

## 1.4 Расчет заземляющего устройства

Требуется выполнить расчёт параметров устройства точечного заземления нейтрали генератора ДГУ.

Сопrotивление отдельного заземляющего устройства  $R_3$  не должно превышать **4 Ом** в соответствии с требованиями п. 1.7.101 ПУЭ 7. По данным изысканий, с учетом промерзания (сведения п. 2 РД шифр 840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-КР.ПЗ на основании технического отчёта, ООО "ГеоНорд", скважина 1) принимаем удельное усредненное сопротивление грунта :  
 для горизонтального заземлителя - насыпные грунты: суглинки тяжёлые, пылеватые со строительным мусором, полутвёрдые  $\rho = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$   
 для вертикального электрода  $\rho = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  - суглинки тяжёлые, пылеватые, тугопластичные / суглинки лёгкие, пылеватые, текучие / суглинки пылеватые, ленточные, мягкопластичные, слоистые.

Для устройства заземления принимаем:  
 вертикальные электроды длиной **21 м** (сталь круглая, диаметр 16,0 мм);  
 горизонтальный заземлитель – стальная полоса сечением 6х40 мм длиной **2 м**

Сопrotивление одного вертикального электрода:

$$r_B = 0,366 \left( \lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right) / (\Delta l_1 / \rho_1 + \Delta l_2 / \rho_2) = \frac{0,366 \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{\Delta l_1 \cdot \rho_2 + \Delta l_2 \cdot \rho_1} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right) / (\Delta l_1 / \rho_1 + \Delta l_2 / \rho_2) =$$

$$= \frac{0,366 \cdot 9000}{3120} \left( \lg \frac{2 \cdot 21}{1,00 \cdot 0,016} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 11,2 + 21}{4 \cdot 11,2 - 21} \right) = 3,8 \text{ Ом}$$

где  $d = 16,0 \text{ мм}$  - диаметр стержневого электрода,

$t$  – глубина заложения электрода равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода.

$\Delta l_1$  - часть электрода, находящаяся в верхнем слое земли = 2 м;  
 $\Delta \rho_1$  - удельное сопротивление земли в верхнем слое = 150 Ом;  
 $\Delta l_2$  - часть электрода, находящаяся в нижнем слое земли = 20 м;  
 $\Delta \rho_2$  - удельное сопротивление земли в нижнем слое = 60 Ом.

Для соединения заземляющего устройства с металлическими конструкциями системы выравнивания потенциалов и ГЗШ ближайшего стационарного сооружения исп. стальная соединит. полоса.

Сопrotивление 2-х соединительных полос:

общая длина конструктивно составляет  $L = 4 \text{ м}$

$$r_G = \frac{0,366 \cdot \rho}{l} \lg \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} =$$

$$= \frac{0,366 \cdot 150}{4} \cdot \lg \frac{2 \cdot (4)^2}{0,04 \cdot 0,7} = 42,0 \text{ Ом}$$

где:  $t$  – глубина заложения стальной полосы, м;  $b$  – ширина полосы, м.

Общее сопротивление заземляющего устройства составит:

$$R_3 = \frac{r_B \cdot r_G}{r_B + r_G} = \frac{3,8 \cdot 42,0}{3,8 + 42,0} = 3,5 \text{ Ом}$$

Влияние соединительной полосы на общее сопротивление проектируемого заземляющего устройства не учитывается, т.к. возможное увеличение общего сопротивления из-за взаимного влияния распределения электрических полей компенсируется уменьшением за счёт увеличения контактной поверхности стекания тока "на землю".

Для обеспечения значения  $R_3$  не более **4,0 Ом** достаточно одного вертикального электрода.

По конструктивным особенностям заземляющее устройство выполняется с использованием 1-го вертикального электрода.

						840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР	Лист
						(окончание)	7
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подпись	Дата		

Список литературы

1. Беляев А.В. Выбор аппаратуры защит и кабелей в сетях 0,4 кВ.
2. Правила устройства установок. ПУЭ изд.6 с изм. и доп., изд. 7.
3. ГОСТ Р 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
4. Карпов Ф.Ф. Справочник по расчёту кабелей и проводов.

						840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР	Лист
						(окончание)	8
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подпись	Дата	Расчеты (окончание)	

# 1. Уставки электрических защит резервного дизель-генераторного агрегата щита АВР котельной по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 14, корп. 2, лит. А

## 1.1 Питание щита АВР от резервного дизель-генератора

Проектом предусматривается подключение к шинам 0,4 кВ щита АВР в качестве резервного источника питания стационарной дизельной электростанции GMGen GMM22, 16кВт/20кВА производства компании "GMGen Power Systems" резервной мощностью 17,2 кВт. Дизельная электростанция комплектуется двигателем "Mitsubishi" (Япония). Генераторная установка "Месс Alte" (Италия) ECP28-M/4A. Для расчётов используются заводские (паспортные) данные установки, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Расчётные параметры генератора

$P_n$	$S_n$	$U_n$	$\cos \varphi_n$	$X'_d$	$X''_d$
кВт	кВА	В	-	о.е.	о.е.
17,2	21,5	400	0,8	0,146	0,0836

$X_d$	$X_2$	$X_0$	ОКЗ	$I_n$	$T''_d$
о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	А	с
1,57	0,125	0,034	0,64	31,1	0,014

При питании от генератора ток к.з. меняется с течением времени. Для расчетов защит важно знать ток трехфазного к.з. при  $t = 0$  и  $t = \infty$ . Значения сверхпереходных токов  $I_{к0R}^{(3)}$  в сети 0,4 кВ находим расчетным путем [2], [3].

$$I_{к0R}^{(3)} = \frac{E_0}{\sqrt{3 \cdot Z_{\Sigma}}},$$

$$\text{где } E_0 = E''_{|0|} = \sqrt{(U_{|0|} \pm I_{|0|} X''_d \sin \varphi_{|0|})^2 + (I_{|0|} X''_d \cos \varphi_{|0|})^2};$$

$$U_{|0|} = U_{н.г.};$$

840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР						
Модернизация котельной в части установки стационарной дизель-генераторной установки по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д.14, корп.2, лит.А						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док	Подп.	Дата	
Разраб.	Старченко				05.19	
Проверил	Кокорина				05.19	
Гл. спец.	Кокорина				05.19	
Н.контр	Грунев				05.19	
ГИП	Мякота				05.19	
Электроснабжение. Дизель-генераторная установка				Стадия	Лист	Листов
				Р	1	7
Расчеты (начало)				ЗАО «СПб Институт Теплоэнергетики»		

Можно, с приемлемой для электротехнических расчётов точностью, воспользоваться упрощённым выражением:

$$E_0 = (1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{н.з.}) \cdot U_{н.з.} = (1 + 0,16 \cdot 0,6) \cdot 0,4 = 0,44 \text{ кВ} \quad - \text{сверхпереходная э.д.с. генератора, здесь операнды в скобках даны в относительных единицах или } E_{*0} = 1,09.$$

$Z_{\Sigma} = \sqrt{(x_{\Sigma}^2 + (r_{\Sigma} + R_{II})^2)} = \sqrt{(x_k + x_2)^2 + (r_k + r_2 + R_n)^2}$  - расчетное сопротивление до точки к.з.,  $X_{Г}$ ,  $\Gamma_{Г}$  - внутренние индуктивное и активное сопротивления генератора в условиях меж-

дуфазного к.з. в питаемой сети (табл.2),  $x_2 = x_d'' \times \frac{U_{н.з.}^2}{S_{н.з.}} = 0,13 \times \frac{0,4^2}{0,04} = 0,52 \text{ Ом}$  - сверхпереходное

продольное реактивное сопротивление,  $X_k$ ,  $\Gamma_k$  - суммарное индуктивное и активное сопротивления кабелей внешней сети до точки повреждения,  $\Gamma_{Г} \approx 0$  активное сопротивление статора генератора,  $R_n = 15 \text{ мОм}$  - переходное сопротивление дуги в месте к.з.

Установившиеся токи к.з. находятся по расчетным кривым. При этом используются кривые [2], [3] для генераторов малой мощности с АРВ и системой самовозбуждения.

Выполнен расчет токов однофазных к.з. при питании от резервного дизель-генератора на основании предоставленных данных о технических параметрах генератора. Значения токов однофазных к.з. в расчётных точках сети 0,4 кВ приведены в табл. 3, а 3-х фазных к.з. - в табл. 2.

Таблица 2

Расчет токов 3-х фазного к.з. в характеристических точках сети 0,4 кВ котельной при питании от резервного дизель-генератора

Точка к.з.	$r_{\Sigma} + R_{II}$	$x_{\Sigma}$	$Z_{\Sigma}$	$I_{к0R}^{(3)} = \frac{E_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}$	$Z_{расч.*} = Z_{\Sigma} \cdot \frac{S_{НГ}}{U_{ср}^2}$	$I_{к*∞R}^{(3)}$	$I_{к*∞R}^{(3)} = I_{к*∞R}^{(3)} \cdot I_{НГ}$
	МОм	МОм	МОм	кА	о.е.	о.е.	кА
Выводы ДГУ	15,0	622,2	622,3	0,405	0,083	3,6	0,1123
Шины щита АВР (проект.)	61,1	623,2	626,2	0,402	0,084	3,58	0,1112
Шины щита УВР	84,2	623,8	629,4	0,400	0,085	3,56	0,1103
Клеммы ЭД НА	207,2	625,0	658,5	0,383	0,089	3,55	0,110

Расчет токов однофазного к.з. в характеристических точках сети 0,4 кВ котельной при питании от резервного дизель-генератора

Точка к.з	$X''_{г1}$	$X_{г2}$	$X_{г0}$	$Z_{г1}/3$	$Z_{г1}/3 + Z_{пт}$	$I^{(1)}_{к0R}$	Прим.
	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	кА	
Выводы ДГУ	622,2	930,2	253	601,9	601,9	0,384	
Шины щита АВР (проект.)	-	-	-	-	589,1	0,325	
Шины щита УВР	-	-	-	-	632,5	0,302	
Клеммы ЭД НА	-	-	-	-	750,1	0,218	

### 1.2 Уставки защит выключателя 2QF резервного ввода щита АВР

На вводе напряжения от генератора установлен автоматический выключатель Com-pact NSX100N производства «Merlin Gerin», с электронным максимальным расцепителем тока Micrologic 5.2A на номинальный ток  $I_n = 40$  А.

Диапазон уставок защит:

- расцепитель  $I_R = (0,4-0,5-0,6-0,7-0,8-0,9-0,95-0,98-1) \cdot I_n$ ,  
время срабатывания  $t_R = (0,5-1-2-4-8-16)$  с при  $6 \cdot I_R$ ;
- селективная токовая отсечка  $I_{sd} = (1,5-2-3-4-5-6-8-10) \cdot I_R$ ,  $t_{sd} = (0-0,1-0,2-0,3-0,4)$  с при  $I^2 t$  – «on»/«off» ;
- токовая отсечка  $I_i = (1,5-2-3-4-5-6-8-10-11-12-13-14-15) \cdot I_n$ ;
- защита от замыкания на землю\*\*  $I_h = (0,2-0,3-0,4-0,5-0,6-0,7-0,8-1) \cdot I_n$ ,  
время срабатывания  $t_h = 0-0,1-0,2-0,3-0,4$  с.

Согласно данным из альбома РД шифр 840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС,

\*\* - Функция доступна в случае оснащения аппарата расцепителем Micrologic 6.2

						840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР (продолжение)	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док	Подп.	Дата		3

максимальная расчётная мощность наружки, питаемой от стационарной резервной дизельной электростанции составляет 16 кВА (14,2 кВт) и соответствует разрешенной к присоединению по Договору на электроснабжение мощности электроустановки.

Значению расчетного тока при  $\cos\varphi = 0,89$ :

$$I_p = P_p / (1,73 \cdot U_n \cdot \cos\varphi) = 14,2 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,89) = 25 \text{ А.}$$

Ток срабатывания селективной токовой отсечки (МТЗ 2-й ступени) определяется из условия отстройки от максимального рабочего тока с учетом самозапуска и переходных процессов:

$$I \gg I_{c.3.2} = k_n k_{c3n} I_{\text{раб.макс.}} / k_\phi = 1,15 \cdot 2,4 \cdot 25 / 0,99 = 69,7 \text{ А}$$

где  $k_n$  – коэффициент несрабатывания (запаса)  $k_n = 1,15$ ;

$k_\phi$  – коэффициент возврата цифрового реле  $k_\phi = 0,99$ ;

$k_{c3n}$  – коэффициенту самозапуска, с учётом преобладания в составе нагрузки электродвигателей центробежных насосов с вентиляторной характеристикой, присваивается значение  $k_{c3n} = 2,4$ .

Принимаются следующие уставки:

- защиты от перегрузок  $I_R = 0,7 \cdot I_n = 0,7 \cdot 40 = 30 \text{ А}$ ,  $t_R = 1,0 \text{ с}$ ;
- селективная токовая отсечка  $I_m = 2,5 \cdot I_R = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ А}$ ,  $t_m = 0,3 \text{ с}$  при  $I^2 t$  – «off»;
- токовая отсечка  $I_i = 15 \cdot I_n$  (не используется);
- от замыканий на землю  $I_n = 1 \cdot I_n$ ,  $t_n = 0,4 \text{ с}$  в зоне  $I^2 t$  – «off» (не используется).

Чувствительность МТЗ к минимальным токам к.з. при питании щита АВР от ДГУ (при  $Z_{\text{расч}} < 0,65$   $I_{\text{к мин}} = I_{\text{к } \infty R}^{(3)}$ )

$$\text{– при } I_{\text{к } \infty}^{(3)}, k^{(3)}_{\text{ч } \infty} = 110 \text{ А} / 75 \text{ А} \approx 1,5$$

$k^{(1)}_{\text{ч } \infty}$  соответствует требованиям глав 3.2, 5.3 ПУЭ [1], т.е. защита пригодна для выявления и ликвидации случаев установившегося 3-х фазного КЗ в основной и резервируемой зонах охвата.

Время отключения минимальных расчётных ТКЗ составит 0,3 с, что соответствует требованиям ПУЭ изд. 7 п. 1.7.79 (в системе TN, в цепях, питающих распределительные и др. щиты и щитки, допустимое время отключения не должно превышать 5 сек. при фазном напряжении в питающей сети  $U_\phi = 220 \text{ В}$ ).

						840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР (продолжение)	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док	Подп.	Дата		4

### 1.3 Уставки токовых защит генератора

Для аппаратной защиты генератора дизельной электростанции в штатной комплектации используется автоматический выключатель iC60N модульного типа с характеристикой “С”  $I_n = 32$  А. Помимо этого, существует возможность реализации настраиваемых на панели управления GMCA20-04 защит от сверхтоков, действие которых приводит к срабатыванию сигнализации и(или) аварийному останову агрегата.

В соответствии с расчётными значениями ТКЗ (таблицы 2, 3 п. 1.1) и мощности подключаемой нагрузки (см. альбом РД шифр 840/РУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС), величины уставок основных токовых защит рекомендуется принять следующими:

Уставка защиты по перегрузке рассчитывается по согласованию с рабочим током ДГУ  $I_p = 32$  А.

Ток срабатывания селективной токовой отсечки (МТЗ 2-й ступени) определяется из условия отстройки от максимального рабочего тока, самозапуска и переходных процессов:

$$I_{>>} = I_{c.3.2} = k_n k_{c3n} I_{раб. макс.} / k_g = 1,15 \cdot 2,4 \cdot 31,1 / 0,99 = 86,7 \text{ А}$$

где  $k_n$  – коэффициент несрабатывания (запаса)  $k_n = 1,15$ ;

$k_g$  – коэффициент возврата цифрового реле  $k_g = 0,99$ ;

$k_{c3n}$  – коэффициенту самозапуска, с учётом согласования с защитой выключателя аварийного ввода щита АВР, присваивается значение  $k_{c3n} = 2,4$ .

Предварительно:

- защита от перегрузок  $I_R = 32$  А;
- селективная токовая отсечка  $I_{sd}^* = 96$  А,  $t_{sd}^* = 0,8$  с.

Чувствительность МТЗ к минимальным токам к.з. при питании щита АВР от ДГУ (при  $Z_{расч}^* < 0,65$   $I_{к мин} = I_{к\infty R}^{(3)}$ )

– при  $I_{к\infty}^{(3)}, k_{ч\infty}^{(3)} = 111,2 \text{ А} / 96 \text{ А} \approx 1,1$ , что не вполне соответствует требованиям глав 3.2, 5.3 ПУЭ [1] для эффективных токовых защит.

С учётом специфики работы генератора малой мощности на “близкие” междуфазные к.з., значение уставки селективной токовой отсечки корректируется:

$$I_{sd} = 2,5 \cdot I_R = 2,5 \cdot 32 = 80 \text{ А.}$$

\* - при наличии технической возможности

						840/РУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР (продолжение)	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док	Подп.	Дата		5

Тогда чувствительность МТЗ к минимальным токам к.з. при питании щита АВР от ДГА (при  $Z_{расч} < 0,65 I_{к мин} = I_{к∞ R}^{(3)}$ ) определится следующим образом:

$$- \text{при } I_{к∞}^{(3)}, k^{(3)}_{ч∞} = 111,2 \text{ А} / 80 \text{ А} \approx 1,4$$

$k^{(1)}_{ч∞}$  соответствует требованиям глав 3.2, 5.3 ПУЭ [1] для использования данной ступени МТЗ в качестве резервной. Повышение чувствительности за счёт меньших значений  $I_{sd}$  нежелательно в связи с большим содержанием двигательной нагрузки.

Время отключения минимальных расчётных ТКЗ составит 0,8 с, что соответствует требованиям ПУЭ изд. 7 п. 1.7.79 (в системе TN, в цепях, питающих распределительные и др. щиты и щитки, допустимое время отключения не должно превышать 5 сек. при фазном напряжении в питающей сети  $U_{ф} = 220 \text{ В}$ ).

Выключатель ввода напряжения существующего щита УВР рекомендуется заменить на Compact NSX100N с Micrologic 5.2А с номинальным током  $I_n = 40 \text{ А}$  и

следующими уставками:

- защиты от перегрузок  $I_R = 0,7 \cdot I_n = 0,7 \cdot 40 = 28 \text{ А}$ ,  $t_R = 0,5 \text{ с}$ ;
- селективная токовая отсечка  $I_{sd} = 2,5 \cdot I_R = 2,5 \cdot 28 = 70,0 \text{ А}$ ,  $t_{sd} = 0,2 \text{ с}$  при  $I^2t - \text{«off»}$ ;
- токовая отсечка  $I_i = 15 \cdot I_n$  (не используется).

Время отключения минимальных расчётных ТКЗ составит 0,2 с, что соответствует требованиям ПУЭ изд. 7 п. 1.7.79 (в системе TN, в цепях, питающих распределительные и др. щиты и щитки, допустимое время отключения не должно превышать 5 сек. при фазном напряжении в питающей сети  $U_{ф} = 220 \text{ В}$ ).

Выключатель защиты линии питания насосного электродвигателя типа Grundfoss MG100L B4-28FF215-D1 рекомендуется заменить на модульное изделие iC60N C6 производства «Merlin Gerin» для обеспечения соответствия времени отключения минимальных расчётных ТКЗ требованиям ПУЭ изд. 7 п. 1.7.79 (в системе TN допустимое время отключения не должно превышать 0,4 сек. при фазном напряжении в питающей сети  $U_{ф} = 220 \text{ В}$ ).

						840/ПУ-2018-Лесопарк-14-МК-ЭС.РР (продолжение)	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док	Подп.	Дата		6