

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

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №2

по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»

**ТЕМА: «Исследование условий электробезопасности в трехфазных сетях с
заземленной нейтралью»**

Студент гр. 0101

Хабеев А.С.
Кузавова С.А.И.

Преподаватель

Овдиенко Е.Н.

Санкт-Петербург

2022

Цель работы:

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

Общие сведения:

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 глухозаземлённой нейтралью. Общий вид таких сетей для анализа безопасности приведён на рис. 2.1.

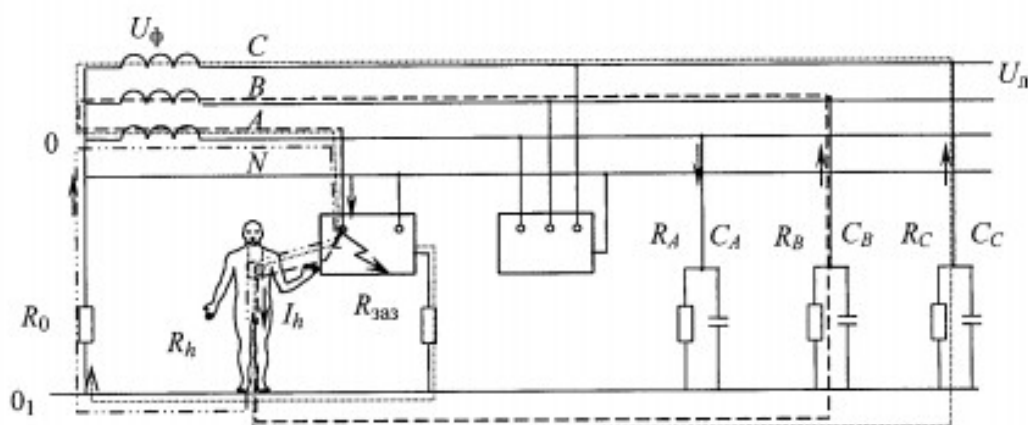


Рис. 2.1. Электрическая схема сети для анализа безопасности с контурами возможных токов

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 (T – 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.

Прямое однофазное прикосновение в такой системе очень опасно. Напряжение прикосновения определяется в основном значением фазного напряжения U_ϕ из-за малого сопротивления рабочего заземления нейтрали R_0 (нормируемое значение $R_0 \leq 4$ Ом для 220 В) и практически не зависит от сопротивлений и ёмкостей фаз относительно земли:

$$U_h = U_\phi \frac{R_h}{R_0 + R_h} \approx U_\phi.$$

При замыкании в такой сети какой-либо фазы на землю, например фазы С, напряжение прикосновения становится больше фазного, но может быть скорее всего ближе к фазному, чем к линейному:

$$\dot{U}_h \approx U_\phi \frac{(1-a)g_{\text{зам}C} + g_0}{g_{\text{зам}C} + g_0} > U_\phi.$$

Здесь $a = e^{j120} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$ – оператор поворота (единичный вектор); $j = \sqrt{-1}$; $g_0 = 1/R_0$, $g_{\text{зам}} = 1/R_{\text{зам}}$, См (См = 1/Ом) – соответственно, активные проводимости относительно земли рабочего заземления и замыкания.

Прикосновение к корпусу электрооборудования, даже исправного, не всегда оказывается безопасным. Часто люди удивляются и не могут понять, почему при прикосновении к корпусу системного блока, утюга или к ручке холодильника бьёт электрическим током, хотя электрооборудование исправно, и кроме этого они сделали дополнительную защиту – заземлили или занулили корпус, как это требуют правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Ответы на эти вопросы вам следует получить, выполняя лабораторную работу.

Как упоминалось, защитное заземление без зануления корпуса запрещено, однако что делать, если в инструкции на зарубежное оборудование данная позиция записана как обязательное условие безопасности. Сделав это, вы подвергнете опасности не только свою жизнь, но и жизнь других людей. При выполнении защитного заземления с соблюдением требований к зазем-

ляющему устройству ($R_{\text{ззз}} = 4 \text{ Ом}$) напряжение может быть уменьшено максимум в два раза, а если заземлить корпус на элементы (батареи отопления, водопроводные трубы или другие металлические конструкции), случайным образом связанные с землёй (например, $R_{\text{ззз}} = 100 \text{ Ом}$), то напряжение прикосновения практически не будет отличаться от фазного напряжения:

$$U_h = U_{\phi} \frac{R_{\text{ззз}}}{R_0 + R_{\text{ззз}}} = (0.5 - 0.96)U_{\phi}.$$

Опасность использования защитного заземления в электроприёмнике не ограничивается тем электроприёмником, где оно применено. Гораздо более опасным оказывается прикосновение к правильно занулённым корпусам исправных электроприёмников! При фазном напряжении 220 В на них появится напряжение (от осязательного 9 В до опасного 110 В), которое определяется падением напряжения на рабочем заземлении R_0 :

$$U_{00_1} = U_{\phi} \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{ззз}}} = (0.04 - 0.5)U_{\phi}.$$

Одной из мер защиты от поражения током в режиме замыкания фазы на корпус является зануление – преднамеренное электрическое соединение корпуса с нулевым проводом. При пробое изоляции на корпус приёмника по петле “фаза – нуль” протекает ток короткого замыкания, который должен вызывать срабатывание максимальной токовой защиты (автоматического выключателя или предохранителя) и отключение повреждённого приёмника. При использовании системы TN–С могут возникнуть и другие опасные для жизни людей ситуации, которые изучаются в лабораторной работе.

Лабораторный стенд, внешний вид которого представлен на рис. 2.2, имитирует трёхфазную сеть, работающую в режиме с глухозаземлённой нейтралью.

Резисторы R_A, R_B, R_C (5 или 150 кОм) имитируют сопротивления изоляции фаз относительно земли и устанавливаются переключателями S13, S14 и S15, а резистор $R_{\text{зам}}$ (сопротивление замыкания фазы С на землю 50 или 100 Ом) устанавливается переключателем S12; резистор $R_{\text{повт}}$ (сопротивление повторного заземления нулевого провода 10 Ом) устанавливается переключателем S12. В сети имеется осветительная нагрузка Н, подключаемая к фазе с выключателем S10. Корпуса приёмников электроэнергии К1 и К2 занулены; корпус К3 может быть только заземлён через $R_{\text{ззз}}$ (сопротивление 4 или 100 Ом) с помощью выключателя S8. Режим однофазного прикосновения

человека имитируется подключением переключателем S6 сопротивления R_h к фазе A или к корпусу КЗ; режим замыкания фазы A на корпус КЗ устанавливается выключателем S7. Вольтметр V, снабжённый переключателем S3, служит для измерения напряжений фаз сети и корпусов приёмников относительно земли, а также напряжения смещения нейтрали.

Обработка результатов:

Анализ условий прямого прикосновения в системе TN:

№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_a	R_b	R_c	$R_{зам}$	$R_{заз}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	$U_0, U_{к1}$	$U_{к2}$	$U_{к3}, U_h$
1	5	5	5	-	-	27,7	27,5	23,5	0	0	27,2
2	150	150	150	-	-	27,3	27,8	23,6	0	0	27
3	150	150	150	100	-	28,2	28,5	22	1	1	28
4	150	150	150	50	-	29,2	29,2	20,8	1,8	1,8	29

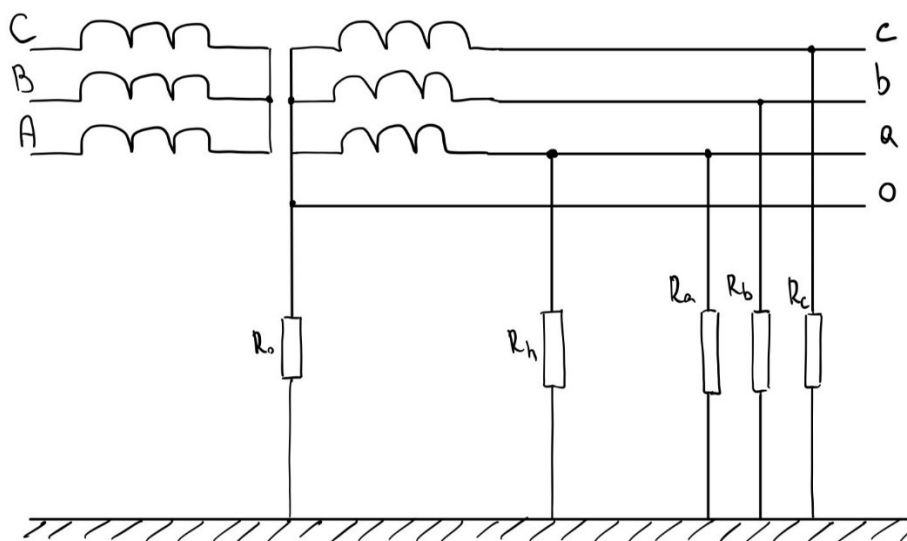
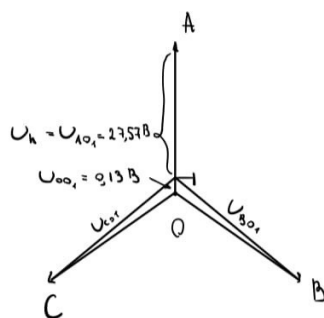
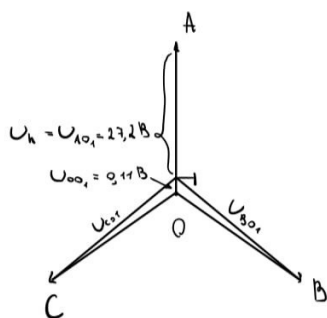


Рис 3.1 Схема прямого прикосновения человека к фазе A



$$U_h = U_{A01} = U_A \left(\frac{R_h R_a + R_h R_0 + R_0 h}{R_0 + R_h} \right) \cdot \left(\frac{R_h R_a}{R_h + R_a} \right)$$

$$U_{001} = U_A \left(\frac{R_h R_a + R_h R_0 + R_0 h}{R_0 + R_h} \right) \cdot R_0$$

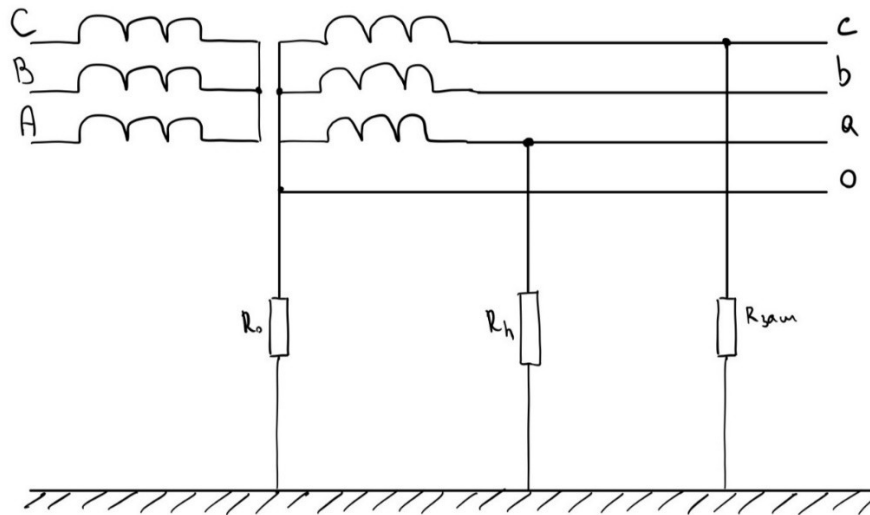
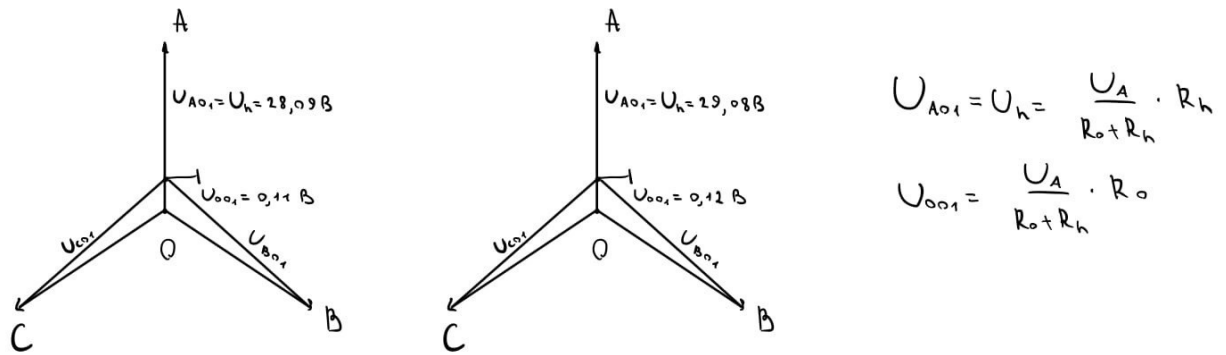


Рис 3.2. Схема прямого прикосновения человека к фазе А при замыкании фазы С на землю



Оценка опасности заземления корпусов при непрямом прикосновении:

№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R _a	R _b	R _c	R _{зам}	R _{заз}	U _{A01}	U _{B01}	U _{C01}	$\frac{U_0}{U_{к1}}$	U _{к2}	$\frac{U_{к3}}{U_h}$
1	150	150	150	-	-	27,5	28	23,5	0	0	27
2	150	150	150	-	4	16	34,2	31	9	9	15,8
№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R _a	R _b	R _c	R _{зам}	R _{заз}	U _{A01}	U _{B01}	U _{C01}	$\frac{U_0}{U_{к1}}$	U _{к2}	$\frac{U_{к3}}{U_h}$
3	150	150	150	-	100	25	29	24,9	1,9	1,9	25

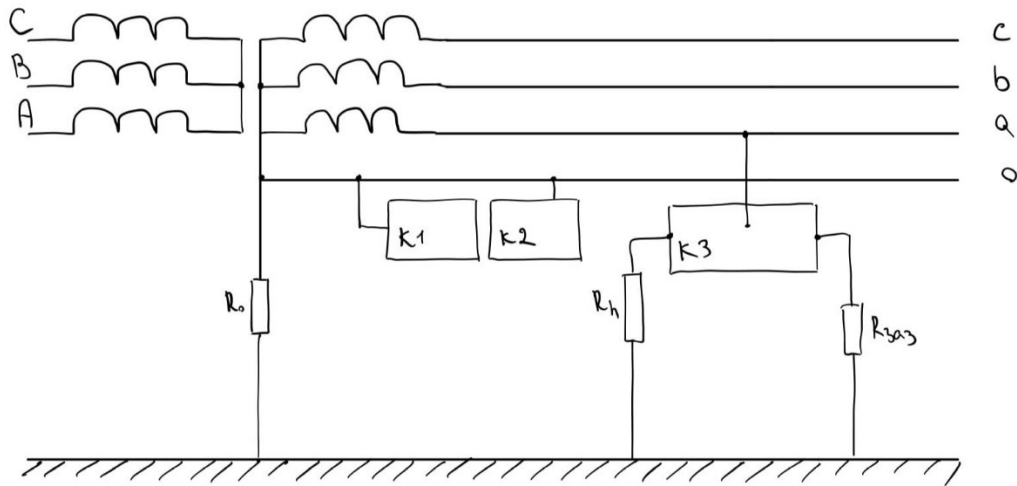
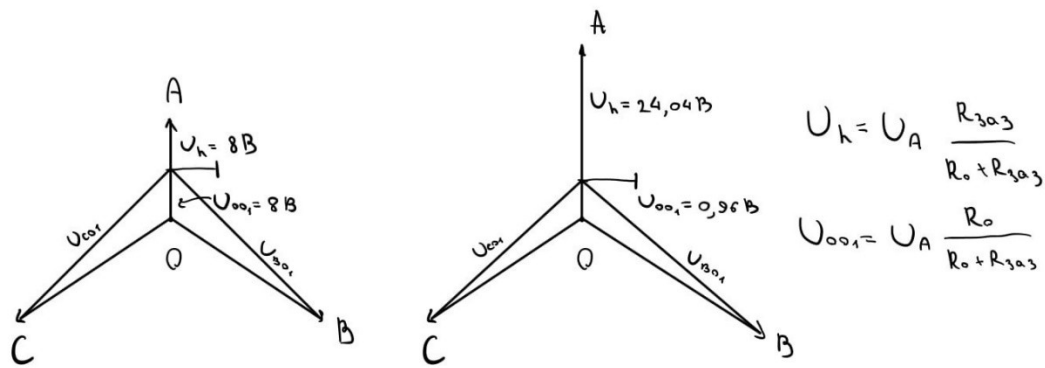


Рис 4. Схема непрямого прикосновения человека к корпусу прибора



Защитное заземление без зануления корпуса запрещено. При выполнении защитного заземления ($R_{заз} = 4 \text{ Ом}$) напряжение прикосновения уменьшается в 2 раза.

Если заземлить корпус на элементы, случайным образом связанные с землей ($R_{заз} = 100 \text{ Ом}$), то напряжения прикосновения практически не будет отличаться от фазного, что крайне опасно.

Изучение принципа действия зануления:

№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_a	R_b	R_c	$R_{зам}$	$R_{заз}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	$\frac{U_0}{U_{к1}}$	$U_{к2}$	$\frac{U_{к3}}{U_h}$
1	150	150	150	-	-	0	0	0	0	0	0

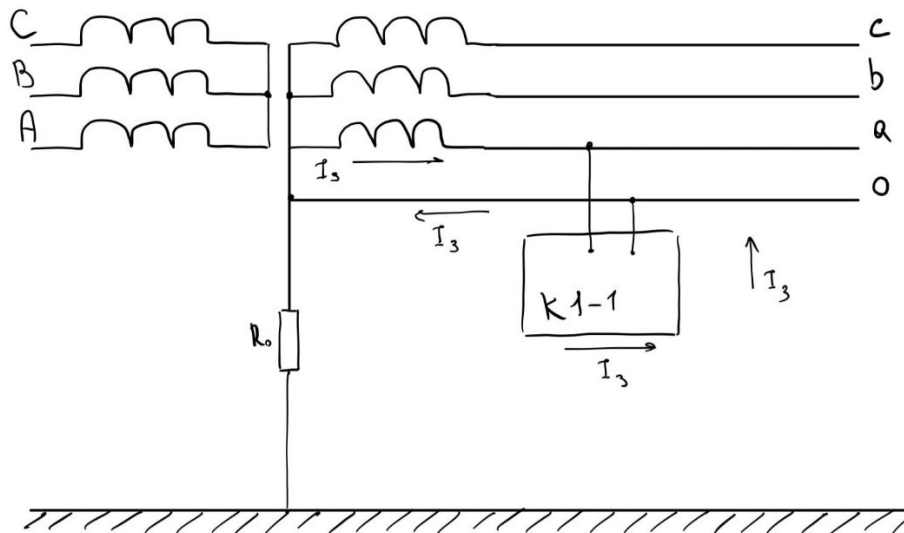


Рис 5. Схема действия принципа зануления

Оценка опасности зануления корпусов при непрямом прикосновении:

1. Случай неправильно выбранной (завышенной) уставки срабатывания максимальной токовой защиты:

№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_a	R_b	R_c	$R_{зам}$	$R_{заз}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	$U_0,$ $U_{к1}$	$U_{к2}$	$U_{к3}$ U_h
1	150	150	150	-	-	27,9	28	23,5	12,8	12,7	0

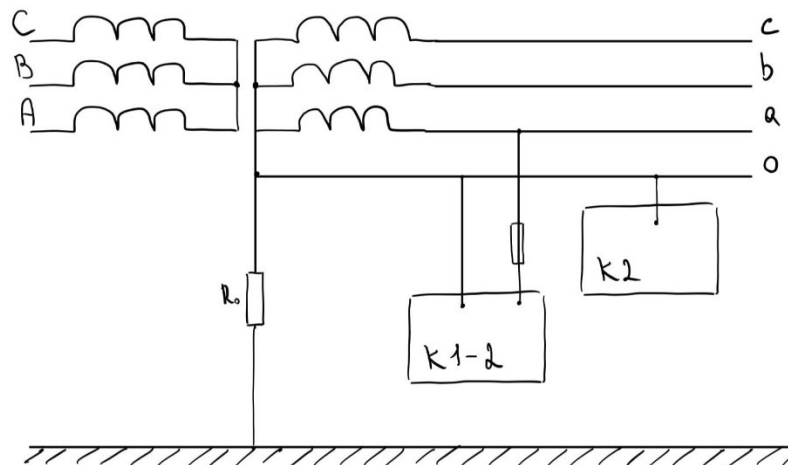
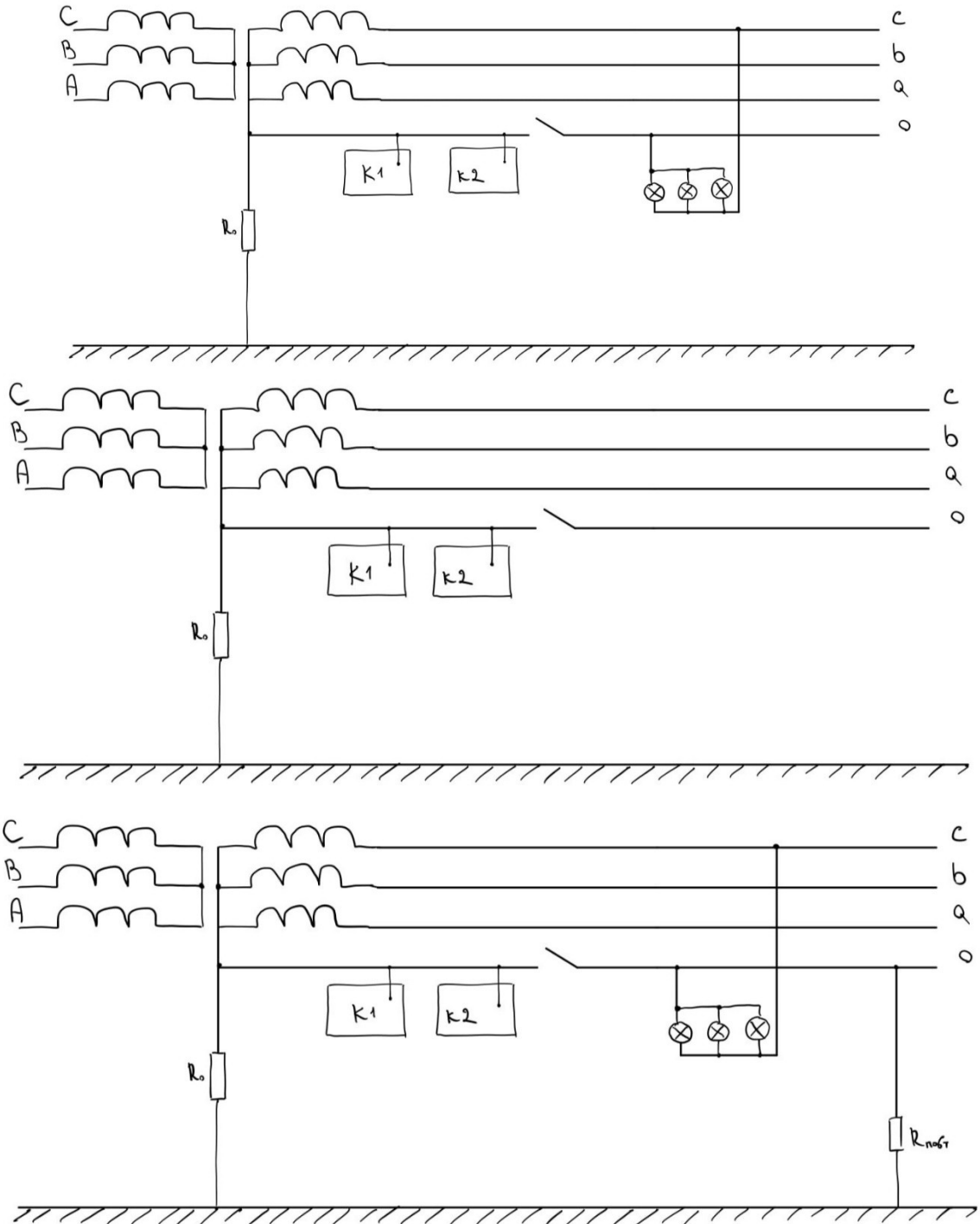


Рис 6.1. Схема с неправильно выбранной (завышенной) установки срабатывания максимальной токовой защиты

2. Случай обрыва нулевого провода или неправильной установки в нём выключателя нагрузки:

№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_a	R_b	R_c	$R_{зам}$	$R_{заз}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	$U_0,$ $U_{к1}$	$U_{к2}$	$U_{к3}$ U_h

1	150	150	150	-	-	27,8	28	23,8	0	23,5	0
2	150	150	150	-	-	27,8	27,8	24	0	0	0
№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_a	R_b	R_c	$R_{зам}$	$R_{заз}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	$U_{0, U_{к1}}$	$U_{к2}$	$U_{к3}, U_h$
3	150	150	150	-	-	28,2	28,2	23	0,5	0,2	0
4	150	150	150	-	-	27,8	27,8	23,7	0	0	0



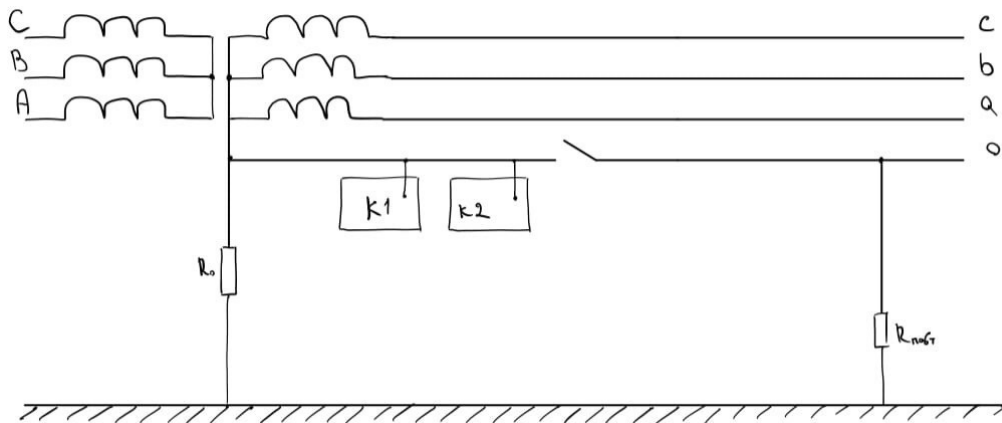
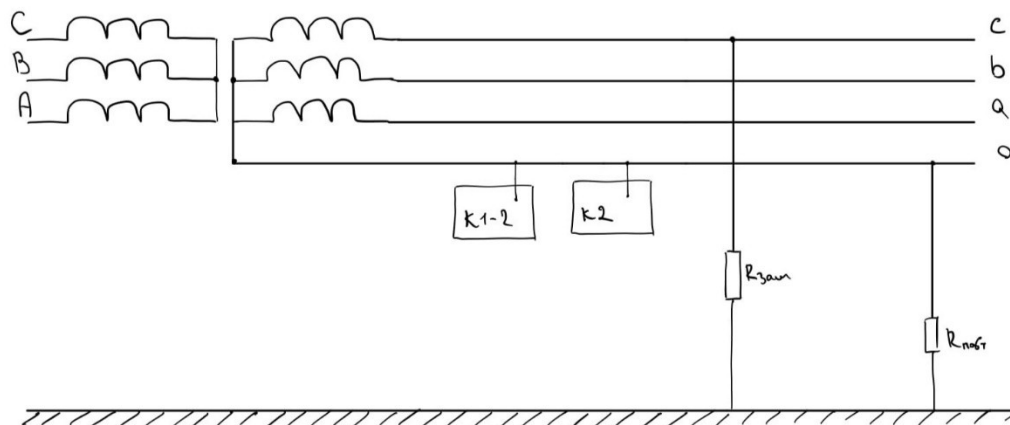
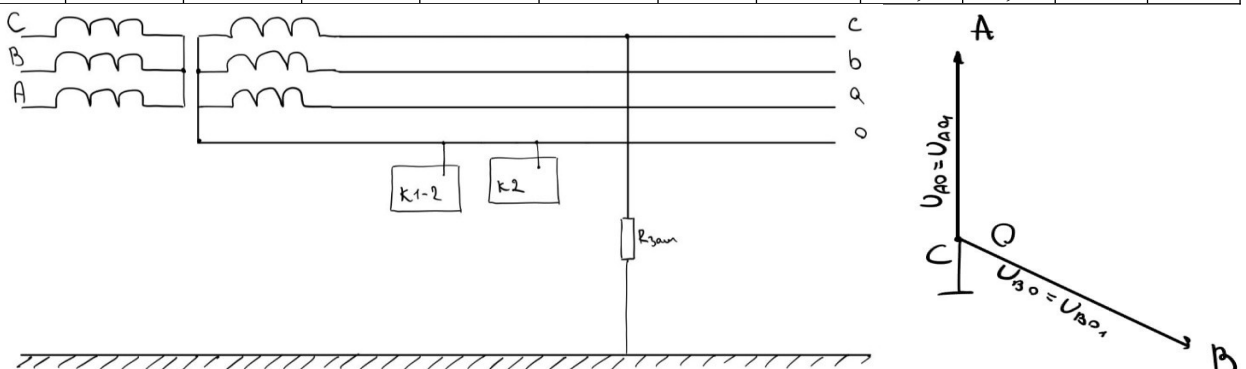


Рис 6.2. Схемы обрыва нулевого провода или неправильной установки в нем выключателя нагрузки

3. Случай обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю:

№ п/п	Значения сопротивлений, кОм					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_a	R_b	R_c	$R_{зам}$	$R_{зас}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	$U_0, U_{к1}$	$U_{к2}$	$U_{к3} U_h$
3	150	150	150	100	-	46	46	0	24	23,9	0
4	150	150	150	100	-	30	30	19,9	4,1	4	0



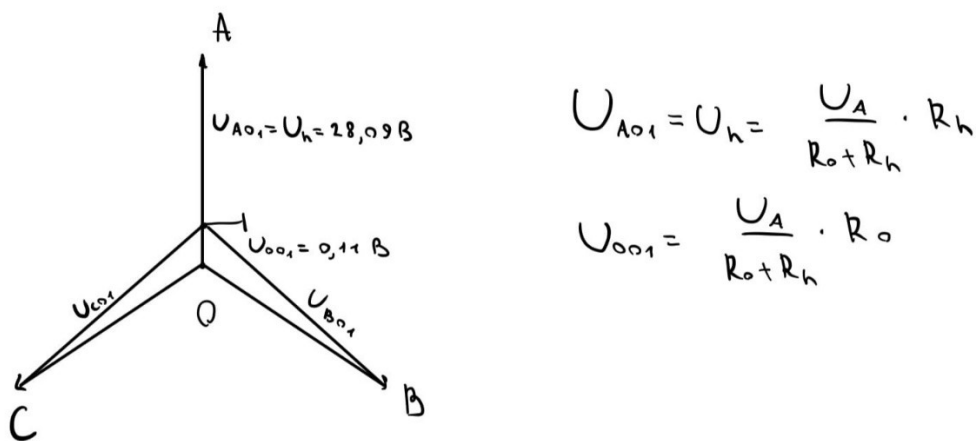


Рис 6.3. Схемы обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю

Выводы: В данной лабораторной работе были исследованы режимы однофазного прикосновения человека, были изучены принципы действия зануления, а также мы ознакомились с опасностями непрямого прикосновения при использовании защитного заземления и зануления.

1) Оценка напряжений при однофазном прикосновении:

При изменении сопротивления изоляции фаз относительно земли напряжения соответствующих фаз не изменяется. При замыкании фазы С на землю U_h увеличивается.

2) Опасности заземления корпусов электроприемников:

При заземлении корпусов электроприемников происходит деление напряжения между R_0 и $R_{зз}$, при сопротивлении заземления $R_{зз}=4$ Ом, напряжение прикосновения примерно равно половине фазного напряжения, при $R_{зз}=100$ Ом, напряжение прикосновения примерно равно фазному, соответственно, с повышением $R_{зз}$, в случае попадания фазы на корпус напряжение, будет возрастать, с понижением – возрастать на нейтрали.

Если заземлить корпус на элементы, случайным образом связанные с землей ($R_з = 100$ Ом), то напряжения прикосновения практически не будет отличаться от фазного, что крайне опасно.

3) Изучение принципа действия зануления:

При замыкании фазы на корпус зануленного приемника ток протекает

по контуру фаза-ноль и достигает максимального значения $I_{кз}$, что приводит к срабатыванию защиты и снятию напряжения со стенда.

4) Опасности зануления корпусов при непрямом прикосновении:

- В случае неправильно выбранной (завышенной) установки срабатывания максимальной токовой защиты:

При неправильно выбранной уставке, в случае замыкания фазы на корпус отключения не происходит, и через нулевой провод потенциал оказывается на всех зануленных электроприемниках.

- Случай обрыва нулевого провода или неправильной установки в нем выключателя нагрузки:

При включении S10 в нулевой провод в нем возникают потенциалы опасные для человека. При этом на корпусе зануленного приемника K2 возникает полное напряжение (23,5 В). При отключении S10 напряжения на корпусах равно 0. При S10-вкл и S16-вкл, на корпусах K1 и K2 появляются небольшие потенциалы, при выключенных S10 и S16, напряжение на корпусах равно 0.

- Случай обрыва цепи заземления нейтрали в случае замыкания фазы на землю:

При выключенном повторном заземлении нулевого провода напряжение на обоих зануленных корпусах опасно, т.к. стремится к U_{ϕ} .

При включенном повторном заземлении нулевого провода напряжение на обоих зануленных гораздо меньше, но все еще опасно.