

10.2. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов

Электродинамическая стойкость электрических аппаратов в зависимости от типа и конструкции характеризуется их предельными сквозными токами $i_{\text{пр.СКВ}}$ и $I_{\text{пр.СКВ}}$ и номинальными токами электродинамической стойкости $i_{\text{дин}}$ и $I_{\text{дин}}$ или кратностью тока электродинамической стойкости

$$K_{\text{дин}} = \frac{i_{\text{дин}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{Н}}} \quad (10.7)$$

Электродинамическая стойкость электрического аппарата обеспечена, если выполняются условия:

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{п0}}; i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}} \quad (10.8)$$

или

$$\sqrt{2} K_{\text{дин}} \cdot I_{\text{Н}} \geq i_{\text{уд}} \quad (10.9)$$

где $I_{\text{п0}}$ - начальное значение периодической составляющей расчетного тока КЗ;

$i_{\text{уд}}$ - ударный ток КЗ.

10.3 Электротермическая стойкость шин

Проверка проводников на термическую стойкость при КЗ заключается в определении их температуры нагрева к моменту отключения КЗ и сравнении этой температуры с предельно допустимой температурой нагрева при КЗ. Проводник удовлетворяет условию термической стойкости, если температура нагрева проводника к моменту отключения КЗ $\vartheta_{\text{к}}$ не превышает предельно допустимую температуру нагрева соответствующего проводника при КЗ $\vartheta_{\text{к.доп}}$, т.е. если выполняется условие: $\vartheta_{\text{к}} \leq \vartheta_{\text{к.доп}}$

Определение температуры нагрева проводников к моменту отключения КЗ следует производить с использованием кривых зависимости температуры нагрева проводников ϑ от величины A_{ϑ} , являющейся функцией удельной теплоемкости материала проводника, его удельного сопротивления и температуры нагрева. Такие кривые для жестких шин, кабелей и проводов

некоторых марок приведены на рисунке 10.4, а для проводов других марок - на рисунке 10.5.

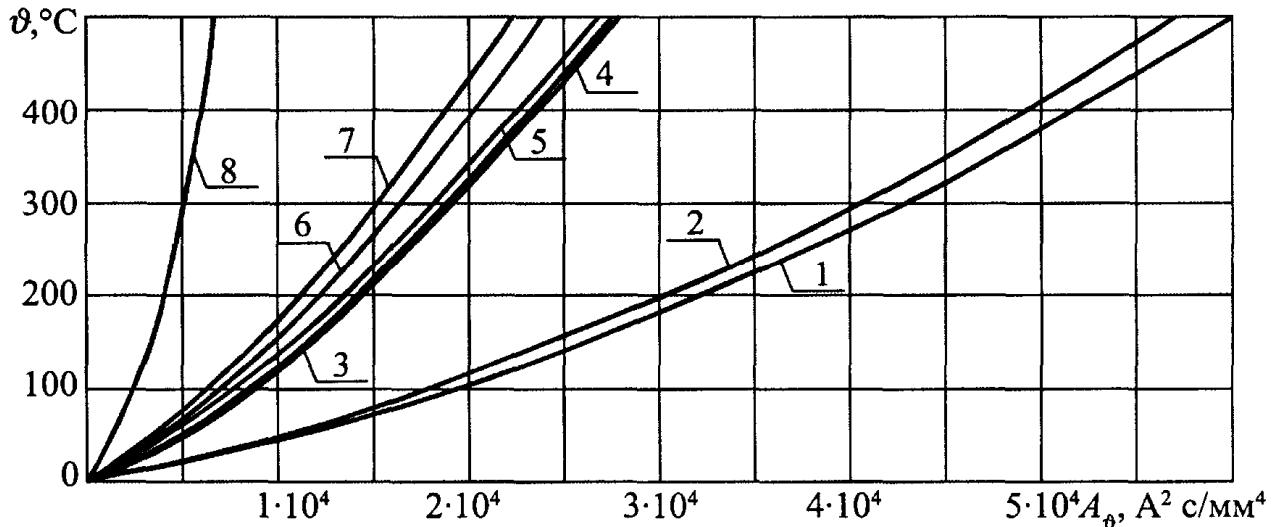


Рисунок 10.4 - Кривые для определения температуры нагрева проводников.

Материалы проводников: 1-ММ; 2-МТ; 3-АМ; 4-АТ; 5-АДО, АСТ; 6-АДЗ1Т1; 7-АДЗ1Т; 8-СтЗ

Расчеты целесообразно вести в следующей последовательности:

- 1) на рисунке 10.5 или рисунке 10.4 выбрать кривую, соответствующую материалу проверяемого проводника, и с помощью этой кривой, исходя из начальной температуры проводника $\vartheta_{\text{Н}}$, найти значение величины $A_{\vartheta_{\text{Н}}}$ при этой температуре;
- 2) определить значение интеграла Джоуля $B_{\text{К}}$ при расчетных условиях КЗ;
- 3) найти значение величины $A_{\vartheta} = A_{\vartheta_{\text{К}}}$, соответствующее конечной температуре нагрева проводника, используя формулу (10.10)

$$A_{\vartheta_{\text{К}}} = A_{\vartheta_{\text{Н}}} + \frac{B_{\text{К}}}{q^2}, \quad (10.10)$$

где q — площадь поперечного сечения проводника, а для сталеалюминевых проводов — площадь поперечного сечения алюминиевой части провода;

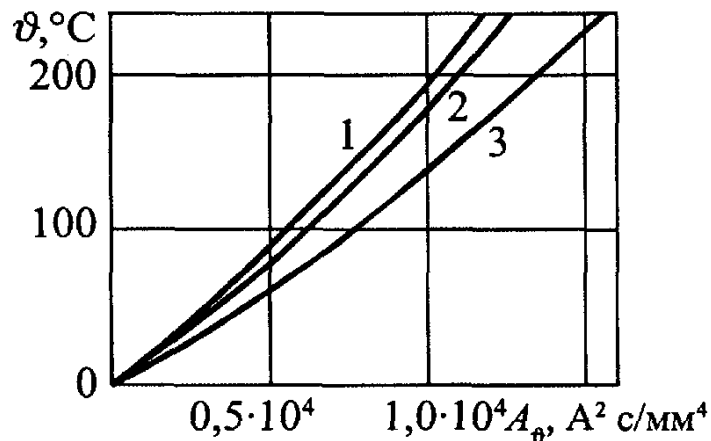


Рисунок 10.5 - Кривые для определения температуры нагрева проводов при коротких замыканиях

Материалы проводов: 1 - сплавы АЖ и АЖКП; 2 - сплавы АН и АНКП; 3 - алюминий марок А, АКП, АКП и сталеалюминий марок АС, АСКП, АСКС, АСК, АпС, АпСКС, АпСК

4) по найденному значению величины $A_9 = A_{9к}$, используя выбранную кривую определить температуру нагрева проводника к моменту отключения КЗ $\theta_{к}$ и сравнить ее с предельно допустимой температурой $\theta_{к.доп.}$. Термическая стойкость проводника обеспечивается, если выполняется условие (10.10).

Предельно допустимые температуры нагрева различных проводников приведены в таблице 10.3.

Если при выборе сечения проводника определяющим условием является его термическая стойкость при КЗ, то следует выбрать минимальное сечение проводника, при котором его температура нагрева к моменту отключения КЗ оказывается меньше предельно допустимой температуры или равной ей.

Исходя из расчетных условий КЗ необходимо, определить значение интеграла Джоуля, а исходя из материала проводника, выбрать необходимую кривую и по ней найти значения величины A_9 , соответствующие начальной и предельно допустимой температурам, т.е. $A_{9н}$ и $A_{9к.доп.}$. Искомое минимально возможное сечение проводника

$$q_{\text{ТЕР.мин}} = \sqrt{\frac{B_{к}}{A_{9.к.доп.} - A_{9.н}}} \quad (10.11)$$

Используя затем шкалу стандартных сечений проводов шин или жил кабелей, следует выбрать сечение проводника, удовлетворяющее условию $q \geq q_{\text{ТЕР.мин}}$

Таблица 10.3 - Предельно допустимые температуры нагрева проводников при коротких замыканиях

Вид проводников	$\vartheta_{\text{доп}}, ^\circ\text{C}$
Шины алюминиевые	200
Шины медные	300
Шины стальные, не имеющие непосредственного соединения с аппаратами	400
Шины стальные с непосредственным присоединением к аппаратам	300
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение, кВ:	
1	250
6-10	200
20-35	130
110-220	125
Кабели и изолированные провода с медными и алюминиевыми жилами и изоляцией из:	
поливинилхлоридного пластика	160
резины	160
полиэтилена (номинальное напряжение кабелей до 35 кВ)	130
вулканизированного (сшитого) полиэтилена (номинальное напряжение кабелей до 35 кВ)	250
Медные неизолированные провода при тяжениях, Н/мм ² :	
менее 20	250
20 и более	200
Алюминиевые неизолированные провода при тяжениях, Н/мм ² :	
менее 10	200
10 и более	160
Алюминиевая часть сталеалюминиевых проводов	200

В тех случаях, когда нагрузка проводника до КЗ близка к продолжительно допустимой, минимальное сечение проводника, отвечающее условию термической стойкости при КЗ, следует определять по формуле

$$q_{\text{ТЕР. min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}, \quad (10.12)$$

где $C_T = \sqrt{A_{\vartheta, \text{К. доп.}} - A_{\vartheta, \text{Н}}}$;

$A_{\vartheta, \text{Н}}$ - значение функции A_{ϑ} при продолжительно допустимой температуре проводника $\vartheta_{\text{НОМ}}$.

Значения параметра C_T для жестких шин приведены в таблице 10.4, для проводов - таблице 10.5, для кабелей - таблице 10.6.

Таблица 10.4 - Значение параметра C_T для жестких шин

Система легирования	Материал проводника или марка сплава	Значение C_T , $A \cdot c^{1/2}/mm^2$, при начальной температуре, °C		
		70	90	120
	Медь	170	-	-
Al	АДО	90	81	68
	АД1Н	91	82	69
	АДОМ, АД1М	92	83	70
Al-Mg-Si	АД31Т1	85	77	64
	АД31Т	82	74	62
	АД33Т1	77	71	59
	АД33Т	74	67	57
	АВТ1	73	66	55
	АВТ	71	63	53
Al-Zn-Mg	1911	71	63	53
	1915, 1915Т	66	60	51
Al-Mg-Mn	АМг5	63	57	48
	Сталь при $\vartheta_{доп} = 400$ °C	70	-	-
	Сталь при $\vartheta_{доп} = 300$ °C	60	-	-

Таблица 10.5 - Значение параметра C_T для проводов

Материал провода	Марка провода	Значение C_T , $A \cdot c^{1/2}/mm^2$, при допустимых температурах нагрева проводов при КЗ, °C		
		160	200	250
Медь	М	-	142	162
Алюминий	А, АКП, Ап, АпКП	76	90	-
Алюминиевый сплав	АН, АНКП	69	81	-
	АЖ, АЖКП	66	77	-
Алюминий-сталь	АСК, АпС, АСКС, АпСКС, АпСК, АС, АСКП	76	90	-

Таблица 10.6 - Значение параметра C_T для кабелей

Характеристика кабелей	Значение C_T , $A \cdot c^{1/2} / \text{мм}^2$
Кабели до 10 кВ:	
с медными жилами	140
с алюминиевыми жилами	90
Кабели 20-30 кВ:	
с медными жилами	105
с алюминиевыми жилами	70
Кабели и изолированные провода с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией:	
с медными жилами	120
с алюминиевыми жилами	75
Кабели и изолированные провода с поливинилхлоридной изоляцией:	
с медными жилами	103
с алюминиевыми жилами	65

10.4. Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость

Проверка электрического аппарата на термическую стойкость при КЗ заключается в сравнении найденного при расчетных условиях значения интеграла Джоуля V_K с его допустимым для проверяемого аппарата значением $V_{\text{ТЕР.ДОП}}$. Электрический аппарат удовлетворяет условию термической стойкости, если выполняется условие

$$V_K \leq V_{\text{ТЕР.ДОП}} \quad (10.13)$$

Для коммутационных аппаратов допустимое значение интеграла Джоуля зависит не только от указываемого заводом-изготовителем нормированного тока термической стойкости проверяемого аппарата $I_{\text{ТЕР.НОРМ}}$, но и от соотношения между расчетной продолжительностью КЗ $t_{\text{ОТКЛ}}$ и предельно допустимым временем воздействия нормированного тока термической стойкости $t_{\text{ТЕР.НОРМ}}$. Если $t_{\text{ОТКЛ}} < t_{\text{ТЕР.НОРМ}}$, то допустимое значение интеграла Джоуля равно

$$V_{\text{ТЕР.ДОП}} = I_{\text{ТЕР.НОРМ}}^2 \cdot t_{\text{ТЕР.НОРМ}} \quad (10.14)$$

поэтому условием термической стойкости коммутационного аппарата является выполнение соотношения

$$B_K \leq I_{\text{ТЕР.НОРМ}}^2 \cdot t_{\text{ТЕР.НОРМ}} \cdot \quad (10.15)$$

Если же $t_{\text{ОТКЛ}} \geq t_{\text{ТЕР.НОРМ}}$, то допустимое значение интеграла Джоуля равно

$$B_{\text{ТЕР.ДОП}} = I_{\text{ТЕР.НОРМ}}^2 \cdot t_{\text{ОТКЛ}} \cdot \quad (10.16)$$

и условием термической стойкости коммутационного аппарата является выполнение соотношения

$$B_K \leq I_{\text{ТЕР.НОРМ}}^2 \cdot t_{\text{ОТКЛ}} \quad (10.17)$$

Проверку электрических аппаратов на термическую стойкость при КЗ допускается также производить путем сравнения термически эквивалентного тока КЗ $I_{\text{ТЕР.ЭК}}$ с допустимым током термической стойкости $I_{\text{ТЕР.ДОП}}$. Электрический аппарат обладает термической стойкостью, если выполняется условие

$$I_{\text{ТЕР.ЭК}} \geq I_{\text{ТЕР.ДОП}} \quad (10.18)$$

Для коммутационных аппаратов допустимый ток термической стойкости зависит не только от их нормированного тока термической стойкости, но и от соотношения между расчетной продолжительностью КЗ и предельно допустимым временем воздействия нормированного тока термической стойкости. Если $t_{\text{ОТКЛ}} > t_{\text{ТЕР.НОРМ}}$, то условием термической стойкости аппарата является выполнение соотношения

$$I_{\text{ТЕР.ЭК}} \leq I_{\text{ТЕР.НОРМ}} \sqrt{\frac{t_{\text{ТЕР.НОРМ}}}{t_{\text{ОТК}}}} \quad (10.19)$$

Если же $t_{\text{ОТКЛ}} < t_{\text{ТЕР.НОРМ}}$, то условием термической стойкости аппарата является выполнение соотношения

$$I_{\text{ТЕР.ЭК}} \leq I_{\text{ТЕР.НОРМ}} \cdot \quad (10.20)$$