

## Задание 8

### Расчет зануления

#### Указания к решению и исходные данные

Зануление состоит в соединении корпусов токоприемника или другого оборудования, которое может оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции, с нулевым проводом при помощи металлических проводников. Зануление превращает пробой на корпус в однофазное короткое замыкание, при котором большой ток короткого замыкания обеспечивает быстрое отключение поврежденных фаз автоматическими устройствами или за счет перегорания плавких предохранителей.

При расчете зануления проверяют условие обеспечения отключающей способности зануления:

$$I_{\text{к.з.}} \geq 3I_{\text{п.в.}}^{\text{н}}, \quad (24)$$

где  $I_{\text{к.з.}}$ ,  $I_{\text{п.в.}}^{\text{н}}$  - соответственно, ток короткого замыкания в электрической цепи «фаза-нуль» и номинальный ток плавкой вставки, А.

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{T}}}{3} + Z_{\text{II}}}, \text{ А}, \quad (25)$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение, В;

$Z_{\text{II}}$  - полное сопротивление электрической цепи «фаза-нуль» без учета сопротивления трансформатора, Ом;

$Z_{\text{T}}$  - полное сопротивление трансформатора, Ом (см. табл. 18).

Значение  $Z_{\text{II}}$  рассчитывают по формуле:

$$Z_{\text{II}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{H}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{H}} + X_{\text{И}})^2}, \text{ Ом}, \quad (26)$$

где  $R_{\phi}$  и  $R_{\text{H}}$  - активные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом;

$X_{\Phi}$  и  $X_{H}$  – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом;

$X_{И}$  – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом (принимается из расчета 0,6 Ом на 1 км протяжения сети).

Таблица 18

**Значения расчетных полных сопротивлений  $Z_T$  обмоток  
масляных трехфазных трансформаторов**

Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высокого напряжения, кВ	$Z_T$ при схеме соединения обмоток, Ом		Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высокого напряжения, кВ	$Z_T$ при схеме соединения обмоток, Ом	
		звездой	треугольником			звездой	треугольником
25	6-10	3,110	0,906	250	6-10	0,312	0,090
40	6-10	1,949	0,562	400	6-10	0,195	0,056
63	6-10	1,237	0,360	630	6-10	0,129	0,042
100	6-10	0,799	0,226	1000	6-10	0,081	0,027
160	6-10	0,487	0,141	1600	6-10	0,054	0,017

Расчет ведут в следующем порядке:

- определяют номинальный ток для заданного типа электродвигателя в соответствии с табл. 19;

Таблица 19

**Закрытые обдуваемые двигатели единой серии 4А  
на фазное напряжение 380 В**

Тип	Мощность, кВт	$\cos \alpha$	$K = \frac{I_{\Pi}}{I_{H}}$	Тип	Мощность, кВт	$\cos \alpha$	$K = \frac{I_{\Pi}}{I_{H}}$
4A80A2	1,5	0,85	6,5	4A132M2	10	0,90	7,5
4A90L2	3,0	0,88	6,5	4A1602	15	0,91	7,5
4A1002	4,0	0,89	6,5	4A18082	22	0,91	7,5
4A100L2	5,5	0,89	7,5	4A200M2	30	0,90	7,5
4A112M2	7,5	0,88	7,5	4A225M2	45	0,90	7,5

$$I_H = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \alpha}, \text{ A,}$$

где  $P$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_H$  – номинальное напряжение, В;

$\cos \alpha$  – коэффициент мощности.

- определяют пусковой ток двигателя:

$$I_{\Pi} = K \cdot I_H,$$

где  $K$  – кратность пускового тока по отношению к номинальному (см. табл. 19);

- определяют номинальный ток плавкой вставки:

$$I_{\text{п.в.}}^H = \frac{I_{\Pi}}{\alpha},$$

где  $\alpha$  – коэффициент режима работы электродвигателя;

\*  $\alpha = 1,6 - 2,5$  (меньшие значения для двигателей с частыми включениями, большие – с редкими включениями);

- находят ожидаемое значение тока короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з.}} \geq 3I_{\text{п.в.}}^H;$$

- рассчитывают плотность тока  $\delta$  в нулевом проводе:

$$\delta = \frac{I_{\text{к.з.}}}{S}, \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}, \quad (27)$$

где  $S$  – сечение нулевого провода,  $\text{мм}^2$ .

- по заданным размерам сечения проводников и найденным по формуле (27) плотностям тока в нулевом и фазном проводе находят их активные и индуктивные сопротивления:

$$R_{\Phi} = r_{\Phi} \cdot l_{\Phi}, \text{ Ом};$$

$$R_H = r_H \cdot l_H, \text{ Ом};$$

$$X_{\Phi} = X_{\text{w}\Phi} \cdot l_{\Phi}, \text{ Ом};$$

$$X_H = X_{\text{w}H} \cdot l_H, \text{ Ом},$$

где  $r_{\Phi}$ ,  $r_H$ ,  $X_{W\Phi}$ ,  $X_{WH}$  – табличные значения (см. табл. 18) активных и индуктивных сопротивлений стальных проводников,  $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ ;

$l_{\Phi}$ ,  $l_H$  – длины фазного и нулевого проводников, м.

- по формулам (26) и (27) находят значения  $Z_{\Pi}$  и  $I_{K.3}$  и проверяют условие надежного срабатывания защиты по неравенству (24).

Варианты расчетных задач следует принимать в соответствии с табл. 20.

Таблица 20

**Активные и индуктивные сопротивления стальных проводников при переменном токе**

Размеры сечения или диаметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Активные/индуктивные сопротивления, Ом/км при плотности тока, А/мм <sup>2</sup>			
		0,5	1,0	1,5	2,0
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Полоса прямоугольного сечения					
20x4	80	5,24/3,14	4,20/2,52	3,48/2,09	2,97/1,78
30x4	120	3,66/2,20	2,91/2,75	2,38/1,43	2,04/1,22
40x4	160	2,80/1,68	2,24/1,34	1,81/1,08	1,54/0,92
50x4	200	1,77/1,06	1,34/0,80	1,08/0,65	-
60x4	240	3,83/2,03	2,56/1,54	2,08/1,25	-
30x5	150	2,10/1,26	1,60/0,96	1,28/0,77	-
50x5	250	2,02/1,33	1,51/0,89	1,15/0,70	-
Проводник круглого сечения					
5	19,63	17,0/10,2	14,4/8,65	12,4/7,45	10,7/6,40
6	28,27	13,7/8,20	11,2/6,70	9,40/5,65	8,00/4,80
8	50,27	9,60/5,75	7,50/4,50	6,40/3,84	5,30/3,20
10	78,54	7,20/4,32	5,40/3,24	4,20/2,52	-
12	113,10	5,60/3,36	4,00/2,40	-	-
14	150,90	4,55/2,73	3,20/1,92	-	-
16	201,10	3,72/2,23	2,70/1,60	-	-

## Исходные данные для расчета зануления

№ варианта	Мощность трансформатора, кВа	Схема соединения обмоток	Тип электродвигателя	Сечение проводников, мм		Длина проводников, м	
				нулевого $b \times h$	фазного $d$	нулевого	фазного
1	2	3	4	5	6	7	8
2	40	треугольником	4A90L2	20 x 4	5	75	50