

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра безопасности жизнедеятельности

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №2
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»
Тема: ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В
ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Студент гр. 0391

Бысов Ф.Д.

Пушков К.С.

Преподаватель

Санкт-Петербург

2023

Цель работы

- Исследование режимов однофазного прикосновения человека;
- изучение принципа действия зануления;
- ознакомление с опасностями непрямого прикосновения при использовании защитного заземления и зануления.

Основные теоретические положения

Согласно существующим правилам электроустановки напряжением до 1000 В жилых, общественных и промышленных зданий, а также наружные установки, должны получать питание от источника (генератора или трансформатора), как правило, с глухо заземлённой нейтралью.

Системы, состоящие из сети и электроприёмников, условно могут быть обозначены как TN-C, TN-S и TN-C-S. Первая буква означает отношение нейтрали к земле: нейтраль источника соединена с землёй (Т - terra), то есть выполнено рабочее заземление, а вторая буква - отношение корпуса электроприёмника к нейтрали: по существующим правилам электробезопасности он должен быть соединён с нейтралью (N - neutro). Обозначение N-C означает, что нейтральный и защитный провода являются общими; N-S - нейтральный и защитный провода отделены друг от друга (C - commune, S separate); N-C-S - защитный провод на каком-то участке сети отделён от общего. Применение защитного заземления в такой системе запрещено!

Трёхфазные четырёхпроводные сети с заземлённой нейтралью имеют большое экономическое преимущество: наряду с трёхфазными приёмниками напряжением 380 В (станки, насосы, вентиляторы и другое силовое оборудование) от них могут получать питание без применения трансформаторов и однофазные приёмники напряжением 220 В (сети освещения, переносные потребители и т. п.). По условиям электробезопасности данная сеть является не лучшей, поскольку в ней может создаваться целый ряд опасных ситуаций.

Протокол наблюдений
Лабораторная работа №2
Исследование условий электробезопасности в трехфазных сетях с
заземленной нейтралью

Таблицы №1

№ п/п	Значение сопротивления, ОМ					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
1	5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	0
2	5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	28
3	150	150	150	—	—	28	28	27	0	0	28
4	150	150	150	0,05	—	28	29	21	2	3	30
5	150	150	150	0,1	—	28	28	22	1	1	28
6	5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	28
7	5	5	5	—	0,004	16	34	31	10	10	16
8	5	5	5	—	0,1	25	29	25	1,5	1,5	25
9	5	5	5	—	—	0	0	0	0	0	0
10	5	5	5	—	—	28	28	24	13	13	0
11	5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	0
12	5	5	5	—	—	27	28	24	0	24	0
13	5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	0
14	5	5	5	—	—	28	27	24	13	13	0
15	5	5	5	100	—	25	26	0	22	22	0
16	5	5	5	100	—	27	28	24	3	3	0

Студент гр. 0391

Бысов Ф.
Пушков К.

Экспериментальные результаты

1. На рисунке 1 представлена электрическая схема прямого прикосновения в системе TN.

Таблицы №2

Значение сопротивления, ОМ					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	28
150	150	150	—	—	28	28	24	0	0	28

При изменении сопротивления фаз их напряжение не меняется, т.к. сопротивление человека ($R_h = 1$ кОм) меньше фазного сопротивления R_ϕ в опыте (5 кОм).

Рассчитаем напряжение прикосновения:

$$U_h = U_\phi \frac{R_h}{R_0 + R_h} = 28 \frac{1000}{4 + 1000} = 27,9 \text{ В} \approx U_\phi$$

В независимости от значения сопротивления изоляции на человека будет поступать одинаковое напряжение, т.к. сопротивление человека намного превышает сопротивление заземления R_0 ($R_0 = 4$ Ом).

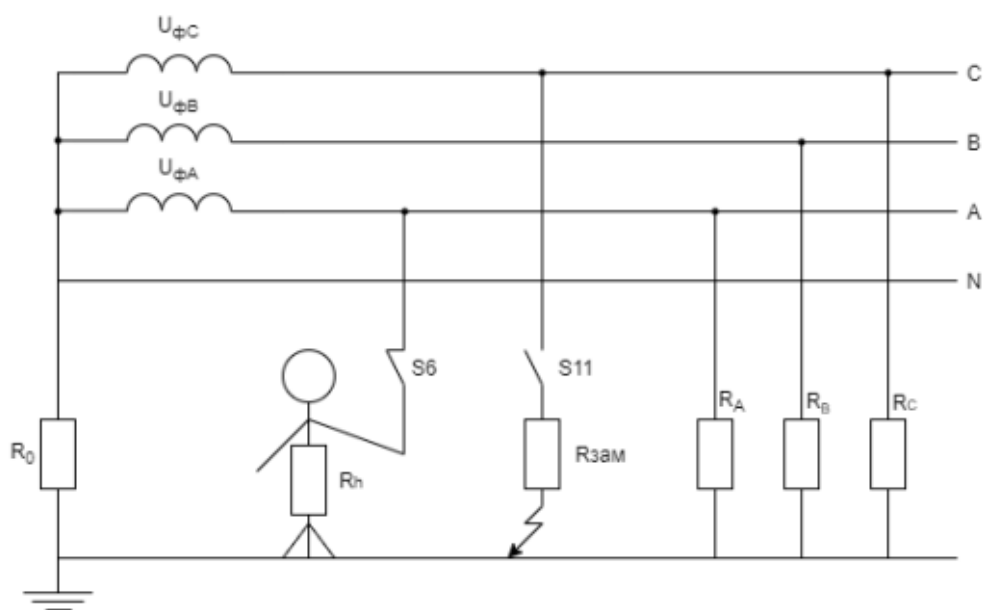


Рис 1 Прямое прикосновение в системе TN

The diagram shows a three-phase power system with phases A, B, and C, and a neutral line N. Each phase has a series impedance (labeled $U_{\phi A}$, $U_{\phi B}$, $U_{\phi C}$) and a shunt load resistor (R_A , R_B , R_C). A human figure is connected between phase A and the neutral line N, with a switch S6 and a resistor R_h in series. Another switch S11 is connected between phase B and the neutral line N, with a resistor $R_{зам}$ in series. A resistor R_0 is connected between the neutral line N and the ground. A lightning bolt symbol indicates a fault on the neutral line N.

В таблице 3 представлены результаты эксперимента при прямом прикосновении при замыкании С на землю.

Значение сопротивления, ОМ					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{\text{зам}}$	$R_{\text{зас}}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
150	150	150	0,05	—	28	29	21	2	3	30

$$U_h \approx \frac{U_\phi(1-a)g_{3aMc} + g_0}{g_{3aMc} + g_0} > U_\phi$$

5

Рассчитаем ток и напряжение прикосновения при $R_{\text{зам}} = 50 \text{ Ом}$:

$$U_h = \frac{U_\phi(1 - a)g_{\text{зам}_C} + g_0}{g_{\text{зам}_C} + g_0} = (30 \frac{1 - \left(-\frac{1}{2} + \frac{j\sqrt{3}}{2}\right) \frac{1}{50} + \frac{1}{4}}{\frac{1}{50} + \frac{1}{4}})$$

$$= \frac{868}{27} - j \frac{31\sqrt{3}}{27}$$

$$|U_h| = \left| \frac{868}{27} - j \frac{31\sqrt{3}}{27} \right| \approx 32.2 \text{ В}$$

$$I_h = \frac{U_h}{R_h} = \frac{32.2}{1000} = 0.0322 \text{ А}$$

3. На рисунке 3 представлена электрическая схема непрямого прикосновения.

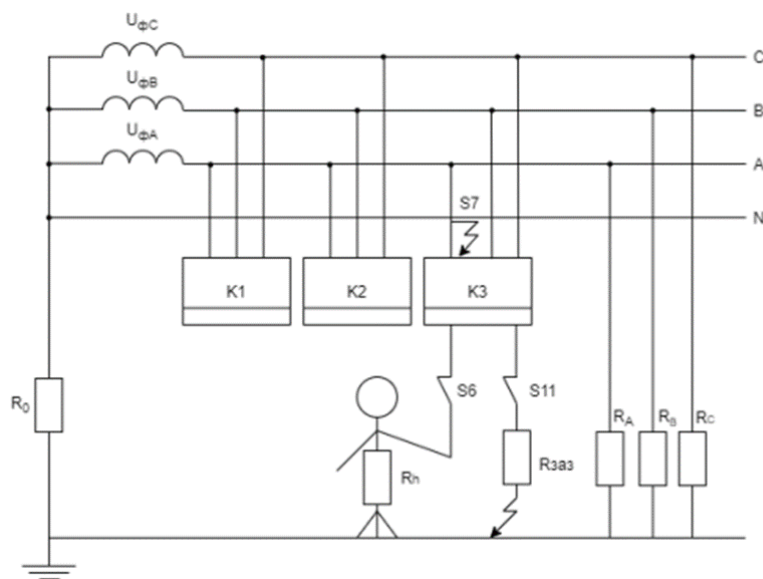


Рисунок 3 – Непрямое прикосновение

В таблице 4 представлены результаты эксперимента при непрямом прикосновении.

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
5	5	5	—	0.004	16	34	31	10	10	16
5	5	5	—	0.1	25	29	25	1.5	1.5	25

При защитном заземлении при $R_{зас} = 4$ Ом напряжение может быть уменьшено максимум в 2 раза. При защитном заземлении при $R_{зас} = 100$ Ом напряжение прикосновения практически не будет отличаться от фазного напряжения.

Рассчитаем напряжение на человеке при непрямом прикосновении при защитном заземлении $R_{зас} = 4$ Ом:

$$U_h = U_\phi \frac{R_{зас}}{R_0 + R_{зас}} = 28 \frac{4}{4 + 4} = 14 \text{ В}$$

Пересчитаем напряжение для случая $U_\phi = 220$ В:

$$U_h = 220 \frac{4}{4 + 4} = 110 \text{ В}$$

Рассчитаем напряжение на человеке при непрямом прикосновении при защитном заземлении $R_{зас} = 100$ Ом:

$$U_h = U_\phi \frac{R_{зас}}{R_0 + R_{зас}} = 28 \frac{100}{4 + 100} = 26,9 \text{ В} \approx U_\phi$$

4. На рисунке 4 представлена электрическая схема при замыкании фазы А на занулённый корпус К1-1.

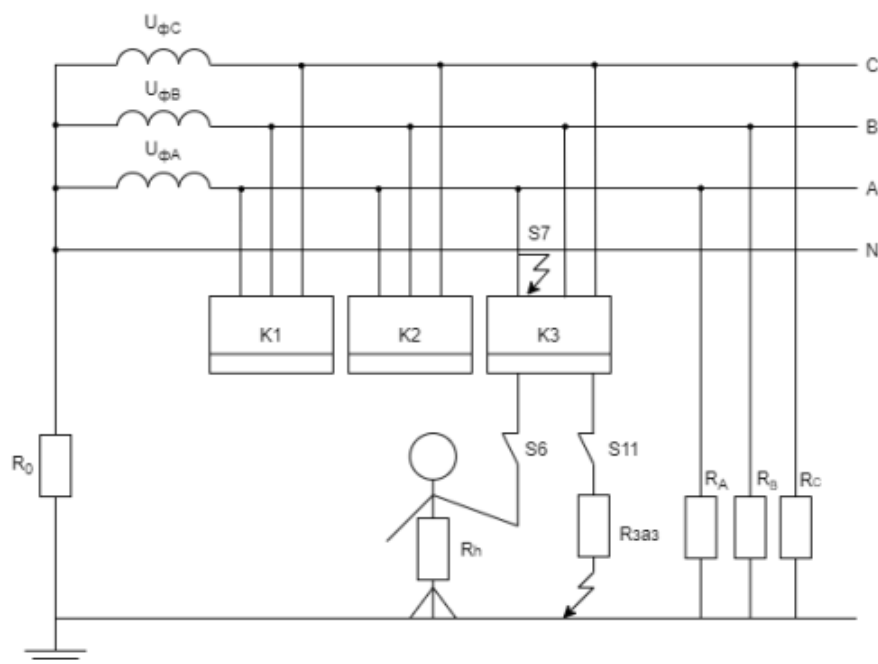


Рисунок 4 – Замыкании фазы А на занулённый корпус К1-1

При замыкании переключателя S4 возникает короткое замыкание, срабатывает защита и снимается напряжение со всего стенда, т.е. значения напряжений на всех корпусах и на всех фазах будут нулевыми.

В таблице 5 представлены результаты эксперимента при срабатывании зануления.

Таблицы №5

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
5	5	5	—	—	0	0	0	0	0	0

5. На рисунке 5 представлена электрическая схема при случае неправильно выбранной установки срабатывания максимальной токовой защиты.

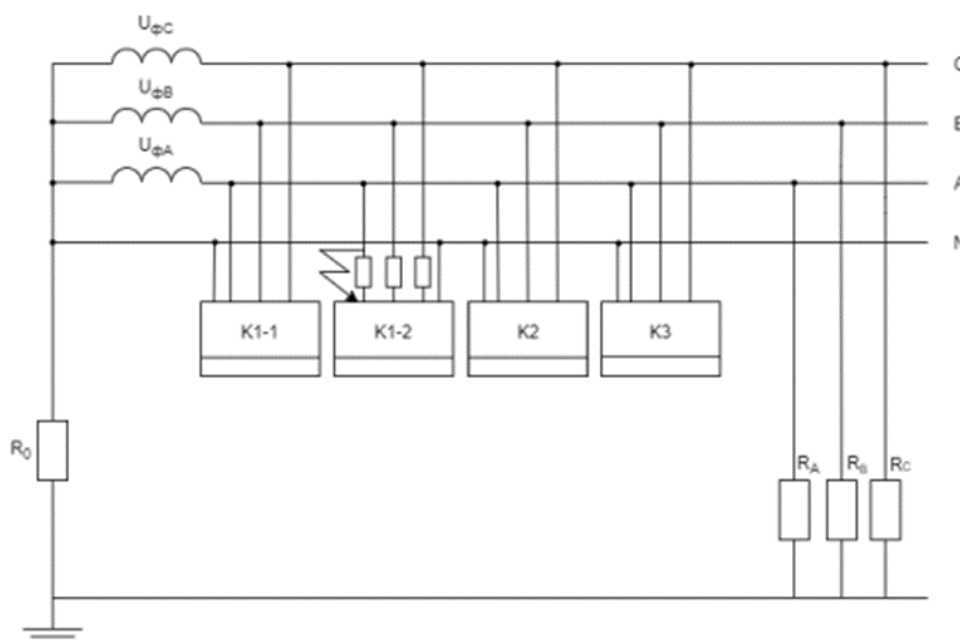


Рисунок 5 – Случай завышенной установки срабатывания максимальной токовой защиты

В таблице 6 представлены результаты эксперимента при завышенной установке срабатывания максимальной токовой защиты.

Таблицы №6

Значение сопротивления, ОМ					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
5	5	5	—	—	28	28	24	13	13	0

В данном случае ток замыкания недостаточен для срабатывания предохранителя: поврежденный электроприемник не отключился, автоматическое снятие напряжения со стенда не произошло, при этом напряжение на нулевом проводе и на всех корпусах неповрежденных электроприемников K1-2 и K2 оказывается большим.

6. На рисунке 6 представлена электрическая схема в случае обрыва нулевого провода или неправильной установки в нем выключателя нагрузки.

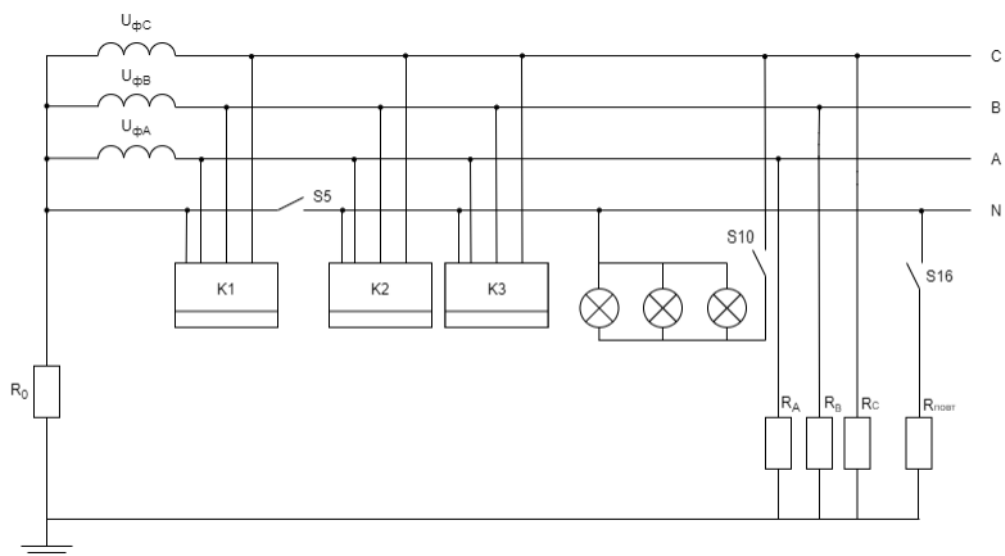


Рисунок 6 – Случай обрыва нулевого провода или неправильной установки в нём выключателя нагрузки

В таблице 7 представлены результаты эксперимента при обрыве нулевого провода ил неправильной установке в нем выключателя нагрузки.

Таблицы №7

Значение сопротивления, ОМ					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	0
5	5	5	—	—	27	28	24	0	24	0
5	5	5	—	—	28	28	24	0	0	0
5	5	5	—	—	38	27	24	13	13	0

7. На рисунке 7 представлена электрическая схема в случае обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю.

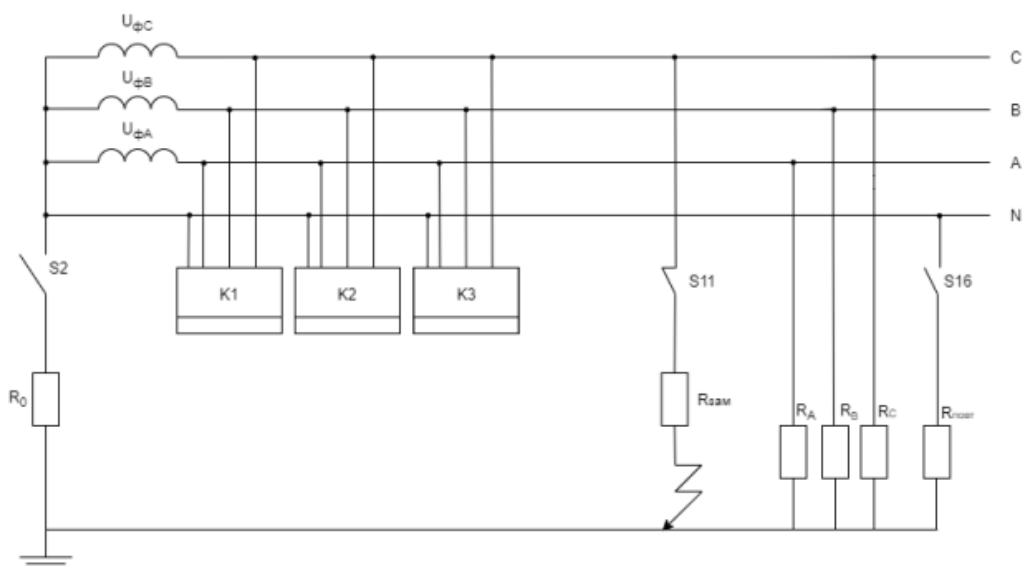


Рисунок 7 – Случай обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю

В таблице 8 представлены результаты эксперимента при обрыве цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю.

Таблицы №8

Значение сопротивления, ОМ					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
R_A	R_B	R_C	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K2}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
5	5	5	100	—	25	26	0	22	22	0
5	5	5	100	—	27	28	24	3	3	0

При обрыве рабочего заземления может произойти короткое замыкание фазы на землю, на зануленных корпусах появляется высокое напряжение 22 В.

При включении повторного заземления нулевого провода напряжение на зануленных корпусах значительно уменьшается до 3 В.

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы были исследованы режимы однофазного прикосновения человека, проанализированы условия опасности различных прикосновений в системе и был изучен принцип действия зануления.

При изменении сопротивления изоляции проводов напряжения прикосновения к фазе не меняется. При замыкании фазы с на землю происходит перекося фаз, а отсюда и увеличения напряжения на человеке. При увеличении сопротивления перекося сводится к минимуму, и соответственно уменьшается напряжение на человеке.

При замыкании другой фазы: при замыкании в сети фазы С на землю напряжение прикосновения становится больше фазного.

При непрямом прикосновении: при защитном заземлении с сопротивлением 4 Ом напряжение может быть уменьшено максимум в 2 раза, а при увеличении сопротивления защитного заземления до 100 Ом напряжение прикосновения практически не будет отличаться от фазного напряжения, что является опасным для человека.

При наличии замыкания фазы на землю: при обрыве рабочего заземления может произойти короткое замыкание фазы на землю, и на зануленных корпусах появится опасное напряжение 22 В, а при включении повторного заземления нулевого провода напряжение на зануленных корпусах уменьшается до 3 В.

Ответы на контрольные вопросы.

1. Как влияет сопротивление изоляции сети на ток, протекающий через человека, при однофазном прикосновении?

Сопротивление изоляции сети влияет на ток, протекающий через человека, при однофазном прикосновении следующим образом:

- Чем меньше сопротивление изоляции, тем больше ток, протекающий через человека.
- При хорошем состоянии изоляции ток, протекающий через человека, будет минимальным.
- При плохом состоянии изоляции ток, протекающий через человека, может быть опасным.

2. Почему нельзя применять защитное заземление в четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью? Сравнить с сетями с изолированной нейтралью.

1. Как влияет сопротивление изоляции сети на ток, протекающий через человека, при однофазном прикосновении?

Сопротивление изоляции сети влияет на ток, протекающий через человека, при однофазном прикосновении следующим образом:

- Чем меньше сопротивление изоляции, тем больше ток, протекающий через человека.
- При хорошем состоянии изоляции ток, протекающий через человека, будет минимальным.
- При плохом состоянии изоляции ток, протекающий через человека, может быть опасным.

2. Почему нельзя применять защитное заземление в четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью? Сравнить с сетями с изолированной нейтралью.

В четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью защитное заземление нельзя применять, так как оно может привести к возникновению опасного напряжения на корпусах электрооборудования. Это связано с тем, что при наличии замыкания фазы на землю ток замыкания будет протекать по защитному заземлению, что приведет к повышению напряжения на корпусах электрооборудования, подключенных к защитному заземлению.

В сетях с изолированной нейтралью защитное заземление можно применять, так как оно не создает опасного напряжения на корпусах электрооборудования. Это связано с тем, что при наличии замыкания фазы на землю ток замыкания будет протекать по фазному проводу и защитному заземлению, но не по корпусу электрооборудования.

3. Какие опасности возникают при одновременном устройстве в сети зануления и защитного заземления?

При одновременном устройстве в сети зануления и защитного заземления могут возникнуть следующие опасности:

Опасность поражения электрическим током при однофазном прикосновении: при одновременном замыкании фазы на землю и повреждении нулевого провода может возникнуть опасное напряжение на корпусах электрооборудования, подключенных к защитному заземлению.

Опасность возникновения пожара: при одновременном замыкании фазы на землю и повреждении нулевого провода может возникнуть ток замыкания, который может привести к перегреву и возгоранию проводов.

4. Какие опасности возникают при замыкании фазного провода на землю?

При замыкании фазного провода на землю могут возникнуть следующие опасности:

- Опасность поражения электрическим током: при замыкании фазного провода на землю возникает ток замыкания, который может привести к поражению электрическим током человека.
- Опасность возникновения пожара: ток замыкания может привести к перегреву и возгоранию проводов.
- Опасность возникновения перекоса фаз: при замыкании фазного провода на землю нарушается баланс фаз, что может привести к перегоранию предохранителей и выходу из строя электрооборудования.

5. Какова роль повторного заземления в случаях обрыва нулевого провода или обрыва цепи рабочего заземления нейтрали?

Повторное заземление нулевого провода или цепи рабочего заземления нейтрали выполняет следующие функции:

- Уменьшает напряжение на зануленных корпусах электрооборудования: при обрыве нулевого провода или цепи рабочего заземления нейтрали ток замыкания будет протекать по зануленным корпусам, что приведет к повышению напряжения на них. Повторное заземление нулевого провода или цепи рабочего заземления нейтрали

снижает напряжение на зануленных корпусах, что снижает риск поражения электрическим током.

- Снижает риск возникновения пожара: ток замыкания, протекающий по зануленным корпусам, может привести к перегреву и возгоранию проводов. Повторное заземление нулевого провода или цепи рабочего заземления нейтрали снижает ток замыкания, что снижает риск возникновения пожара.

Векторные диаграммы:

