления электромагнитными нагрузками, а DC-23 – для управления двигателями и другими сильно индуктивными нагрузками.

2. Коммутируемый ток. Даются отношения коммутируемого тока к номинальному рабочему току. Этот показатель характеризует коммутационную способность аппарата, его контактно-дугогасительной системы.

3. Напряжение, определяемое в соотношении с номинальным рабочим напряжением. В режиме редких коммутаций аппарат должен выдерживать 10%-е превышение напряжения над номинальным.

4. *Характер коммутируемой нагрузки*, определяемый коэффициентом мощности $\cos\varphi$ коммутируемой цепи (для цепей переменного тока), либо постоянной времени цепи τ , мс (для цепей постоянного тока).

Важно определить функциональные возможности аппарата, предназначенного для коммутации данного типа нагрузки. Так при выборе контакторов для управления прямым пуском асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором он должен в режиме нормальных коммутаций включать пусковые токи (категории применения АС-3 и АС-4), а в режиме редких коммутаций отключать номинальные токи (категория применения АС-3) или ударные пусковые токи (категория применения АС-4).

В зависимости от места предполагаемой эксплуатации аппараты изготавливаются в различных *климатических исполнениях* (табл. 2).

Таблица 2

Климатические исполнения изделий	Обозначения	
	буквенные	цифровые
Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озёрах		
Для макроклиматического района с умеренным климатом	У	0
Для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом	УХЛ ¹	1
Для макроклиматического района с влажным тропическим климатом	ТВ	2
Для макроклиматического района с сухим тропическим климатом	ТС	3
Для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т	4
Для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение)	О	5
Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом		
Для макроклиматического района с умеренно-холодным морским климатом	М	6
Для макроклиматического района с тропическим морским климатом, в том числе для судов каботажного плавания или иных, предназначенных для плавания только в этом районе	ТМ	7
Для макроклиматических районов как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом, в том числе для судов неограниченного района плавания	ОМ	8
Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение)	В	9

Изделия в исполнениях У и УХЛ могут эксплуатироваться в тёплом влажном, жарком сухом и очень жарком сухом климатических районах по ГОСТ 16350, в которых средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха выше 40°C и (или) сочетание температуры, равной или выше 20°C, и относительной влажности, равной или выше 80%, наблюдается более 12 ч в сутки за непрерывный период более двух месяцев в году.

Конкретные типы или группы экспортируемых или других изделий для макроклиматического подрайона с теплым умеренным климатом допускается изготавливать в климатическом исполнении ТУ, если технико-экономически обоснованы конструктивные отличия изделий этого исполнения от изделий климатического исполнения У.

Воздействие климатических факторов определяется также местом установки аппаратов. Этот параметр отражен в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика категорий размещения	Обозначение
Для эксплуатации на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного макроклиматического района)	1
Для эксплуатации под навесом или в помещениях (объемах), где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, например, в палатках, кузовах, прицепах, металлических помещениях без теплоизоляции, а также в оболочке комплектного изделия категории 1 (отсутствие прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков)	2
Для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе, например, в металлических с теплоизоляцией, каменных, бетонных, деревянных помещениях (отсутствие воздействия атмосферных осадков, прямого солнечного излучения; существенное уменьшение ветра; существенное уменьшение или отсутствие воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги)	3
Для эксплуатации в помещениях (объемах) с искусственно регулируемыми климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных	4
и других, в том числе хорошо вентилируемых подземных помещениях (отсутствие воздействия прямого солнечного излучения, атмосферных осадков, ветра, песка и пыли наружного воздуха; отсутствие или существенное уменьшение воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги)	
Для эксплуатации в помещениях (объемах) с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в том числе шахтах, подвалах, в почве, в таких судовых, корабельных и других помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке, в частности, в некоторых трюмах, в некоторых цехах текстильных, гидрометаллургических производств и т.п.).	5

Таблица 4

Климатическое исполнение	Категория размещения	Значение температуры при эксплуатации				
		Рабочие			Предельные рабочие	
		Верхнее значение	Нижнее значение	Среднее значение	Верхнее значение	Нижнее значение
У	1,23	+40	-45	+10	+45	-50
	5	+35	-5	+10	+35	-5
ХЛ	3	+40	-60	+10	+45	-60
	5	+35	-10	+10	+35	-10
УХЛ	1,23	+40	-60	+10	+45	-60
	3,1	+40	-10	+10	+45	-10
	4	+35	+1	+20	+40	+1
Т	1,23	+45	-10	+27	+55	-10
	5	+35	+1	+10	+35	+1
О	4	+45	+1	+27	+55	+1
	5	+35	-10	+10	+35	-10
М	3	+40	-40	+10	+45	-40
ОМ	3,5	+45	-40	+27	+45	-40

Таблица 5

Исполнение изделия	Категория изделия	Относительная влажность		Абсолютная влажность, среднегодовое значение г·м ⁻³
		Среднегодовое значение	Верхнее значение *	
УХЛ	4; 4.1; 4.2	60 % при 20 °С	80 % при 25 °С	10
У, УХЛ (ХЛ ^{*5})	1; 2	75 % при 15 °С	100 % при 25 °С	11
ТУ	1.1	70 % при 15 °С	98 % при 25 °С	10
	2.1; 3; 3.1	75 % при 15 °С	98 % при 25 °С	11
	5***	90 % при 15 °С	100 % при 25 °С	13
	5.1	90 % при 15 °С	98 % при 25 °С	13
ТС	1; 2 1.1; 3; 3.1;	40 % при 27 °С	100 % при 25 °С	10
	4; 4.1; 4.2	40 % при 27 °С	80 % при 25 °С	10
	5	90 % при 15 °С	100 % при 25 °С	13
	5.1	90 % при 15 °С	80 % при 25 °С	13
ТВ, Т, О, В ТМ, ОМ**	1; 2; 5	80 % при 27 °С	100 % при 35 °С****	20
	1.1	75 % при 27 °С	98 % при 35 °С	17
	2.1; 5.1	80 % при 27 °С	98 % при 35 °С	20
ТВ, Т, В ТМ ^{*6} , ОМ**	3	75 % при 27 °С	98 % при 35 °С	17
	3.1	75 % при 27 °С	98 % при 35 °С	17
ТВ, О, В, ТМ, ОМ**	4	75 % при 27 °С	98 % при 35 °С****	17
	4.1	60 % при 20 °С	80 % при 25 °С	10
	4.2	75 % при 27 °С	98 % при 35 °С	17
М	1; 2	80 % при 22 °С	100 % при 25 °С	15
	1.1	75 % при 22 °С	98 % при 25 °С	11
	2.1	80 % при 22 °С	98 % при 25 °С	15
	3; 4; 3.1	75 % при 22 °С	98 % при 25 °С	11
	4.1	60 % при 20 °С	80 % при 25 °С	10
	4.2	75 % при 22 °С	98 % при 25 °С	11
	5	80 % при 22 °С	100 % при 25 °С	15
	5.1	80 % при 22 °С	98 % при 25 °С	15

* Указанное в таблице верхнее значение относительной влажности нормируется также при более низких температурах; при более высоких температурах относительная влажность ниже.

При нормированном верхнем значении 100% наблюдается конденсация влаги, при нормированных верхних значениях 80% или 98% конденсация влаги не наблюдается.

Значению 80% при 25°С соответствуют значения 90% при 20°С или 50-60% при 40°С.

** Для морских судов исполнения ОМ, предназначенных для непродолжительного пребывания в районах с тропическим климатом, значения сочетания температуры и влажности допускается принимать такими же, как и для исполнения М.

*** Для изделий, предназначенных для угольных шахт, значения влажности принимают такими же, как для исполнения Т.

**** Для изделий видов климатических исполнений ОМ4 и ОМ5, устанавливаемых в машинных и котельных отделениях кораблей, верхнее предельное рабочее значение 100% при 50°С.

*⁵ Для исполнения ХЛ всех категории размещения, кроме 5; 5.1, среднегодовое значение-85% при минус 6°С.

*⁶ Для исполнения ТМ категорий размещения 1; 2; 5; 2.1; 5.1 применимо также среднегодовое значение 70% при 29°С.

Значительное влияние на эксплуатацию выключателя оказывают температура окружающей среды (табл. 4) и влажность (табл. 5).

Для предотвращения попадания внутрь выключателя инородных тел и воды и исключений соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими и подвижными частями устанавливается защитная оболочка, ГОСТ 14254. Степень защиты обозначается буквами IP и двумя цифрами.

Первая цифра характеризует защиту аппарата от проникновения внутрь инородных тел и от соприкосновения персонала с деталями аппарата. Характеристика защит дана в табл. 6, 7.

Таблица 6

Первая	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка человеческого тела, например, руки, и твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от твердых тел размером более 12 мм	Защита от прохождения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 30 мм и твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от твердых тел размером не более 25 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки и т.п. предметов толщиной более 2,5 мм и твердых тел, размером более 2,5 мм
4	Защита от твердых тел размером более 1x1 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1 мм
5	Защита от пыли	Проникновение внутрь оболочки пыли не предотвращено полностью, однако проникающая пыль не может нарушать нормальную работу аппарата
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Таблица 7

Вторая цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от капель воды	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного влияния на аппарат
2	Защита от капель воды при наклоне 15°	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного влияния на аппарат при наклоне его оболочки на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от дождя	Дождь, падающий на оболочку под углом 60°, не должен оказывать вредного действия на аппарат
4	Защита от брызг	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного действия на аппарат
5	Защита от водяной струи	Струя, выбрасываемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного действия на аппарат
6	Защита от волн	При волнении вода не должна проникнуть в оболочку в количестве, достаточном для повреждения аппарата
7	Защита при погружении в воду	Вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных значениях давления и времени в количестве, достаточном для повреждения аппарата

Например, магнитный пускатель, имеющий степень защиты IP54, не защищен полностью от проникновения внутрь оболочки пыли, однако пыль не влияет на нормальную работу самого аппарата. Кроме того, вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на аппарат.

Электрические аппараты устанавливаются в производственных помещениях, где работают различные машины и механизмы, создающие вибрацию и удары. Эти воздействия воспринимаются аппаратами, и может произойти нарушение их нормальной работы. Требования по вибро- и ударостойкости аппаратов регламентируются ГОСТ. Всего имеется 29 групп механических воздействий. Те из них, которые характерны для автоматов, приведены в (табл. 8).

Таблица 8

Группа условий эксплуатации	Места размещения изделий при эксплуатации	Вибрационные нагрузки		Удары	
		Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, g	Ускорение, g	Длительность, мс
M1	Непосредственно на стенах предприятий, фундамента и т.п. при внешних источниках вибрации с частотой не выше 35 Гц; на строительном дорожном транспорте	1-35	0,5	-	-
M2	То же, что M1 на частоте вибраций не выше 50 Гц	1-50	0,5	-	-
M3	В стационарных установках (в шкафах, панелях, пультах, щитах) при внешних источниках вибраций с частотой не выше 35 Гц	1-35	0,5	3	2-20
M4	То же, что M3, но при частоте вибрации не выше 50 Гц	1-50	0,5	3	2-20
M5	В стационарных установках (в шкафах, пультах, панелях, щитах), расположенных непосредственно на фундаменте турбогенераторов мощностью 2500 кВт и выше, не имеющих источников ударных нагрузок; в турбогенераторах мощностью 2500 кВт и выше или на реакторах мощностью 2500 кВт и выше в качестве встроенных элементов	1-100	2	-	-
M6	В зданиях машинных залов турбогенераторов мощностью 2500 кВт и выше, в трансформаторах мощностью 2500 кВт и выше в качестве встроенных элементов; на металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станках	1-100	1	-	-
M7	В стационарных установках (в шкафах, пультах, панелях, комплектных распределительных устройствах) машинных залов электростанций с турбогенераторами мощностью 2500 кВт	1-100	1	3	2-20
M18	На передвижных или стационарных перевозимых установках (буровых), не работающих на ходу	1-35	0,5	15	2-15
M27	На тележках магистральных электровозов, тепловозов, дизельпоездов, мотор-вагонов, железнодорожных вагонов для необрессоренных изделий	1-100	5	15	2-15

M25	В кузовах и под кузовами магистральных и промышленных электровозов, тепловозов, дизельпоездов, мотор-вагонов, железнодорожных вагонов	1-100	1	3	40-60
M28	В городском и промышленном безрельсовом электротранспорте	1-60	1	3	2-20
M29	В городском рельсовом электротранспорте	1-60	1	3	2-20

Климатическое исполнение и категория размещения контакторов, магнитных пускателей, автоматических выключателей и других аппаратов указываются в их обозначениях. Например, электромагнитный контактор переменного тока КРМ-250-Н УХЛ5 может быть использован в средах с умеренным и холодным климатом (УХЛ), в помещениях с повышенной влажностью (5).

Рассмотрим ряд технических параметров, характеризующих технико-экономический уровень аппаратов. Среди них *механическая и коммутационная износостойкость*. Они определяются количеством коммутаций электрического аппарата до тех пор, пока он станет непригодным для нормальной работы с точки зрения работоспособности его механических частей и коммутирующих контактов, которые подвержены воздействию электрической дуги включения и отключения. Выделяется три категории коммутационной износостойкости (А, Б и В) в зависимости от материала контактных накладок аппарата. Контакты, выполненные с контактными накладками на основе серебра (например, СОК-15) относятся к категории А и имеют повышенную коммутационную износостойкость. Механическая и коммутационная износостойкость аппаратов управления определяют надежность и долговечность их работы в режиме нормальных коммутаций.

Для электрических аппаратов управления и распределения важными параметрами являются номинальная включающая и номинальная отключающая способность.

Номинальная включающая способность аппарата – указанное изготовителем значение тока, который аппарат может удовлетворительно включать в установленных условиях включения (напряжение до включения, характеристики испытательной цепи). Номинальная включающая способность указывается применительно к номинальному

рабочему напряжению и номинальному рабочему току.

Номинальная отключающая способность аппарата - указанное изготовителем значение тока, который аппарат может удовлетворительно отключать в установленных условиях отключения (характеристики испытательной цепи, восстанавливающееся напряжение промышленной частоты). Номинальная отключающая способность указывается, также, применительно к номинальному рабочему напряжению и номинальному рабочему току.

К номинальным характеристикам *при коротких замыканиях* относятся:

- номинальный кратковременный допустимый ток (I_{cw});
- номинальная наибольшая включающая способность (I_{cm});
- номинальная наибольшая отключающая способность (I_{cn});
- номинальный условный ток короткого замыкания (ожидаемый ток). Это ток, который протекал бы в цепи, если бы каждый полюс аппарата был заменен проводником с ничтожно малым сопротивлением.

Номинальная наибольшая включающая способность – это значение наибольшей включающей способности, установленное для данного выключателя изготовителем, и выражается максимальным ожидаемым пиковым током (на переменном токе - ударным током короткого замыкания).

Номинальная наибольшая отключающая способность - это значение наибольшей отключающей способности, установленное для данного выключателя изготовителем. Выключатель должен отключать любой ток короткого замыкания, не превышающий его номинальных отключающих способностей (на переменном токе – это ожидаемый ток короткого замыкания).

Аварийные режимы в цепях и способы защиты

Для качественного и бесперебойного снабжения потребителей необходимо надежное согласование всех элементов энергосистемы (источника электроэнергии, сети, нагрузки, устройств защиты). Особую роль здесь играют устройства защиты потребителей от возможных аварийных режимов в энергосистеме. Среди известных потребителей можно выделить три характерные наиболее распространенные группы: асинхронные электродвигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (более 50% потребителей), осветительные установки и силовые полупроводниковые устройства. Объем остальных потребителей значительно ниже.

Анализ аварийных режимов позволяет выделить следующие типы аварий, часто встречающиеся на практике (на примере потребителя — асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором):

- короткое замыкание на зажимах двигателя, либо в его статорной обмотке;

- обрыв фазы статорной обмотки двигателя (часто встречается при защите двигателей предохранителями);

- заторможение ротора при пуске двигателя (особенно часто встречается при прямом пуске двигателя);

- чрезмерные технологические перегрузки, возникающие при набросе нагрузки в процессе функционирования двигателя;

- нарушение охлаждения, вызванное поломкой системы принудительной вентиляции двигателя;

- понижение сопротивления изоляции, происходящее в результате старения изоляции из-за циклических температурных перегрузок.

Аварийные режимы в цепи *асинхронного двигателя* могут вызвать либо кратковременное повышение тока в 12—17 раз по сравнению с номинальным значением (КЗ в цепи), либо длительное протекание тока перегрузки, до 5—7 раз превышающего номинальное значение тока.

Для защиты электрических цепей от КЗ широко применяются автоматические

выключатели с максимальным расцепителем тока, реле тока, предохранители. Аварийные режимы, например перегрузка по току, требуют выбора защиты, наиболее эффективной при той или иной аварии. Так при обрыве фазы АД наиболее эффективной является минимальная токовая защита и температурная защита (она обеспечивает быстрое отключение цепи при исчезновении напряжения в защищаемой фазе вследствие ее обрыва) и температурная защита. Менее эффективной — тепловая защита (тепловые реле). При заторможенном роторе весьма эффективны максимальные реле тока и температурная защита. Менее эффективна тепловая защита. При технологической перегрузке лучшие результаты дает температурная защита. Эффективны также тепловые реле. При нарушении охлаждения двигателя только температурная защита может защитить двигатель. Понижение сопротивления изоляции статорной обмотки двигателя вследствие ее старения может вызвать рост тока утечки изоляции, ее разрушение и как результат - спровоцировать перегрузку по току в цепи, либо КЗ. Для защиты при этой аварии применяются специальные устройства контроля уровня изоляции обмотки двигателя, основанные на тех же принципах, что и устройства защитного отключения.

Основной задачей, стоящей при выборе аппаратуры защиты потребителей и электрических сетей, является согласование защитных характеристик устройств защиты с предельно-допустимыми нагрузками по току и времени различных потребителей и сетей (проводов и кабелей). Для каждого конкретного типа потребителей наиболее полное согласование может быть достигнуто при использовании определенного типа аппаратов защиты.

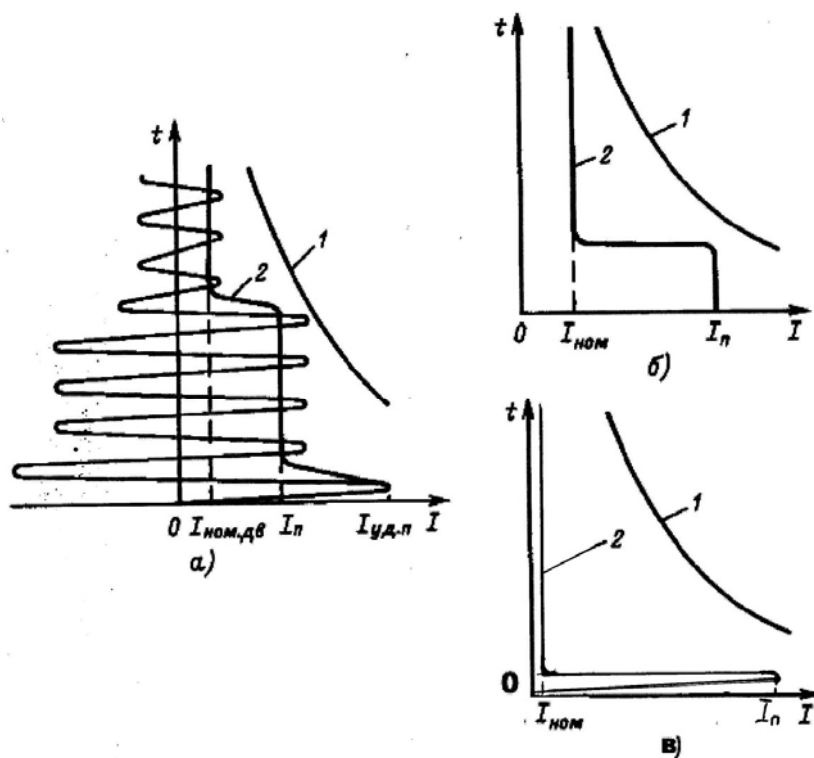


Рис. 1. Согласование характеристик защиты и потребителей: а — асинхронный двигатель; б — преобразователь; в — осветительный прибор: 1 — защитная характеристика аппарата защиты; 2 - нагрузочная характеристика потребителей.

На рис. 1а приведены характеристики аппарата защиты (1) пусковая характеристика (2) асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Характеристика (1) может быть реализована автоматическим выключателем с максимальным токовым и тепловым расцепителями (терморасцепителем), либо тепловым реле (в зоне тока перегрузки I_n двигателя).

На рис. 1б приведены характеристика (1) предохранителя и характеристика (2) силового преобразователя.

На рис. 1в — соответственно, характеристика (1) защитного аппарата и пусковая характеристика (2) ламп накаливания.

Наиболее полное согласование защитных и нагрузочных характеристик достигается, если защитная характеристика аппарата проходит выше и возможно ближе к нагрузочной характеристике потребителя.

Особенности сетей 0,4 кВ

Применение аппаратов защиты в цепях напряжением 0,4 кВ определяется схемой построения таких цепей, которая в свою очередь определяет значения токов КЗ в этих схемах [3]. Поэтому нельзя рассматривать и выбирать электрический аппарат защиты без учета особенностей построения схемы питания, мощности источника питания, включая мощности энергосистемы, мощности и особенности работы потребителей.

Для сетей напряжением 0,4 кВ ток КЗ в цепи во многом зависит от параметров соединительных проводов, наличия и качества контактных соединений, эффективности дугогашения. При этом правильный выбор материала и сечения соединительного кабеля влияет не только на значение тока КЗ и на пусковые токи асинхронных двигателей, но и на условия самозапуска двигателя при прямом пуске.

На рис. 2 приведена радиальная схема электроснабжения потребителей (асинхронных двигателей), состоящая из двух независимых подсистем. В состав каждой подсистемы входят понижающие трансформаторы Т1 и Т2, расположенные в комплектной трансформаторной подстанции КТП, вторичные и третичные сборки (распределительные устройства). Две подсистемы связаны между собой на различных уровнях, обеспечивая взаимное резервирование, при помощи устройств автоматического включения резерва АВР. Подобная система резервирования исключает нарушения подачи питания на электродвигатели, особенно работающие в ответственных технологических процессах. Возможно применение двойного резервирования в системе питания, например, при помощи аварийного дизель-генератора.

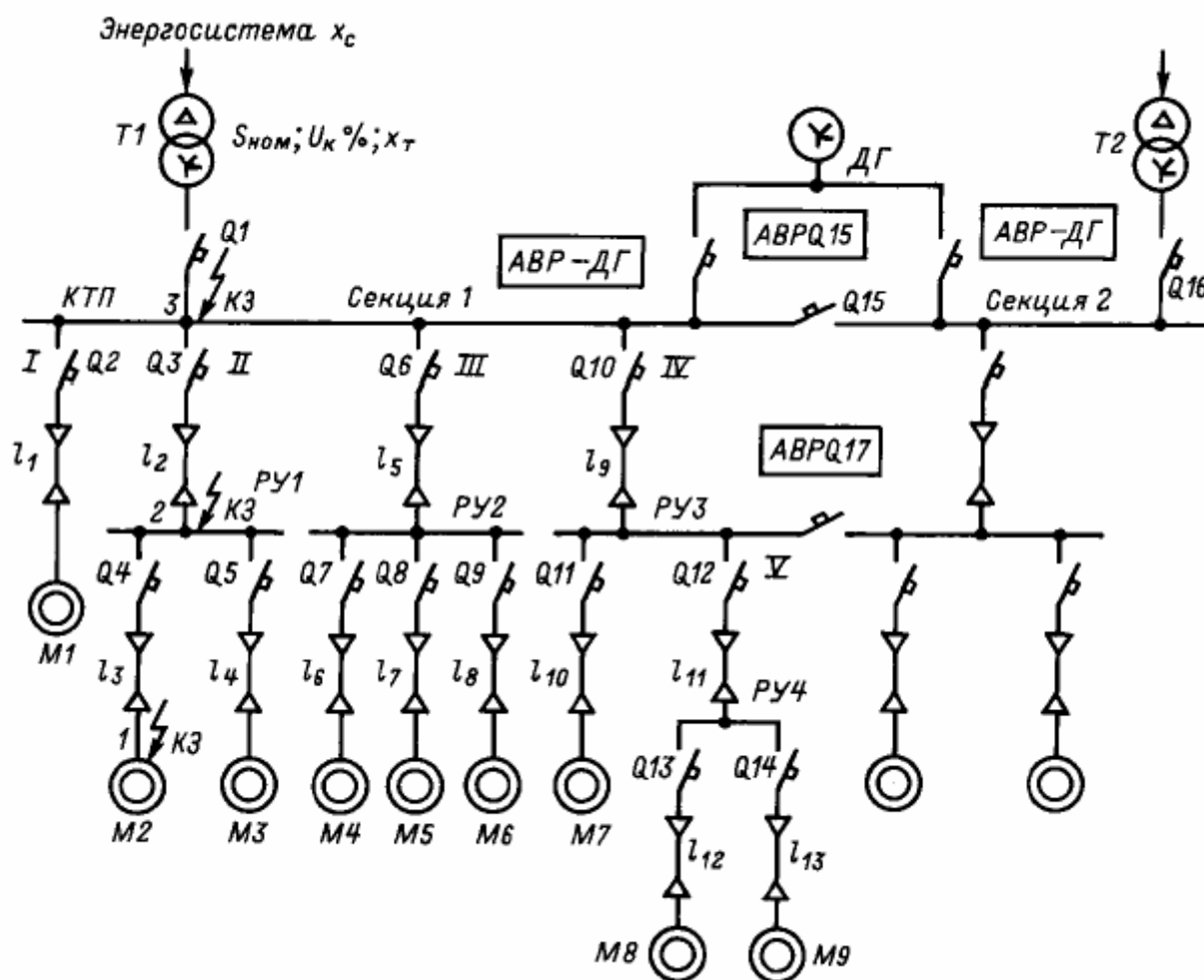


Рис. 2. Радиальная схема питания электродвигателей:

T1, T2— питающие трансформаторы; ДГ— аварийный дизель-генератор; АВР-устройства автоматического включения резерва; РУ— распределительные устройства; Q – автоматические выключатели; l – соединительные кабели; М – асинхронные двигатели

Наличие сборок различного уровня позволяет дифференцировать потребители по мощности и степени важности. Более мощные потребители (например, асинхронные двигатели мощностью свыше 55 кВт) подключаются непосредственно к КТП, менее мощные (до 10 кВт) — на вторичные и третичные сборки.

Кроме радиальных встречаются магистральные и смешанные схемы электроснабжения. Все они с учетом особенностей сетей напряжением 0,4 кВ требуют учета структуры построения схемы, включая параметры соединительных

кабелей, соединений и аппаратов защиты.

Для выбора аппаратов защиты необходимо предварительно рассчитать токи КЗ в цепи при максимальном режиме работы питающей энергосистемы. При этом расчетным током КЗ для выбора защитной аппаратуры, проверки селективности ее работы, а также для проверки самозапуска электродвигателей является трехфазный ток КЗ. Его необходимо знать также при оценке отключающей способности аппаратов защиты.

При выборе защиты, установленной в начале линии, необходимо знать двухфазный ток КЗ на зажимах двигателя в сетях с изолированной нейтралью и однофазный ток КЗ на зажимах двигателя в сетях с заземленной нейтралью [4]. Кроме того, однофазный и двухфазный токи КЗ используются для проверки чувствительности аппаратов защиты.

Токи КЗ могут быть рассчитаны для заданной схемы электроснабжения или определены по расчетным кривым для широко распространенных типов трансформаторов, мощности энергосистемы, параметров соединительных кабелей с учетом и без учета токоограничивающего действия дуги в месте повреждения [4]. При этом не учитывается активное сопротивление энергосистемы и сопротивление шин, а переходное сопротивление в месте контакта принято равным 15 мОм.

Ток КЗ может быть рассчитан, если известны параметры соединительных кабелей и энергосистемы. Параметры соединительных кабелей определяются из условий номинальной работы потребителя.

Так для АД с короткозамкнутым ротором номинальный ток двигателя

$$I_{\text{ном.дв}} = P_{\text{ном}} \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_{\text{ном.л}} \eta_{\text{ном}} \cos\varphi), \quad (1)$$

где $P_{\text{ном}}$ - полная номинальная мощность электродвигателя, кВт; $U_{\text{ном.л}}$ - номинальное линейное напряжение на обмотке статора, В; $\eta_{\text{ном}}$ - коэффициент полезного действия; $\cos\varphi$ - коэффициент мощности.

Согласно [4] по номинальному току выбирается тип соединительного кабеля, его сечение и удельное сопротивление кабеля, что дает возможность определить активное и индуктивное сопротивление кабелей (γ_k и x_k).

Параметры энергосистемы и питающего трансформатора (r_T и x_T) находим используя данные [2, 3] (см. Приложение 1). На практике индуктивное сопротивление энергосистемы x_c задается в соотношении с индуктивным сопротивлением x_T вторичной обмотки трансформатора, а активным сопротивлением энергосистемы пренебрегают. Принято считать x_c/x_T равным 2; 1; 0,1 по мере роста мощности энергосистемы [3].

При расчете тока КЗ необходимо учесть переходное сопротивление $r_{пк}$ контактов в местах соединения кабелей и аппаратов. Часто в цепях низкого напряжения переходное сопротивление контактов соизмеримо или превосходит сопротивление кабелей, энергосистемы и трансформатора. Учитывать переходное сопротивление контактов крайне сложно. Поэтому оно принимается равным 15 мОм, если его значение не известно или трудно определимо [3].

Суммарное активное сопротивление цепи от трансформатора до двигателя составит:

$$r_{кз} = r_T + r_k + r_{пк}.$$

Суммарное реактивное сопротивление цепи:

$$x_{кз} = x_c + x_T + x_k.$$

Тогда модуль полного сопротивления до точки КЗ:

$$z_{кз} = \sqrt{x_{кз}^2 + r_{кз}^2}.$$

Ток трехфазного КЗ равен:

$$I_{кз}^{(3)} = U_{ном.л} / \sqrt{3} z_{кз} \quad (2)$$

Ток двухфазного КЗ в сетях с изолированной нейтралью:

$$I_{кз}^{(2)} = U_{ном.л} / 2 z_{кз}. \quad (3)$$

Ударный ток КЗ определим как

$$I_{уд} = k_{уд} I_{кз} \sqrt{2}, \quad (4)$$

где $k_{уд}$ — ударный коэффициент, определяемый по соотношению $x_{кз}/r_{кз}$ согласно [3].

Для определения тока КЗ можно воспользоваться расчетными кривыми [3] (см. также Приложение 2).

Методика выбора контакторов и магнитных пускателей для управления и защиты электрических двигателей

Правильный и рациональный выбор пускозащитных аппаратов для цепей управления приемников электрической энергии (электропечей, электромагнитных приводов выключателей высокого напряжения, электроосветительной аппаратуры, электрических двигателей и т. д.) является основополагающим при разработке схем управления и защиты. Разнообразие схем управления как по мощности, так и по степени ответственности, надежности, экономичности вынуждает иметь дело с таким же (или большим) разнообразием исполнительных элементов, правильный выбор которых во многом определяет технико-экономические показатели объекта управления в целом. Среди основных показателей, характеризующих качество исполнительных элементов, можно выделить: надежность, экономичность, достаточный срок службы, малые массу и габаритные размеры, небольшие эксплуатационные затраты, низкую стоимость, высокую технологичность и т. д. Выбор тех или иных показателей качества (как правило, противоречивых) зависит от объекта управления и требований, предъявляемых к нему.

Рассмотрим контактные исполнительные элементы управления, наиболее распространенные как по количеству, так и по номенклатуре выпускаемых изделий — контакторы и магнитные пускатели — и выделим параметры, по которым производится их выбор. Контакторы или пускатели должны выбираться по следующим основным техническим параметрам:

назначению и области применения;

роду тока, количеству и исполнению главных и вспомогательных контактов;

номинальному напряжению и току главной цепи;

категории применения;

режиму работы;

климатическому исполнению и категории размещения;

механической и коммутационной износостойкости;

номинальному напряжению и потребляемой мощности включающих катушек.

Контакторы и пускатели часто разрабатываются для определенного типа объекта управления. Например, для включения и отключения приемников электрической энергии в металлургической, химической и других отраслях промышленности используются контакторы КТ6600, для включения и отключения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором рекомендуется применять контакторы КМ13, КТ12Р, пускатели серий ПМЕ, ПМА и ПМЛ и др. Для гашения поля синхронных машин и для цепей, где недопустимо отключение контактора при отсутствии или исчезновении напряжения в цепи питания обмотки управления, можно рекомендовать контакторы КТ6000/3 в силовых цепях генераторов и двигателей постоянного тока применяются контакторы КП7 и КП207, в судовых электротехнических устройствах находят применение контакторы КМ2000, для работы в силовых электрических цепях постоянного тока тепловозов широко применяются контакторы серии МК5 и МК6, для дистанционного включения электромагнитных приводов выключателей высокого напряжения и в устройствах АПВ используются контакторы МК2-20Б. Те или иные типы серий контакторов разрабатывались применительно к конкретному типу нагрузки, которую они коммутируют. Так прямоходовые контакторы серии МК5 и МК6 имеют устойчивую к вибрациям механическую систему, что требуется для передвижных установок, а контакторы МК6-10М имеют также электромагнитную защелку и работают на подвижном составе в цепях бестоковой коммутации.

Контакторы серии КТ6000/3 имеют защелкивающий механизм под магнитной системой, что удерживает подвижную систему контактора во включенном положении при потере напряжения в цепи обмотки. Кроме того, контакторы данной серии снабжены надежной контактно-дугогасительной системой.

В ряде случаев контакторы и пускатели рекомендуются для включения и отключения приемников электрической энергии без указания их типов (при этом обязательно указывается категория применения). Примером таких контакторов являются контакторы КТ6000, КТ7000, КТП6000, КТ6000/2 и др. Для объектов

управления с высокой степенью ответственности, а также для объектов, работающих в специальных условиях (во взрывоопасных средах, с повышенной температурой и влажностью, свыше 1000 метров над уровнем моря, с высоким уровнем вибрации и тряски и др.) разрабатывается специальная аппаратура управления.

По назначению пускатели выпускаются нереверсивные (для управления электродвигателями при неизменном направлении вращения) и реверсивные (для управления электродвигателями при переменных направлениях вращения, причем в реверсивных пускателях возможно исполнение с электрической блокировкой либо с электрической и механической блокировками. Кроме того, пускатели выполняются с встроенными в оболочку кнопками управления либо без них. Например, пускатель серии ПМ12-100220 нереверсивный имеет встроенное тепловое реле и кнопки управления «ПУСК» и «СТОП», выполнен в защитной оболочке со степенью защиты IP54. Пускатель рассчитан на номинальный ток 100 А, цепь управления переменного тока.

Назначение пускателя определяет наличие в нем теплового реле. Пускатели, выполняющие функции защиты двигателя от перегрузок, вызванных длительным протеканием токов выше номинальных, комплектуются тепловыми реле. Пускатель может выпускаться без теплового реле (например, с температурной, позисторной защитой) с кнопкой управления в защитной оболочке.

Тепловые реле в совокупности с линейными контакторами (магнитные пускатели) применяются для защиты двигателей, работающих в продолжительном режиме (рабочий период составляет не менее 30 мин). Применение тепловых реле для защиты двигателей, работающих в повторно-кратковременных режимах, нецелесообразно ввиду чувствительности нагревательного элемента к его тепловому состоянию, обусловленному циклическим характером токовой нагрузки, что изменит временные характеристики теплового реле. Использование тепловых реле при работе двигателя в повторно-кратковременном режиме, а также вблизи устройств, излучающих дополнительное тепло, может привести к ложным

срабатываниям реле.

Важными параметрами теплового реле являются: *номинальное напряжение реле* $U_{\text{ном}}$; *номинальный ток реле* $I_{\text{ном}}$ — наибольший ток, длительное протекание которого не вызывает срабатывания реле; *номинальный ток нагревателя* $I_{\text{ном}\cdot\text{нагрев}}$ — наибольший ток, при длительном протекании которого через реле с данным нагревателем оно не срабатывает. Если реле имеет сменные нагреватели, то минимальный номинальный ток реле равен наибольшему из номинальных токов нагревателей, которые могут быть установлены в данном реле; если же реле выполнено с регулятором, то значения токов $I_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}\cdot\text{нагрев}}$ соответствуют среднему положению регулятора. *Номинальный ток уставки реле* $I_{\text{ном уст}}$ — наибольший длительный ток, который при определенной настройке реле не вызывает его срабатывания.

Основной характеристикой реле является *зависимость времени срабатывания реле* $t_{\text{ср}}$ *от кратности тока* I , *протекающего через его нагревательный элемент по отношению к номинальному току нагревателя* $I_{\text{ном}\cdot\text{нагрев}}$.

Время возврата тепловых реле в рабочее состояние (в реле без самовозврата или без кнопки возврата) не превышает 2—3 мин. При наличии самовозврата и кнопки возврата оно сокращается до 30—60 с.

Тепловые реле, встраиваемые в магнитные пускатели, выбираются по следующим основным параметрам: *типоисполнению реле; конструктивным особенностям; номинальному току нагревательного элемента (нагревателя); по току уставки и диапазону его изменения; времени срабатывания (при 20%-ном увеличении тока по отношению к номинальному значению); времени срабатывания при токах перегрузки (например, при пусковом токе двигателя).*

По типоразмеру тепловые реле выпускаются одно-, двух- и трехполюсные. Степень защиты и климатическое исполнение реле определяются пускателями, в которые они встраиваются.

Тепловые реле имеют или в них отсутствует температурная компенсация, регулятор уставки тока несрабатывания, самовозврата (дистанционного возврата

или ручного), возможности сменяемости нагревательного элемента, ускоренного срабатывания реле при обрыве фазы. Конструктивные особенности реле определяются и количеством коммутирующих контактов. Выбор типа теплового реле, встроенного в магнитный пускатель, производится из условия равенства номинального тока нагревателя и двигателя [1]:

$$I_{\text{ном.нагрев}} = I_{\text{ном.дв}} \cdot \quad (5)$$

Пускатели серий ПМА и ПМЕ имеют встроенные тепловые реле типа РТТ, а пускатели серии ПМЛ — реле типа РТЛ. Реле РТТ и РТЛ выполнены с температурным компенсатором, что позволяет значительно уменьшить влияние температуры окружающей среды на временные характеристики реле, и регулятором тока уставки.

При пуске двигателя время срабатывания $t_{\text{ср}}$ теплового реле должно быть больше времени пуска $t_{\text{п}}$ ненагруженного двигателя, т. е.

$$1,5t_{\text{п}} \geq t_{\text{ср}} > t_{\text{п}}. \quad (6)$$

Если это условие не выполняется, то необходимо изменить $I_{\text{ном.нагрев}}$ в пределах регулирования тока несрабатывания или заменить тепловой нагревательный элемент.

После выбора теплового реле для магнитного пускателя строятся защитная характеристика реле и нагрузочная характеристика двигателя и проверяется правильность их согласования (см. рис.1б).

ПРИМЕР 1. ВЫБОР КОНТАКТОРА (МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ) ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ 4А

Для управления и защиты от продолжительных токов перегрузки асинхронного двигателя часто используются контакторы в сочетании с тепловыми реле или магнитные пускатели, в которых контактор и реле вместе с кнопками управления помещены в защитный кожух и являются автономными аппаратами.

Пусть необходимо выбрать контактор (магнитный пускатель) для управления и защиты асинхронного двигателя 4AP132S4, работающего в продолжительном режиме.

По типу двигателя согласно [6] определим его параметры:

Номинальная мощность двигателя, $P_{\text{ном}}$, кВт	7,5
Коэффициент полезного действия, $\eta_{\text{ном}}$, %	87,5
Коэффициент мощности, $\cos\varphi$	0,86
Номинальное линейное напряжение на обмотке статора, $U_{\text{ном.л}}$, В	380
Коэффициент кратности пускового тока, k_I	6,5
Время пуска двигателя, $t_{\text{п}}$, с	5

Основные технические параметры, по которым производится выбор, следующие:

назначение и области применения. Из известных основных типов контакторов и магнитных пускателей в данном случае могут применяться: контакторы МК1,2; КМ2000; КТ6600; КМ13; КТ12Р; МК3 с тепловыми реле РТТ, РТЛ, ТРН или магнитные пускатели ПМЕ, ПМА, ПМЛ;

род тока, количество и исполнение главных и вспомогательных контактов. Род тока — переменный, частота — 50 Гц; согласно схеме включения двигателя (рис. 3а) аппарат должен иметь не менее трех замыкающихся силовых контактов и одного замыкающегося вспомогательного контакта (другие схемы защиты и управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором приведены в Приложение 5);

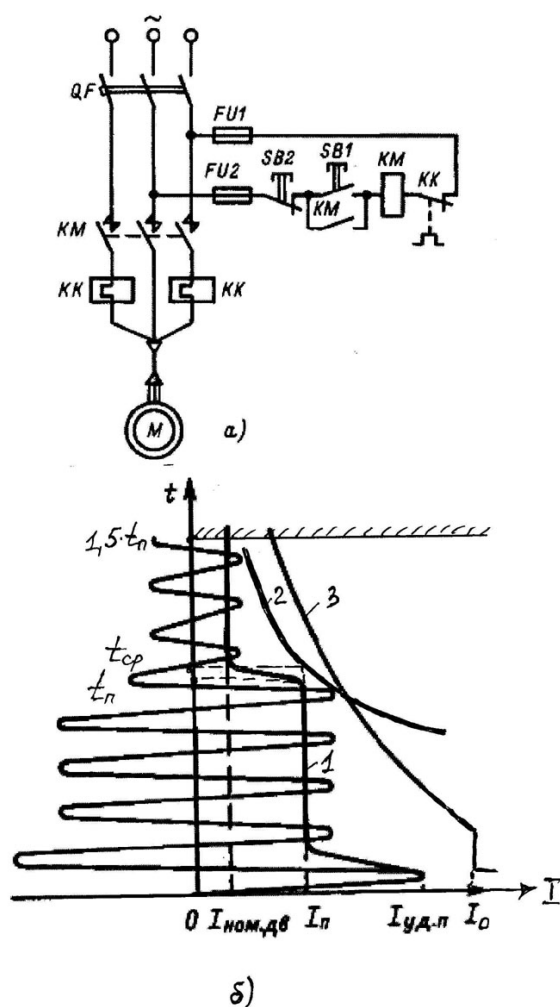


Рис. 3. Схема прямого пуска и защиты асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (а), (б) – пусковая характеристика двигателя (1) и защитные характеристики теплового реле (2) и автоматического выключателя (3). Здесь: М – асинхронный двигатель; КМ – пускатель; QF – автоматический выключатель; FU1 – предохранители; КК – тепловое реле; SB1 и SB2 – кнопки управления. $I_{\text{ном.дв}}$ – номинальный ток двигателя; $I_{\text{п}}$ – пусковой ток двигателя; $I_{\text{о}}$ – ток отсечки выключателя; $I_{\text{уд.п}}$ – ударный пусковой ток двигателя; $t_{\text{п}}$ – время пуска двигателя; $t_{\text{ср}}$ – время срабатывания теплового реле.

номинальное напряжение и ток силовой цепи. Номинальное напряжение — 380 В; номинальный ток не должен быть ниже номинального тока двигателя;

категория применения. Аппарат должен работать в одной из категорий применения: АС-3 или АС-4;

режим работы. Режим работы аппарата — продолжительный с частыми прямыми пусками двигателя;

климатическое исполнение и категория размещения. Аппарат предназначен для эксплуатации в среде с умеренным климатом (У) в категории размещения — 3.

В качестве технико-экономических показателей (показателей качества) выбираем коммутационную износостойкость (этот показатель основной и его „вес" — 0,7) и массу аппарата (его „вес" — 0,3).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫБОРА АППАРАТОВ

1. Предварительный расчет

Прежде чем провести выбор аппарата по основным техническим параметрам, необходимо рассчитать номинальный и пусковой токи двигателя [6]:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.л}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,875 \cdot 0,86} = 15,1 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя (его действующее значение)

$$I_{\text{п}} = k_{\text{I}} \cdot I_{\text{ном.дв}} = 6,5 \cdot 15,1 = 98,2 \text{ А.}$$

Ударный пусковой ток (амплитудное значение)

$$I_{\text{уд.п}} = (1,2 \div 1,4) \sqrt{2} I_{\text{п.}}$$

Принимаем

$$I_{\text{уд.п}} = 1,3 \sqrt{2} I_{\text{п.}} = 1,3 \sqrt{2} \cdot 98,2 = 189,5 \text{ А.}$$

2. Выбор аппаратов по основным техническим параметрам

В начале выбираем магнитный пускатель со встроенным тепловым реле по основным техническим параметрам для заданного схемного решения (рис.3а).

В табл. 9 приведены результаты выбора магнитных пускателей и некоторые их технические параметры.

Таблица 9

Тип пускателя	Номинальный ток, А	Номинальный рабочий ток, А	Категория применения	Степень защиты	Время срабатывания теплового реле при $6I_{ном}$, с
ПМЛ 221002	25	22	АС-3	IP54	4,5–9
ПМЛ 222002	25	22	АС-3	IP54	4,5–9
ПМЛ 223002	25	22	АС-3	IP54	4,5–9
ПМЛ 272002	25	22	АС-3	IP54	4,5–8
ПМЛ 221002	25	10	АС-4	IP54	4,5–9
ПМЛ 222002	25	10	АС-4	IP54	4,5–9
ПМЛ 223002	25	10	АС-4	IP54	4,5–9
ПМЛ 272002	25	10	АС-4	IP54	4,5–9

Проверим возможность работы выбранных аппаратов в категориях применения АС-3 и АС-4.

В категории применения АС-3 магнитный пускатель должен включать в нормальном режиме коммутации ток (см.табл.1)

$$I_0 = 6I_{ном.p} \geq I_{п} ,$$

а в режиме редких коммутаций

$$I_0 = 10I_{ном.p} \geq I_{уд.п}.$$

Оба условия выбранными пускателями выполняются, так как

$$I_0 = 6 \cdot 22 = 132 \text{ А} > I_{п} = 98,2 \text{ А};$$

$$I_0 = 10 \cdot 22 = 220 \text{ А} > I_{уд.п} = 180,5 \text{ А}.$$

В категории применения АС-4 магнитный пускатель должен отключать в нормальном режиме коммутации ток (см.табл.1)

$$I_0 = 6 \cdot 10 = 60 \text{ A},$$

который меньше пускового тока двигателя. В режиме редких коммутаций ток

$$I_0 = 8 \cdot 10 = 80 \text{ A},$$

также ниже возникающего в цепи ударного пускового тока двигателя.

Поэтому выбранные магнитные пускатели, предназначенные для работы в категории применения АС-4, в данных условиях не пригодны.

Тепловые реле серии РТЛ, встроенные в магнитные пускатели имеют регулируемое время срабатывания $t_{cp} = 4,5-9 \text{ с}$, что приемлемо в заданных условиях пуска двигателя ($1,5t_n \geq t_{cp} > t_n$).

На рис. 3б приведены пусковая характеристика двигателя и защитная характеристика теплового реле.

Для реализации схемы пуска двигателя можно использовать контактор и дополнительное тепловое реле.

Основные технические параметры контакторов, выбранных на те же исходные данные, приведены в табл.10.

Таблица 10

Тип контактора	Номинальный ток, А	Категория применения	Степень защиты	Число вспомогательных контактов	Климатическое исполнение
МК1-30У3А	16	АС-4	IP00	2з-2р	УХЛ3
МК1-30У3Б	16	АС-4	IP00	2з-2р	УХЛ3
МК2-30У3А	25	АС-4	IP00	2з-2р	УХЛ3
МК2-30У3Б	25	АС-4	IP00	2з-2р	УХЛ3
КТ6000/01	16	АС-4	IP00	1з-2з; 3з-3р	УХЛ3
КМ 2311-7	25	АС-3	IP00	1з-0р	М; ОМ
КМ 2311-8	25	АС-3	IP00	2з-0р	М; ОМ
КМ 2311-9	25	АС-3	IP00	1з-1р	М; ОМ

Проверка контакторов на работоспособность в категориях применения АС-3 и АС-4 показала, что контакторы МК2-30 могут работать в категории применения АС-4, контакторы КМ2311 — в категории применения АС-3.

В данном случае для защиты двигателя от перегрузки пригодны тепловые реле серии ТРН, технические параметры которых приведены в табл. 11. Время срабатывания реле регулируется в диапазоне 3-25 с, что вполне приемлемо.

Таблица 11

Тип теплового реле	Исполнение реле	Номинальный ток теплового элемента, А	Тип нагревательного элемента	Способ возврата	Степень защиты	Пределы регулирования тока по отношению к номинальному, А
ТРН-25	2	16	СМЕН	РУЧ	IP00	12–20
ТРН-25	2	20	СМЕН	РУЧ	IP00	15–25
ТРН-25	2	25	СМЕН	РУЧ	IP00	18,7–25
ТРН-40	2	16	СМЕН	РУЧ	IP00	12–20
ТРН-40	2	20	СМЕН	РУЧ	IP00	15–25
ТРН-40	2	25	СМЕН	РУЧ	IP00	18,7–31,2

3. Выбор аппаратов по технико-экономическим критериям

Согласно исходным данным в качестве технико-экономических критериев заданы коммутационная износостойкость (с „весом" параметра - 0,7) и масса аппарата (с „весом" - 0,3).

С учетом этих критериев проведен оптимизационный расчет. Лучшими (оптимальными) аппаратами являются: магнитный пускатель ПМЛ221002, контактор МК2-30У3А и тепловое реле ТРН-25.

Методика выбора автоматических выключателей для защиты электрических цепей и электроустановок

Автоматические выключатели являются самыми распространенными аппаратами защиты цепей и потребителей от аварийных режимов. Они также предназначены для нечастых включений и отключений токов нагрузки (номинальных токов).

Автоматические выключатели рекомендуется выбирать по следующим основным техническим параметрам: *назначению, области применения и исполнению; роду тока и числу главных контактов; типу расцепителя, встроенного в выключатель; номинальному току расцепителя; кратности уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя (для максимальных расцепителей тока короткого замыкания); номинальной уставке на ток срабатывания теплового расцепителя (для максимальных расцепителей тока перегрузки); времени срабатывания теплового расцепителя в режиме перегрузки; предельной наибольшей отключающей способности выключателя; типу присоединения подводящих проводников; виду привода выключателя; способу установки выключателя в низковольтное комплектное устройство; климатическому исполнению, категории размещения и степени защиты; числу общих циклов коммутации и числу коммутаций под нагрузкой.*

Разнообразие технических параметров автоматических выключателей делает их выбор достаточно сложным и трудоемким.

По исполнению автоматические выключатели различаются на *нетокоограничивающие, токоограничивающие и селективные* [1].

Нетокоограничивающие выключатели отключают цепь, когда короткое замыкание достигает установившегося ожидаемого значения.

Токоограничивающие выключатели ограничивают ток короткого замыкания путем быстрого введения в цепь дополнительного сопротивления электрической дуги и последующего быстрого отключения короткого замыкания. При этом ток короткого замыкания не достигает ожидаемого максимального значения. Подобные выключатели имеют специальную контактную систему и отличаются

повышенным быстродействием.

Селективные выключатели позволяют в процессе эксплуатации регулировать ток и время срабатывания максимальной токовой защиты. Это дает возможность осуществить селективную (избирательную) защиту потребителей и цепей.

Токоограничивающие и селективные выключатели являются более сложными и дорогостоящими аппаратами и их применение должно быть технически и экономически обосновано.

Основным элементом выключателя, который контролирует состояние цепи и выдает команду на отключение при наличии ненормальных режимов, является встроенный в него расцепитель. Расцепитель выполняет роль измерительного органа и в зависимости от его типа защищает цепь от той или иной аварийной ситуации. Электромагнитные расцепители выполняют функции защиты цепи от больших перегрузок по току или от КЗ. Тепловые расцепители (терморасцепители) предназначены для защиты в области перегрузок, до $5\div 7$ раз превышающих номинальный ток. Микропроцессорные расцепители имеют широкий спектр выполняемых защитных функций (защита от КЗ, перегрузок по току) с большими возможностями регулировки.

Минимальные и нулевые расцепители выполняют защитные функции от понижения напряжения в сети. Например, минимальный расцепитель обеспечивает отключение выключателя при напряжении $70\div 35\%$ номинального, а нулевой расцепитель — при $35\div 10\%$ номинального. Минимальные расцепители часто используются для дистанционного отключения автомата.

Независимые расцепители служат для дистанционного управления (отключения) автоматическим выключателем.

Современные автоматические выключатели имеют встроенные расцепители, устанавливаемые предприятием-изготовителем и рассчитанные на заданные номинальные токи. *Номинальный ток расцепителя* ($I_{\text{ном.расц}}$) отличается от *номинального тока выключателя* ($I_{\text{н а}}$), но не превосходит его. Автоматический выключатель АК63 на номинальный ток 63 А может быть укомплектован

расцепителями, рассчитанными на токи 0,63-63 А. Поэтому выбор выключателя производится по номинальному току его расцепителя.

Автоматические выключатели с максимальным расцепителем тока могут иметь расцепители токов перегрузки (с независимой или обратнозависимой выдержкой времени) и расцепители токов короткого замыкания (мгновенного действия, так называемой отсечкой).

Расцепители токов короткого замыкания характеризуются током отсечки (уставкой мгновенного действия). Кратность тока отсечки по отношению к номинальному току расцепителя отстраивается от максимально возможного превышения тока над номинальным значением в процессе нормальной работы потребителя. Для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором пусковой режим (из статического состояния) близок к режиму короткого замыкания (реактивная составляющая полного сопротивления обмотки статора практически равна нулю), поэтому ток отсечки выключателя отстраивается от ударного пускового тока двигателя $I_{уд.п.}$, на 10÷20% превышая его значение (см. рис.1б), т. е.

$$I_o = (1,1 \div 1,2) I_{уд.п} \quad (7)$$

При этом номинальная отсечка автоматического выключателя $I_{н.о.}$ должна быть не меньше I_o , но не должна превышать минимального значения тока КЗ в цепи. В каталогах на автоматические выключатели значения отсечки приводятся в абсолютных или в относительных (в кратностях к номинальному току расцепителя) значениях.

Ток срабатывания терморасцепителя с обратнозависимой выдержкой времени (с не зависимой или зависимой от предварительной нагрузки) отстраивается от максимального тока нагрузки допустимого в цепи потребителя (например, от действующего значения пускового тока двигателя).

Время срабатывания терморасцепителя автоматического выключателя находится из его защитной характеристики по току перегрузки, длительно протекающему в цепи, начиная с холодного состояния для заданного тока срабатывания.

Для защиты цепей с асинхронными двигателями малой и средней мощности разработана целая группа автоматических выключателей с типом защитной характеристики $D - (10 \div 20)I_n$, $K - (9 \div 14)I_n$ и $L - (5 \div 9)I_n$.

В выключателях широко используются два типа присоединения: переднее и заднее, а сами выключатели располагаются в распределительном устройстве в стационарном или выдвижном исполнении. Выключатели могут снабжаться ручным или двигательным и электромагнитным приводами в зависимости от типа выключателя и его номинального тока.

ПРИМЕР 2. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ СЕЛЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ

Выбрать автоматические выключатели с максимальным расцепителем тока короткого замыкания (отсечкой) для селективной защиты цепи радиальной схемы питания электродвигателей с короткозамкнутым ротором (см.рис. 2) при возникновении короткого замыкания на зажимах двигателя М2, учитывая, что двигатели в схеме одинаковы (см.пример 1 и Приложение 4). Параметры схемы следующие:

Мощность питающего трансформатора Т1, $S_{ном}$, кВ·А	1000
Напряжение короткого замыкания, U_k , %	5,5
Соотношение сопротивлений питающей системы и трансформатора, x_c/x_T	0,1
Длина соединительного кабеля, м l_2	100
l_3	20
Материал кабеля	Алюминий

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫБОРА АППАРАТОВ

1. Предварительный расчет

Определяются параметры нагрузки, в данном случае номинальный и пусковой токи двигателя М2:

$$I_{ном.дв} = 15,1 \text{ А}; I_n = 98,2 \text{ А}; I_{уд.п} = 189,5 \text{ А}.$$

Определяется ожидаемый ток в цепи при трехфазном коротком замыкании на зажимах двигателя в точке 1, на сборке в точке 2 и на зажимах КТП в точке 3

(см.рис. 2). Для этого необходимо выбрать сечение соединительных кабелей l_2 и l_3 . Согласно [1] выбираем алюминиевые трехжильные кабели с резиновой изоляцией, проложенные в одной трубе. Их сечения, для участка l_2 - $2,5 \text{ мм}^2$, для l_3 - 8 мм^2 . При этом удельное электрическое сопротивление кабелей с алюминиевыми жилами при температуре проводника 65°C составляет [3]:

$$r_{уд3} = 9,61 \text{ мОм/м}; x_{уд3} = 0,092 \text{ мОм/м};$$

$$r_{уд2} = 1,1 \text{ мОм/м}; x_{уд2} = 0,061 \text{ мОм/м}.$$

Находим активное и индуктивное электрическое сопротивление кабелей:

$$r_{к3} = r_{уд3} l_3 = 9,61 \cdot 20 = 192,3 \text{ мОм};$$

$$x_{к3} = x_{уд3} l_3 = 0,0092 \cdot 20 = 1,84 \text{ мОм};$$

$$r_{к2} = r_{уд2} l_2 = 1,1 \cdot 1000 = 110 \text{ мОм};$$

$$x_{к2} = x_{уд2} l_2 = 0,061 \cdot 100 = 6,1 \text{ мОм}.$$

Активное r_T и индуктивное x_T сопротивления вторичной обмотки трансформатора 6(10)/0,4 кВ мощностью 630 кВ А, напряжением КЗ – 5,5% при соединении обмоток «треугольник-звезда» с нейтралью [3]:

$$r_T = 2 \text{ мОм}; x_T = 8,6 \text{ мОм}.$$

Принимая переходное сопротивление силовых контактов аппаратов постоянным и равным $r_{пк} = 15 \text{ мОм}$ находим суммарные активное и индуктивное сопротивления от трансформатора Т1 до места КЗ (точке 1):

$$r_{к3} = r_T + r_{к3} + r_{к2} + r_{пк} = 2 + 192,2 + 110 + 15 = 319,2 \text{ мОм};$$

$$x_{к3} = x_c + x_T + x_{к3} + x_{к2} = 0,1 \cdot 8,6 + 8,6 + 1,84 + 6,1 = 17,4 \text{ мОм}.$$

Модуль полного сопротивления до места короткого замыкания составит:

$$z_{к3} = \sqrt{x_{к3}^2 + r_{к3}^2} = \sqrt{17,4^2 + 319,2^2} = 319,7 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного короткого замыкания в точке 1 равен:

$$I_{к31}^{(3)} = U_{ном.л} / (\sqrt{3} \cdot z_{к3}) = 380 / (\sqrt{3} \cdot 319,7 \cdot 10^{-3}) = 686 \text{ А}.$$

Ток двухфазного короткого замыкания в цепях с изолированной нейтралью равен:

$$I_{к31}^{(2)} = U_{ном.л} / (\sqrt{2} \cdot z_{к3}) = 380 / (\sqrt{2} \cdot 319,7 \cdot 10^{-3}) = 594 \text{ А}.$$

Ударный ток короткого замыкания

$$i_{уд1} = k_{уд} \sqrt{2} I_{кз1}^{(3)} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 686 = 970 \text{ A},$$

где $k_{уд} = f(x_{кз}/r_{кз})$, $k_{уд} = 1$ при $x_{кз}/r_{кз} = 0,05$ (см. Приложение 3).

Аналогично определяем ток трехфазного короткого замыкания в точке 2 (см. рис.2):

$$r_{кз} = r_T + r_{к2} + r_{пк} = 2 + 110 + 15 = 127 \text{ мОм};$$

$$x_{кз} = x_c + x_T + x_{к2} = 0,1 \cdot 8,6 + 8,6 + 6,1 = 15,56 \text{ мОм};$$

$$\text{далее определяются } z_{кз} = \sqrt{15,56^2 + 127^2} = 128 \text{ мОм},$$

$$I_{кз2}^{(3)} = 380 / (\sqrt{3} \cdot 128 \cdot 10^{-3}) = 1714 \text{ A и}$$

$$i_{уд2} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1714 = 2424 \text{ A}.$$

Зная мощность питающего трансформатора и соотношение x_c/x_T , определяем ток трехфазного короткого замыкания на зажимах КТП в точке 3 - $I_{кз3}^{(3)}$. Для этого можно воспользоваться известными зависимостями $I_{кз}^{(3)} = f(\text{длины и сечения кабеля, мощности трансформатора})$ [3].

Получим:

$$I_{кз3}^{(3)} = 12000 \text{ A}.$$

При этом учитывается $r_{пк}$.

2. Выбор автоматического выключателя Q4 (см. рис. 2).

Автоматический выключатель ближайший к защищаемому объекту (асинхронному двигателю М2) выбирается:

а) по номинальному току расцепителя

$$I_{\text{ном.расц}} \geq I_{\text{ном.дв}} = 15,1 \text{ А};$$

б) из условия несрабатывания максимального расцепителя тока короткого замыкания (отсечки) при пуске двигателя. Номинальная отсечка расцепителя выключателя Q4

$$I_{\text{ном.от}} \geq I_0 = (1,1 \div 1,2) I_{\text{уд.п}};$$

$$I_0 = 1,1 \cdot 180,5 = 198,6 \text{ А}.$$

Выбирается автоматический выключатель, номинальный ток отсечки которого превышает 198,6 А, либо кратность уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя превышает $198,6/I_{\text{ном.расц}}$. Подобным требованиям удовлетворяет выключатель ВА14-26-34 с номинальным током расцепителя 20 А и номинальной отсечкой на 200 А (кратность уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя - 10);

в) по предельной коммутационной способности выключателя, значение которого должно быть не меньше тока короткого замыкания в точке 1 - $I_{\text{кз1}}^{(3)} = 686 \text{ А}$.

Выбранный выключатель имеет предельную отключающую способность, равную 4,5 кА;

г) из условия нормального пуска (самозапуска) асинхронного двигателя

$$I_{\text{кз}}^{(3)}/I_{\text{п}} \geq 2 \text{ — при легком пуске двигателя } (t_{\text{п}} \leq 5 \text{ с});$$

$$I_{\text{кз}}^{(3)}/I_{\text{п}} \geq 3,5 \text{ — при тяжелом пуске двигателя } (t_{\text{п}} > 5 \text{ с}).$$

В данном случае $I_{\text{кз1}}^{(3)}/I_{\text{п}} = 686/98,2 = 7$ и условие самозапуска двигателя выполняется.

Выбранный таким образом автоматический выключатель относится к классу нетокоограничивающих выключателей, трехполюсного исполнения, с электромагнитным расцепителем, ручным приводом, стационарного исполнения.

В табл. 12 приведены технические параметры выбранного аппарата.

Таблица 12

Автоматический выключатель	Тип выключателя	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность уставки тока отсечки к номинальному	Предельная коммутационная способность, кА
<i>Q4</i>	ВА14-26-34	20	10	4,5
<i>Q3</i>	ВА14-26-34	32	10	3
<i>Q1</i>	A3716Ф	160	3,9	15

3. Выбор автоматического выключателя *Q3* (см. рис. 2).

Выбор автоматического выключателя, защищающего распределительное устройство РУ1, проводится в следующей последовательности:

а) по номинальному току расцепителя

$$I_{\text{ном.расц}} \geq I_{\text{ном}},$$

где $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток в линии l_2 , $I_{\text{ном}} = 30,2$ А. Выбирается выключатель с номинальным током расцепителя $I_{\text{ном.расц}} = 32$ А.

б) по номинальному току отсечки расцепителя автоматического выключателя *Q3*

$$I_{\text{ном.03}} \geq k_{\text{н.о}} I_{\text{ном.04}},$$

где $k_{\text{н.о}}$ — коэффициент надежности согласования, принимается равным $1,3 \div 1,5$ или рассчитывается с учетом разбросов срабатывания отсечек.

Ток номинальной отсечки расцепителя выключателя *Q3* определяется

$$I_{\text{ном.03}} = 1,3 \cdot 200 = 260 \text{ А.}$$

При этом кратность уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя выбирается равной 10.

в) проверяется выключатель *Q3* на способность коммутировать ток короткого замыкания в точке 2

$$I_{\text{кз2}}^{(3)} = 1714 \text{ А.}$$

Ток предельной отключающей способности выбранного выключателя составляет 3 кА, что выше тока $I_{кз2}^{(3)}$.

В качестве выключателя Q3 выбирается аналогичный Q4 тип аппарата, технические параметры которого приведены в табл. 12.

4. Выбор автоматического выключателя Q1 (см. рис.2).

Выключатель, расположенный на КТП, защищает силовой трансформатор и энергосистему и должен отличаться высокой надежностью работы. Как правило, это селективные выключатели. Они выбираются:

а) по номинальному току расцепителя

$$I_{ном.расц} \geq I_{\Sigma ном},$$

где $I_{\Sigma ном}$ - суммарный ток, протекающий в цепи выключателя Q1, при одновременной работе всех двигателей. В данном случае $I_{\Sigma ном} = 136$ А.

Выбирается выключатель серии АЗ716Ф с номинальным током расцепителя $I_{ном.расц} = 160$ А

б) по номинальной отсечке расцепителя автомата Q1:

$$I_{ном.01} \geq K_{н.о} I_{ном.03},$$

где $I_{ном.03}$ - наибольший из токов срабатывания отсечек нижестоящих выключателей, т. е. принимается:

$$I_{ном.01} \geq 1,3 \cdot 260 = 338 \text{ А.}$$

Кратность уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя выбираем равной 3,9.

в) из условия отключения тока трехфазного короткого замыкания в точке 3 — $I_{кз3}^{(3)} = 12000$ А.

Ток предельной отключающей способности выбранного выключателя достигает 15 кА.

Если согласовать отсечки всех выключателей в цепи не удастся, то выключатель на КТП выбирается селективным по времени. При этом ток мгновенного срабатывания третьей ступени защиты (выключателя Q1) $I_{с.мгн}$ должен превосходить $I_{кз3}^{(3)}$ в точке 3 [3].

Технические параметры выбранного выключателя приведены в табл. 12.

ПРИМЕР 3. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦЕПИ ОТ КЗ И ПЕРЕГРУЗКИ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

Выбрать автоматический выключатель с максимальным расцепителем тока и тепловым расцепителем (терморасцепителем) в цепи питания асинхронного двигателя 4А. Параметры двигателя, электрической цепи, а также результаты их предварительного расчета приведены в примерах 1 и 2.

Необходимо выбрать автоматический выключатель с электромагнитным и тепловым расцепителями (либо с комбинированным расцепителем), отвечающий основным техническим параметрам и имеющий наибольшую износостойкость (число циклов коммутации под нагрузкой) с весовым коэффициентом показателя 0,8 и наименьший объем с весовым коэффициентом 0,2.

Последовательность выбора аппаратов следующая.

1. Выбираем нетокоограничивающий выключатель с ручным приводом, стационарного исполнения и передним присоединением проводов.

2. Номинальное напряжение выключателя 380 В, с тремя главными контактами.

3. Номинальный ток комбинированного расцепителя выбирается из условия

$$I_{\text{ном.расц}} \geq I_{\text{ном.дв}} = 15,1 \text{ А.}$$

Выбираем выключатель серии АЕ2026 с электромагнитным и тепловым расцепителями на $I_{\text{ном.расц}} = 16 \text{ А}$.

4. Кратность уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя должна находиться в пределах

$$198,6 / I_{\text{ном.расц}} = 12 \leq I_{\text{ном.о}} / I_{\text{ном.расц}} \leq 686 / I_{\text{ном.расц}} = 43.$$

Выбранный выключатель имеет отсечку равную 12, что удовлетворяет заданным условиям.

5. Предельная отключающая способность выключателя должна превышать ток короткого замыкания на зажимах двигателя $I_{\text{кз}}^{(3)} = 686 \text{ А}$. Предельная отключающая способность выбранного выключателя достигает 2 кА, что выше тока короткого замыкания.

6. Тепловой элемент комбинированного расцепителя проверяется по номинальной уставке на ток срабатывания теплового расцепителя.

Ток срабатывания терморасцепителя с обратнозависимой выдержкой времени (с не зависимой или зависимой от предварительной нагрузки) отстраивается от максимального тока нагрузки допустимого в цепи потребителя (например, от действующего значения пускового тока двигателя I_n):

$$I_{ст} \geq 98,2 A$$

и ищется ближайшее нормированное значение $I_{нт}$. Определяются пределы его регулирования (они составляют 0,9—1,15).

По защитной характеристике автоматического выключателя определяется время срабатывания $t_{ср}$ теплового расцепителя при перегрузке и проверяется условие согласования нагрузочной характеристики асинхронного двигателя и защитной характеристики выключателя:

$$1,5t_n \geq t_{ср} > t_n; \quad 7,5 \geq 6 > 5.$$

В табл. 13 приведены результаты выбора выключателей по основным техническим параметрам.

Таблица 13

Тип выключателя	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность уставки тока отсечки к номинальному	Предельная коммутационная способность, кА	Номинальный ток выключателя, А
AE2026	16	12	2	16
AE2046M	16	12	4,5	63
AE2046	16	12	3	63
AE2053M	16	12	3,5	100
AE2056M	16	12	3,5	100
AE2063	16	12	3,5	160
AE2066	16	12	3,5	160

7. Определим наилучший, с учетом заданных технико-экономических показателей и их „веса“, аппарат, используя результаты выбора по основным техническим параметрам.

В табл. 13 выключатели размещены по мере ухудшения их технико-экономических показателей. Наибольшее предпочтение следует отдать автоматическому выключателю серии АЕ2026, удовлетворяющему всем заданным технико-экономическим условиям и имеющему наибольшее число циклов коммутации под нагрузкой при наименьшем объеме выключателя.

Особенности выбора средств защиты цепей общего назначения

Особое место занимает защита *электрических цепей*. В настоящее время широко используются сети напряжением от 0,4 до 750 кВ.

Наиболее опасными и частыми видами повреждений в таких сетях являются короткое замыкание между фазами и между фазой и заземленными частями электрооборудования.

Основная масса потребителей работает в сетях напряжением 0,4 кВ, 6 и 10 кВ (в последнее время нашли широкое применение сети напряжением 0,66 кВ). Для питания стационарных силовых потребителей и осветительных установок общего назначения применяются трехфазные четырехпроводные и пятипроводные сети напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Силовые потребители питаются от источника линейного напряжения, а осветительные приборы — от источника фазного напряжения. Мощные силовые потребители, например, электродвигатели мощностью 160 кВт и выше, питаются напряжением 660 В, 6 и 10 кВ.

Основными аварийными режимами в таких сетях являются: однофазное КЗ (до 60%); трехфазное КЗ (до 10%); двухфазное КЗ на землю (до 20%); двухфазное КЗ (до 10%).

Защита электрических сетей напряжением до 1000 В осуществляется, как правило, аппаратами защиты, а сети напряжением свыше 1000 В имеют релейную

защиту.

Самыми распространенными аппаратами защиты сетей являются автоматические выключатели и предохранители. Если требуется иметь защиту с высокой чувствительностью или селективностью, то применяют релейную защиту, выполненную на базе реле и автоматических выключателей [1].

Электрические сети напряжением до 1000 В внутри помещений должны иметь также защиту от перегрузки, выполненную, как правило, на базе автоматических выключателей.

Под *цепями общего назначения* понимаем электрические цепи в жилых и административных помещениях, вспомогательные цепи промышленных предприятий.

Особенность таких цепей определяется смешанным характером нагрузки (нагревательные приборы и бытовая техника, осветительное оборудование, бытовые электродвигатели в системах вентиляции и кондиционирования и т.п.). Поэтому выбор аппаратов защиты (в первую очередь автоматических выключателей) необходимо выполнять в следующей последовательности:

- предварительно рассчитывается токопроводящая цепь с учетом допустимых длительных токов [4] и экономической плотности тока. На этом этапе выбирается тип проводников и их сечение при максимальной нагрузке;

- основным аварийным режимом является короткое замыкание в цепи. Поэтому определяется расчетным путем или по эмпирическим кривым ожидаемый ток короткого замыкания (см. [3]). При этом необходимо учитывать длину соединительных проводников защищаемой цепи. Увеличение длины проводников (либо снижение их сечения) неизбежно приведет к росту их активного и реактивного сопротивления, что не только снижает допустимый номинальный ток в проводниках, но и ограничивает ожидаемый ток КЗ в цепи;

- для защиты цепей общего назначения при номинальных токах до 125 А используются автоматические выключатели с защитной характеристикой В – $(3 \div 5)I_n$, С – $(5 \div 10)I_n$ или К – $(9 \div 14)I_n$.

Современные цепи общего назначения вполне выдерживают перегрузки, достигающие $10I_n$ в кратковременном режиме, поэтому часто выбирают автоматические выключатели с типом защитной характеристики – С;

- выбор выключателя по основным техническим параметрам: номинальному току I_n , величина которого должна превышать допустимый длительный ток в цепи; числу полюсов (допустимо использование однополюсных – 1р, либо двухполюсных – 2р выключателей; типу защитной характеристики (В или С); номинальной отключающей способности, для цепей бытового назначения вполне достаточно использовать автоматические выключатели с отключающей способностью 3; 4,5; 5 или 6 кА; способу установки, большинство современных выключателей для защиты цепей общего назначения крепятся на DIN-рейках (например, выключатели серии 3RV, C60, S200, BA-103, BA47-29, BA76-29, BM40 и др.), выключатели, используемые для защиты промышленных цепей общего назначения, могут иметь способ крепления «под винт», например, широко используемые автоматические выключатели серии А63, АЕ20, АЕ25, АК50Б, АП50Б и другие;

- уточняются условия эксплуатации выключателей: климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ3, УХЛ4, Т2.1, Т3, О4 и др.), степень защиты (как правило это IP00 с защитой выводов IP20). При работе в других условиях используются защитные корпуса и оболочки (боксы) с определенной степенью защиты.

Особенности защиты осветительных приборов и силовых полупроводниковых устройств

Основным аварийным режимом в *осветительных установках* является короткие замыкания. Защита от перегрузки требуется только для осветительных установок, эксплуатируемых внутри помещений и во взрыво- и пожароопасной среде. Наиболее распространенным аппаратом защиты осветительных установок является автоматический выключатель.

Особенностью функционирования осветительных приборов является их пусковой режим, который отличается большими кратностями токов (до $10-20I_n$ для

ламп накаливания) и малой длительностью их протекания (до 0,06 с). Современные автоматические выключатели имеют высокую степень быстродействия, их максимальные токовые расцепители способны за такой период времени отключить цепь, что не позволит подключить потребителя. Отсюда автоматические выключатели следует выбирать из условия больших пусковых токов (например, тип защитной характеристики – С, D или К). При этом номинальная отключающая способность аппарата должна быть выше не только ожидаемого тока короткого замыкания в цепи, но и пускового тока.

Существуют автоматические выключатели, специально предназначенные для работы с осветительными приборами. Например, выключатель серии DZ47-60, с характеристикой D и предельной наибольшей отключающей способностью 6 кА.

Широкое распространение *силовой полупроводниковой техники* требует применения для ее защиты эффективных устройств. Одним из главных недостатков силовых полупроводниковых приборов является их низкая перегрузочная способность по току [5], что накладывает жесткие условия на аппаратуру защиты (по быстродействию, селективности и надежности срабатывания).

Силовые полупроводниковые устройства крайне чувствительны к токам, выше номинального значения и длительности их протекания. Обычно они имеют невысокие значения допускаемого интеграла Джоуля.

Чаще всего в качестве защитных аппаратов для силовых полупроводниковых устройств используются быстродействующие предохранители или токоограничивающие выключатели, способные не позволить току короткого замыкания развиться до опасных пределов, т.е. ограничивающие пропускаемый интеграл Джоуля.

Таковыми автоматическими выключателями, например, являются выключатели серии Compact NS, Tmax, ВАБ и ВАТ на номинальные токи до 10000 А.

Выбор автоматических выключателей связан с согласование нагрузочной характеристики защищаемого устройства и защитной характеристики выключателя (см. рис. 1б).

Низковольтные комплектные устройства

Общие сведения о низковольтных комплектных устройствах

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) представляют собой совокупность аппаратов защиты, управления и автоматики, а также приборов, объединенных единой конструктивной основой.

Низковольтные комплектные устройства предназначены для управления, регулирования и защиты электроустановок, распределения энергии, электрических измерений и сигнализации, для управления различными механизмами, установками и технологическими процессами [1].

Объединение аппаратов и приборов, решающих определенную техническую задачу, в виде отдельного конструктивного узла позволяет не только повысить их удобство, безопасность и надежность в эксплуатации, но и улучшает качество их монтажа и наладки, а также снижает стоимость изготовления НКУ в заводских условиях с использованием унифицированных изделий.

Конструктивно НКУ выполняются в виде открытых щитов, защищенных щитов и отдельных напольных шкафов, щитов, защищенных только спереди и с боков, блоков, панелей, ящиков (навесных шкафов) и пультов. Низковольтные комплектные устройства выполняются с односторонним или двухсторонним обслуживанием, с однорядным, двухрядным или комбинированным расположением аппаратов.

Если НКУ открытого исполнения предназначены для установки в специальных электротехнических помещениях, в которых находится только обслуживающий персонал, то защищенные НКУ могут устанавливаться непосредственно в цехах, вблизи от управляемых ими механизмов. Подобные НКУ удобны в эксплуатации, при этом значительно сокращается общая протяженность электрических коммуникаций, облегчается наладка электрооборудования, снижается объем и стоимость комплектного устройства. Однако защищенные НКУ несмотря на все преимущества имеют существенный недостаток: в замкнутом объеме происходит

перегрев элементов НКУ, что требует специальных мер по выбору и размещению аппаратов, монтажу и эксплуатации, вентиляции внутреннего объема НКУ. Часто НКУ комплектуются типовыми блоками и панелями. Однако при этом аппараты типовых блоков должны быть использованы, а замена отдельных аппаратов и узлов не допускается.

К низковольтным комплектным устройствам и отдельным его элементам предъявляются следующие требования.

Удобство и безопасность обслуживания. НКУ должно быть надежно защищено от случайного прикосновения обслуживающего персонала к токоведущим и подвижным частям, а элементы НКУ – от воздействия внешней среды и механических повреждений. При этом, к элементам НКУ, требующим систематического контроля и наблюдения в процессе эксплуатации, должен быть удобный доступ (например, к контактным соединениям).

Удобство наблюдения за работой аппаратов. Измерительные приборы и аппараты ручного управления (кнопки, рубильники, выключатели и т.п.) должны располагаться на удобном для наблюдения уровне (на высоте от 600 до 1800 мм от уровня пола).

Удобство подключения внешних соединений. Внешние соединения подключаются через зажимы, расположенные внутри НКУ.

Удобство ремонта и замены аппаратов, приборов и других элементов НКУ.

Исключение возможного взаимного влияния аппаратов друг на друга. При этом возможны тепловые, электромагнитные и механические воздействия аппаратов. Чрезмерный нагрев отдельных аппаратов, переброс электрической дуги отключения, механическая вибрация аппаратов, магнитные поля и взаимоиндуктивности могут вызвать ложные срабатывания и отключения, разрегулировку аппаратов, перегрев и изменение характеристик аппаратов и отдельных его узлов и другие несанкционированные действия.

Поэтому аппараты, являющиеся источниками внешних воздействий, должны размещаться на расстоянии от остальных аппаратов, в нижней или в верхней

частях НКУ, а иногда и за пределами НКУ. Особые требования предъявляются к выбору площади поверхности охлаждения НКУ и условиям его охлаждения.

В зависимости от характера, длительности и условий нагрева различают три основных режима работы НКУ: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

Режимы работы низковольтных комплектных устройств

Низковольтное комплектное устройство состоит из физических тел, излучающих или потребляющих тепловую энергию в ограниченном пространстве.

Поскольку температура ν в различных точках НКУ неодинакова внутри НКУ возникают тепловые потоки, которые можно описать уравнением теплового поля:

$$\nu = f(L, B, H, t), \quad (8)$$

где L , B , H – длина, глубина и высота НКУ; t – время.

Таким образом, температурное поле НКУ является трехмерным и неоднородным, что усложняет его расчет.

Теплота в НКУ переносится в направлении стенок шкафов, так как они имеют более низкую температуру, чем температура внутреннего объема шкафа. Тепловой поток согласно формуле Ньютона-Рихмана

$$Q = qS_{\text{охл}}, \quad (9)$$

где $S_{\text{охл}}$ – площадь поверхности охлаждения, м^2 ; q – плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Построив температурное поле внутреннего объема НКУ, можно представить наиболее уязвимые области НКУ, что облегчит работу по рациональному размещению элементов внутри НКУ. В качестве основного теплового параметра, характеризующего НКУ, используется допустимая температура нагрева частей элементов и конструкции НКУ. Снижение температуры внутри НКУ ниже допустимой приведет лишь к увеличению габаритных размеров НКУ и снижению его технико-экономических показателей.

Низковольтное комплектное устройство должно нормально функционировать

при температуре среды внутреннего объема до +55°C, что является наиболее эффективным и рациональным [7].

Если v_1 температура окружающей НКУ среды, а v_2 температура внутри НКУ, то их соотношение имеет вид

$$v_2 = v_1 + q/k_T, \quad (10)$$

где k_T – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C).

В практических расчетах часто используют понятие "перепад температуры", который определяется формулой $Q = v_2 - v_1$, и строят зависимости $Q = f(q)$.

Для поддержания температуры внутри НКУ в допустимых пределах используются различные способы охлаждения – естественные и принудительные.

Естественное воздушное охлаждение является наиболее простым и распространенным охлаждением НКУ. Однако, его можно использовать лишь при небольшой плотности теплового потока внутри НКУ. Естественное охлаждение используется либо в полностью закрытых шкафах путем конвекции и излучения с наружной поверхности НКУ через металлические стенки, либо через специальные вентиляционные отверстия, расположенные в нижней и в верхней частях НКУ. При этом выделяющаяся в элементах тепловая энергия конвекцией передается потоку воздуха и уносится из шкафа. Эффективность работы НКУ с естественной вентиляцией можно повысить, подбирая количество и форму вентиляционных отверстий, окраску теплоотдающих поверхностей и т. п.

Принудительная вентиляция наиболее эффективна при высокой плотности теплового потока внутри НКУ. Принудительное движение воздуха создается специальными вентиляторами, расположенными в верхней или нижней части НКУ. При этом возможны замкнутая или разомкнутая системы охлаждения. В замкнутой системе охлаждения воздух циркулирует внутри объема НКУ, в разомкнутой – воздухообмен осуществляется между окружающей средой и внутренним объемом НКУ.

Принудительная вентиляция НКУ более широко применяется вследствие высокой ее эффективности, надежности и простоты.

Расчет теплового режима НКУ проводят для выбора необходимых габаритных размеров, которые обеспечивали бы нормальное тепловое состояние элементов НКУ.

НКУ представляет собой устройство, в котором протекают два воздушных потока с различными температурами, разделенных жесткой стенкой: внутренний тепловой поток определяется количеством теплоты, выделяемой элементами НКУ, а внешний тепловой поток – теплоотводящими свойствами стенок НКУ и окружающей средой.

Можно выделить два основных вида тепловых расчетов:

1) расчеты для определения площади теплоотдачи, а, следовательно, для выбора габаритных размеров НКУ. Эти расчеты выполняются на стадии проектирования НКУ;

2) расчеты для определения соответствия выбранных габаритных размеров нормальному тепловому режиму работы НКУ. Такие расчеты выполняются на любом этапе проектирования, изготовления и эксплуатации НКУ.

Уравнение теплового баланса НКУ в продолжительном режиме работы имеет вид:

$$P_{\pi} = Q, \quad (11)$$

где P_{π} – суммарное количество теплоты, выделяемое элементами НКУ, Вт; Q – количество теплоты, отводимой от НКУ в окружающую среду, Вт.

$$P_{\pi} = \sum_{i=1}^m P_{\pi i}, \quad (12)$$

где $P_{\pi i}$ – количество теплоты, выделяемой i -м элементом НКУ, Вт; m – число элементов в НКУ. Количество теплоты, отводимой от НКУ в окружающую среду, определяется согласно (9).

Расчет количества теплоты, выделяемой внутри НКУ, представляет определенную сложность. Упростить задачу можно рассчитав количество теплоты P_{π} по номинальным параметрам, однако точность такого расчета невелика. Лучшие результаты дает расчет количества теплоты P_{π} [7] с учетом коэффициента

загрузки элементов и особенностей технологических процессов производства.

Более сложной является задача расчета количества теплоты, отводимой от НКУ в окружающую среду, и определение коэффициента теплоотдачи, зависящего от температуры [1].

Если в результате расчета теплового баланса количество теплоты P_n превышает количество теплоты Q , то необходимо либо изменить систему охлаждения, либо увеличить габаритные размеры НКУ, либо заменить элементы, сильно влияющие на тепловое состояние внутренней области НКУ. Точный аналитический расчет теплового состояния НКУ связан с большими трудностями, поэтому наибольшее распространение получили упрощенные методы расчета с учетом экспериментальных данных (тепловых характеристик).

Выбор габаритных размеров низковольтных комплектных устройств и особенности их монтажа

Для того, чтобы правильно выбрать оптимальные габаритные размеры НКУ, необходимо предварительно подобрать способ его охлаждения. При этом необходимо знать: количество теплоты P_n , выделяемой встроенными элементами НКУ; допустимое значение температуры ν_2 внутренней области НКУ; допустимое значение температуры ν_1 окружающей НКУ среды; предварительные габаритные размеры НКУ; требуемую степень защиты шкафа НКУ. Вышеперечисленные параметры могут быть рассчитаны или заданы согласно требованиям, описанным выше.

На рис. 4 дана диаграмма выбора способа воздушного охлаждения НКУ. Зная плотность теплового потока q внутри НКУ и допустимый перепад температур Q между внутренней и внешней средами НКУ, определяется способ охлаждения НКУ, выполняется расчет теплового режима НКУ с использованием тепловых характеристик [7] и определяются площадь теплоотдачи и габаритные размеры НКУ для данной схемы охлаждения. Предлагаемая методика выбора габаритных размеров НКУ достаточно эффективна и удобна, что позволяет оценить температурный режим заданного и проектируемого НКУ.

Удобно пользоваться при проектировании НКУ зонами аппаратов, входящих в комплект НКУ. Зона аппарата представляет собой прямоугольник вокруг аппарата, размеры ее определяются габаритными размерами аппарата, возможностью подключения к нему внешних проводов, удобством монтажа и эксплуатации, исключением влияния аппарата на соседние элементы НКУ. Таким образом, зоны аппаратов в НКУ фактически задают начальные габаритные размеры НКУ в виде полезной площади НКУ. Набор зон аппаратов, зажимов, приборов позволяет выбрать из стандартного ряда предварительные размеры НКУ, которые и уточняются потом в ходе теплового расчета.

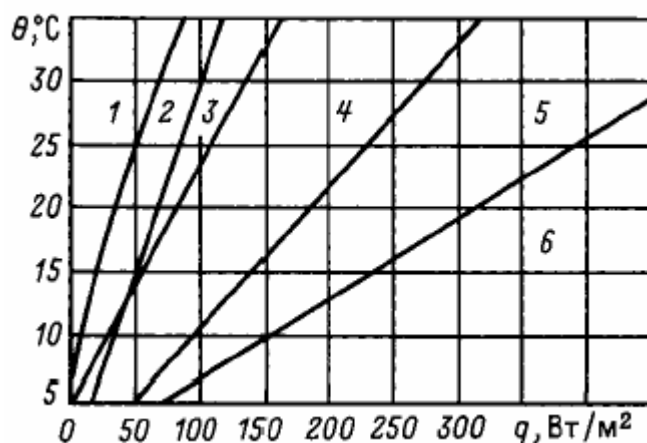


Рис. 4. Диаграмма выбора способа воздушного охлаждения НКУ:

1 – зона использования НКУ закрытого типа с естественным охлаждением; 2, 3 – зона использования НКУ с естественной вентиляцией; 2 – зона использования НКУ закрытого типа с внутренней принудительной вентиляцией; 3, 4 – зона использования НКУ с принудительной внутренней и внешней вентиляцией; 4, 5 – зона использования НКУ с принудительной вентиляцией

Монтаж НКУ выполняется с учетом следующих требований.

1. Аппараты в НКУ крепятся на С-образных рейках непосредственно или при помощи переходных пластин.

2. Крупногабаритные аппараты размещаются внизу НКУ на рейках или на основании, либо за пределами НКУ или на крышке НКУ.

3. Монтаж выполняется гибким проводом или шиной, в коробах или в жгутах.

4. Измерительная или регулировочная аппаратура располагается на расстоянии

от 600 до 1800 мм от пола.

5. Внешние, внутрипанельные, межблочные и другие соединения выполняются при помощи силовых наборных зажимов.

6. Внутри НКУ соединительные провода маркируются для удобства монтажа и эксплуатации.

Контрольные вопросы

1. Какие аварийные режимы могут возникать в электрических цепях? Их особенности.
2. Какие потребители электроэнергии наиболее распространены? В чем особенности их функционирования?
3. Что такое защитная характеристика аппарата? Как она согласуется с нагрузочной характеристикой защищаемого объекта?
4. Каковы особенности электрических сетей 0,4 кВ? От чего зависит ток короткого замыкания в таких сетях?
5. Какие технические параметры электрических аппаратов называют основными? Почему?
6. Что такое категория применения электрических аппаратов управления? Что она характеризует?
7. Что такое предельная коммутационная способность и коммутационная износостойкость аппарата?
8. По каким основным техническим параметрам выбирают автоматические выключатели?
9. Какие автоматические выключатели по исполнению Вам известны? Их отличительные особенности и назначение.
10. Что такое номинальный ток расцепителя? Как он соотносится с номинальным током выключателя?
11. Что такое отсечка максимального расцепителя тока? Как выбирается кратность уставки тока отсечки к номинальному току расцепителя?

12. Как выбирается номинальная уставка на ток срабатывания теплового расцепителя выключателя?
13. Что такое селективность выключателей по току? Как она реализуется в радиальной схеме электроснабжения потребителей?
14. Как параметры соединительного кабеля и защитной аппаратуры влияют на условия прямого пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
15. По каким основным техническим параметрам выбирают контакторы и магнитные пускатели?
16. Какие аварийные режимы имеют место в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором? Способы защиты от них.
17. Как проверяется правильность выбора контактора (магнитного пускателя) в заданной категории их применения (на примере управления асинхронным двигателем)?
18. Как выбирается тепловое реле из условия нормального пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
19. Какие технико-экономические показатели аппаратов известны? Что они характеризуют?
20. Что такое НКУ? Каково его назначение?
21. Какие требования предъявляются к НКУ?
22. В чем особенности теплового расчета НКУ? Перечислите способы вентиляции.
23. Как выбрать способ охлаждения НКУ?
24. Что такое «зона аппарата» в НКУ? Чем она определяется?
25. В чем особенности монтажа НКУ?

Литература

1. **Чунихин А.А.** Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. **Выбор** электрических аппаратов для электропривода, электрического транспорта и электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие по курсу: Электрические аппараты/Акимов Е.Г., Коробков Ю.С., Савельев А.В. и др. М.: Издательство МЭИ, 1990.
3. **Беляев А.В.** Выбор аппаратуры защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. Л.: Энергоатомиздат, 1988.
4. **Правила** устройства электроустановок. 7-е издание. М.: НЦ «ЭНАС», 2005.
5. **Акимов Е.Г., Чунихин А.А.** Выбор электрических аппаратов защиты для силовых полупроводниковых приборов: Учебное пособие по курсу: Выбор и применение электрических аппаратов управления и защиты. М.: Издательство МЭИ, 1993.
6. **Кравчик А.Э., Стрельбицкий Э.К., Шлаф М.М.** Выбор и применение асинхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. **Электрические и электронные аппараты:** Учебник для вузов / под ред. Ю.К. Розанова. – 2-е изд., испр. И доп.-М.: Информэлектро, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

Выбор низковольтных электрических аппаратов распределения и управления.....	1
Основные технические характеристики электрических аппаратов.....	1
Аварийные режимы в цепях и способы защиты.....	14
Методика выбора контакторов и магнитных пускателей для управления и защиты электрических двигателей.....	21
ПРИМЕР 1. ВЫБОР КОНТАКТОРА (МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ) ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ 4А.....	26
Методика выбора автоматических выключателей для защиты электрических цепей и электроустановок.....	32
ПРИМЕР 2. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ СЕЛЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ.....	35
ПРИМЕР 3. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦЕПИ ОТ КЗ И ПЕРЕГРУЗКИ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ.....	41
Особенности выбора средств защиты цепей общего назначения.....	43
Особенности защиты осветительных приборов и силовых полупроводниковых устройств.....	45
Низковольтные комплектные устройства.....	47
Общие сведения о низковольтных комплектных устройствах.....	47
Режимы работы низковольтных комплектных устройств.....	49
Выбор габаритных размеров низковольтных комплектных устройств и особенности их монтажа.....	52
Контрольные вопросы.....	55
Литература.....	56
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Параметры соединительных кабелей и питающих трансформаторов	
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Расчетные кривые для нахождения токов короткого замыкания в цепях 0,4 кВ	
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Ударный коэффициент тока короткого замыкания в цепях 0,4 кВ	
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Исходные данные расчета радиальной схемы электроснабжения потребителей	
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Схемы защиты и управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	