

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Техносферная безопасность»

РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ

Методические указания к практической работе №12
по дисциплине «**Безопасность жизнедеятельности**»
для студентов всех специальностей и всех форм обучения

Бишкек 2019

Составители: *Жапакова Б.С., Аалымуханбет у. Ж.*

УДК 621.313-83(075)

Расчет защитного зануления: Методическое руководство к практической работе по курсу “Безопасность жизнедеятельности” для студентов всех специальностей и всех форм обучения.

Рецензент доцент, к.т.н Сариев Бактыбек Имангазиевич

Цель работы

1. Изучение метода расчёта систем защитного зануления электроустановок в сетях до 1000 В.
2. Выбор сечения фазных и нулевого проводников линии.
3. Расчет повторного заземления нулевого провода.

Краткие теоретические сведения

Под термином электробезопасность понимается система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрозащитные мероприятия можно разделить на следующие три основные группы:

1. Организационные мероприятия, включающие оформление работ нарядом-допуском.

2. Организационно-технические мероприятия: ограждение токоведущих частей электрооборудования, безопасные режимы работы сети, применение блокировок, защитных средств, сигнализации, переносных заземлителей, плакаты по техники безопасности.

3. Технические меры защиты, предусматривающие:

- защитное заземление;
- защитное зануление и защитное отключение;
- выравнивание потенциалов;
- изоляцию проводников (рабочую, двойную, усиленную);
- контроль и профилактика изоляции, обнаружение её повреждений;
- малое напряжение;
- электрическое разделение сетей;
- защиту от перехода напряжения с высшей стороны на низшую;
- грозозащитную.

Одним из наиболее эффективных электрозащитных средств от нетоковедущих частей, является: автоматическое отключение источника питания (включающее защитное зануление и защитное отключение), которое защищает человека от поражения в условиях неисправности электроустановки – при повреждении или при пробоях изоляции электроустановки на корпус. Данный способ обеспечивает высокий уровень электробезопасности при эксплуатации электроустановок в сетях до 1000В.

Зануление применяют в сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000В.

Назначение зануления - устранение опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к металлическим нетоковедущим частям (корпус оборудования), оказывающимся под напряжением.

Принцип действия защитного зануления заключается в автоматическом отключении поврежденного участка и одновременно в снижении напряжения прикосновения на корпусе оборудования, на время пока не сработает максимальная токовая защита (МТЗ) или автоматическое отключение.

Задача защитного зануления – быстрое и надёжное автоматическое отключение электрооборудования при нарушении изоляции и появлении на корпусах электрооборудования опасного напряжения.

Для решения этой задачи металлические нетоковедущие части электрооборудования (корпус), которые могут оказаться под напряжением, соединяют проводниками с заземлённой нейтральной точкой обмотки источника тока или её эквивалентом (глухозаземлённой нейтралью).

Принципиальная схема работы зануления в сети трёхфазного тока показана на рисунке 1.

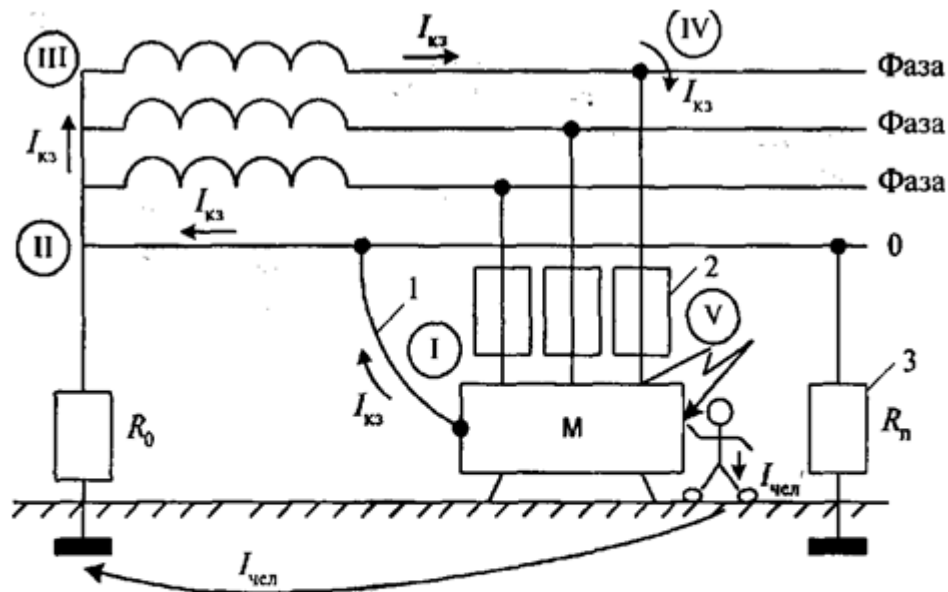


Рис.1 Схема работы зануления

1 — нулевой защитный проводник; 2 — срабатываемый элемент защиты;
3 — повторное заземление нулевого провода

Проводник (1), который соединяет зануляемые части электроустановки с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки трансформатора, называют

нулевым защитным. Назначение этого проводника заключается в создании для тока короткого замыкания электрической цепи с малым электросопротивлением (цепь обозначена на рис.1 цифрами I – II – III – IV – V), чтобы данный ток был достаточен для быстрого отключения повреждения от сети. Это достигается срабатыванием элемента защиты сети от тока короткого замыкания (на рис.1 этот элемент обозначен (2)).

Повторные заземлители (3) применяют для снижения напряженности на корпусе относительно земли в момент прохождения тока короткого замыкания ($I_{кз}$) и особенно при обрыве нулевого защитного проводника. Повторное заземление выполняют путем заземления нулевого защитного проводника на вводе здания и на концах питающей линии электропередачи (ЛЭП). Общее сопротивление повторных заземлителей нулевого защитного проводника должно быть:

$$R_n \leq 5 - 10 - 20 \text{ Ом}, (\text{при } U_{\text{лин}} = 660 - 380 - 220 \text{ В})$$

где: R_n - общее сопротивление повторных заземлителей;

$U_{\text{лин}}$ - линейное напряжение;

Повторное многократное рабочее заземление нулевого защитного проводника делают через каждые 250 м.

Основное требование безопасности к занулению - оно должно обеспечивать надежное и быстрое срабатывание элементов защиты.

Расчет зануления сводится к расчету: на отключающую способность, сопротивления заземления нейтрали (безопасности прикосновения к корпусу при замыкании фазы на землю) и сопротивления повторного заземления нулевого защитного проводника (безопасность прикосновения к корпусу при замыкании фазы на корпус).

Для надежного и быстрого отключения необходимо, чтобы ток короткого замыкания $I_{кз}$ превосходил номинальный ток срабатывания защиты:

$$I_{кз} \geq k \cdot I_{ном} ,$$

где k – коэффициент кратности номинального тока;

$I_{ном}$ – номинальный ток плавкой вставки или ток вставки автомата, А.

Коэффициент k нормируется с учетом заводской токовременной характеристики отключающего аппарата. Время срабатывания плавких вставок предохранителей и тепловых расцепителей автоматов обратно пропорционально току.

Автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем обеспечивает отсечку мгновенного действия за 0,01 с.

В соответствии с ПУЭ коэффициент k должен быть равен в помещениях с нормальными условиями не менее $k=3$ – при защите предохранителями или автоматами, имеющими тепловой расцепитель с обратной зависимой от тока характеристикой;

$k=1,4$ – для автоматов с номинальным током до 100 А с электромагнитным расцепителем;

$k=1,2$ – для прочих автоматов;

Сила тока короткого замыкания $I_{кз}$ зависит от фазного напряжения сети U_ϕ и сопротивлений цепи; от полных сопротивлений трансформатора Z_T , фазного проводника Z_ϕ , нулевого защитного проводника $Z_{н.з.}$, внешнего индуктивного сопротивления петли (контура) фазный проводник – нулевой защитный проводник (петли фаза-нуль) X_Π , а также от активных сопротивлений заземленной нейтрали обмоток источника (трансформатора) R_o и повторного заземления нулевого защитного проводника R_Π .

При расчете зануления допустимо применять приближенную формулу для вычисления действительного значения (модуля) тока короткого замыкания I_k , A , в которой модули сопротивлений трансформатора и петли фаза-нуль Z_T и Z_Π , Ом, складываются арифметически:

$$I_{кз} = \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + Z_\Pi}.$$

Некоторая неточность (около 5 %) этой формулы ужесточает требования безопасности и поэтому считается допустимой.

Полное сопротивление петли фаза-нуль в действительной форме (модуль) равно:

$$Z_\Pi = \sqrt{(R_\phi + R_{н.з.})^2 + (X_\phi + X_{н.з.} + X_\Pi)^2}.$$

Задача расчета – подобрать сечение нулевых защитных проводов таким образом, чтобы удовлетворялось неравенство:

$$k \cdot I_{ном} \leq \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + \sqrt{(R_\phi + R_{н.з.})^2 + (X_\phi + X_{н.з.} + X_\Pi)^2}}.$$

Таким образом, расчет зануления на отключающую способность является проверочным расчетом правильности выбора проводимости петли фаза-нуль.

Пример. Рассчитать систему защитного зануления для трёхфазной четырёхпроводной линии напряжением 380/220 В, питающей электродвигатель.

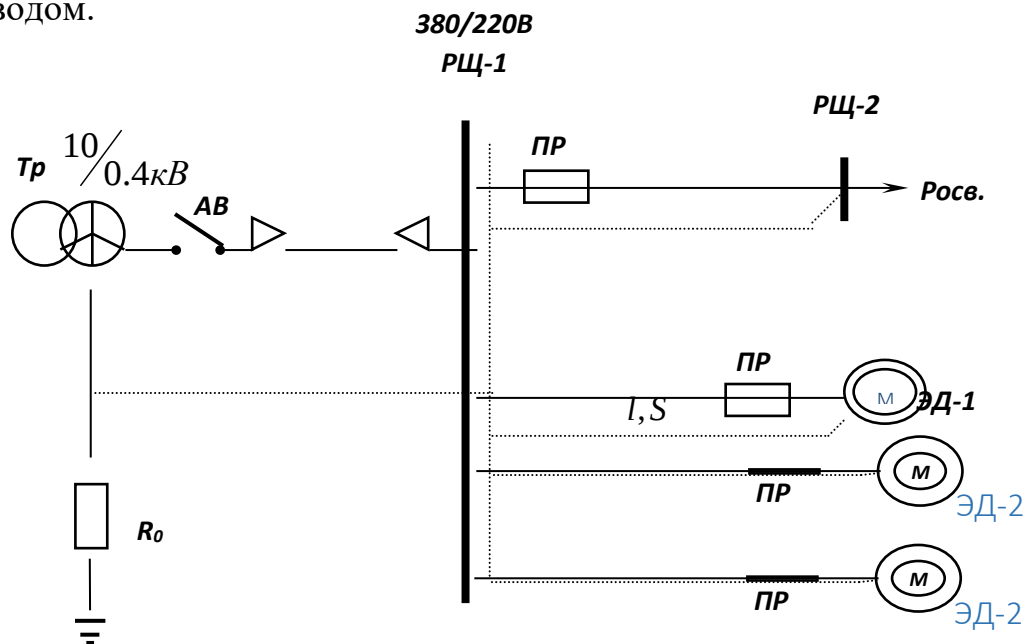
Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
мощность трансформатора, $N_{тр}$, кВА	100	250	1000	400	600
мощность эл.двигателя, P , кВт	48	65	55	60	30
тип металла проводников	Cu	Al	Cu	Al	Cu
длина линии, L , м	100	150	200	130	180
кпд электродвигателя, $\eta_{эд}$, %	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90
коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,86	0,84	0,89	0,88	0,85
Сопротивление основного заземлителя, R_0 , Ом	4	4	4	4	4

Решение:

1. Составляется электрическая схема зануления трехфазного электродвигателя напряжением до 1 кВ. Принимается четырехпроводная схема с нулевым защитным проводом.



2. Рассчитывается номинальный ток электродвигателя

$$I_{н.эл.дв.} = \frac{1000P}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi}, \quad (A) \quad (1)$$

где P – номинальная мощность двигателя, кВт;

U_n – номинальное напряжение, В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

3. Расчет пускового тока электродвигателя

$$I_{эл.дв.}^{пус} = I_{эл.дв.}^H \cdot \beta, \quad (A) \quad (2)$$

где $I_{н.эл.дв.}$ – номинальный рабочий ток электродвигателя, А;

$\beta = 5 \dots 8$ – коэффициент перегрузки ($I_{пус}/I_n$).

4. Плавкие вставки предохранителей подбирают по расчётному значению номинального тока $I_{пл.вст}^H$ (табл.2), при этом должно соблюдаться условие (1). Значение номинального тока определяется по выражению:

$$I_{пл.вст}^H = \frac{I_{эл.дв.}^{пус}}{\alpha}, \quad (A) \quad (3)$$

где $I_{эл.дв.}^{пус}$ – пусковой ток электродвигателя, А;

α – коэффициент режима работы.

Для асинхронных двигателей $\alpha = 1,6 \dots 2,5$; для двигателей с частыми включениями (крановые двигатели) $\alpha = 1,6 \dots 1,8$; для двигателей, приводящих в действие механизмы с редкими пусками (конвейеры, вентиляторы), $\alpha = 2 \dots 2,5$.

5. Выбор номинального тока плавкой вставки $I_{ном.пл}$ из следующего ряда - при $I_{пл} < 10$ (А)- выбирается большее значение с округлением до целого, при $I_{пл} \geq 10$ (А) - выбирается большее значение с округлением до целой 5 или 10.

Значения $I_{пл.вст}^H$ стандартных предохранителей для сетей напряжением 380/220 В

Таблица 2

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, А
НПИ 15	6; 10; 15
НПН60М	20; 25; 35; 45; 60
ПН2-100	30; 40; 50; 60; 80; 100
ПН2-250	80; 100; 120; 150; 200; 250

6. Выбор ориентировочной плотности тока в фазных проводах:
 $j = 3 \text{ А/мм}^2$ – для медных проводов, $j = 2 \text{ А/мм}^2$ – для алюминиевых проводов.
 Расчет ориентировочного сечения фазных проводов $s_{\phi} = I_{\text{эд}} / j \text{ мм}^2$.

Выбор стандартного сечения фазных проводов S_{ϕ} проводится из следующего ряда: 1; 1,5; 2; 2,5; 4; 6; 8; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 130; 150; 170 мм^2 . Выбирается сечение по рассчитанному s_{ϕ} с округлением до ближайшего большего значения из этого ряда. Для Al проводов минимальное сечение составляет 2,5 мм.

7. Сечение нулевого проводника и его материал выбираются из условия, чтобы полная проводимость нулевого провода была не менее 50% полной проводимости фазного провода, то есть соблюдалось условие

$$\frac{1}{(R_{\text{н}} + X_{\text{н}})} \geq \frac{1}{2(R_{\phi} + X_{\phi})} \quad (4)$$

8. Расчет активного сопротивления фазных и нулевого проводов

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot L_{\phi}}{S_{\phi}}, \text{ Ом} \quad (5)$$

$$R_{\text{н}} = \frac{\rho \cdot L_{\text{н}}}{S_{\text{н}}}, \text{ Ом} \quad (6)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника (для меди (Cu) $\rho = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, для алюминия (Al) $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$);

L – длина проводника, м;

S – сечение, мм^2 .

9. Расчет индуктивного сопротивления фазных и нулевого проводов

Значения индуктивных сопротивлений X_{ϕ} и $X_{\text{н}}$ для медных и алюминиевых проводников малы (около 0,0156 Ом/км) и, как правило, при расчётах ими пренебрегают.

10. Внешнее индуктивное сопротивление 1 км петли «фаза – нуль» принимаем

$$X_{\text{п}} = 0,6 \text{ Ом/км, значит } X_{\text{п}} = 0,6 * L \quad (7)$$

11. Расчет полного сопротивления петли «фаза-нуль»

$$Z_{\text{п}} = [(R_{\phi} + R_{\text{н}})^2 + X_{\text{п}}^2]^{0,5}, \text{ Ом} \quad (8)$$

12. Значение $Z_{\text{тр}}$ (Ом), зависит от мощности трансформатора, напряжения и схемы соединения его обмоток, а также конструктивного исполнения трансформатора.

При расчете зануления значение $Z_{\text{тр}}$ берется из табл. 3.

Приближенные значения расчетных полных сопротивлений $Z_{\text{тр}}$ (Ом), обмоток масляных трехфазных трансформаторов, соединенных по схеме Δ/Y .

Таблица3

$N_{тр}, \text{кВА}$	100	160	250	400	630	1000
$Z_T/3, \text{Ом}$	0,226	0,141	0,09	0,056	0,042	0,027

13. Расчет тока $I_{кз}$ (короткого замыкания) на корпус,

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{Z_T/3 + Z_n} \text{ А} \quad (9)$$

14. Проверка условия надежности отключающей способности

$$I_{к.з} \geq k \cdot I_{н.эл.дви.} \quad (10)$$

15. Если ток $I_{кз}$ меньше названных условий, то принимаются большие значения сечений фазных и нулевого проводов S_{ϕ} и S_n на одну ступень (или несколько) из ряда сечений в пункте 9 и расчет повторяется от пункта 11 и до пункта.

Расчет повторного заземления

По выше вычисленным значения R_n , X_n , $I_{к.з}$ и принимая, что количество повторных заземлителей $n = 2$, допустимое напряжение прикосновения $U_{доп} = 65 \text{ В}$; $R_0 = 4 \text{ Ом}$, определяем полное сопротивление нулевого провода,

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + \left(\frac{X}{2}\right)^2} \quad (11)$$

$$R_n = nR_0 \frac{U_{пр}}{I_{кз}Z_n + U_{пр}}, \text{ Ом} \quad (12)$$

Контрольные вопросы

1. Принцип действия зануления.
2. Повторные заземлители, цель и задача.
3. В чем заключается задача защитного зануления?
4. Электрозащитные мероприятия.
5. Оборудование, подлежащее к занулению.

Литература

1. Правила устройства электроустановок М. КНОРУС, 2010.
- ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».
1. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. М. Энергия ,1984.
 2. Найфельд М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности М.: Энергия,1985.
 3. Долин П.А. Техника безопасности в электрических установках М.: Энергия, 1984.
 4. Жакыпов С.Ж. Техника безопасности в электрических установках Кыргызстан,1986.

