

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 ЗАЗЕМЛЁННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Студент гр. 1384	_____	Бобков В. Д.
Студентка гр. 1384	_____	Усачева Д. В.
Студент гр. 1384	_____	Степаненко Д. В.
Преподаватель	_____	Трусов А. А.

Санкт-Петербург
2024

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.

Экспериментальные результаты

1. Был установлен режим прямого прикосновения человека к фазе А – S6 вкл, схема соединения представлена ниже (рис. 1).

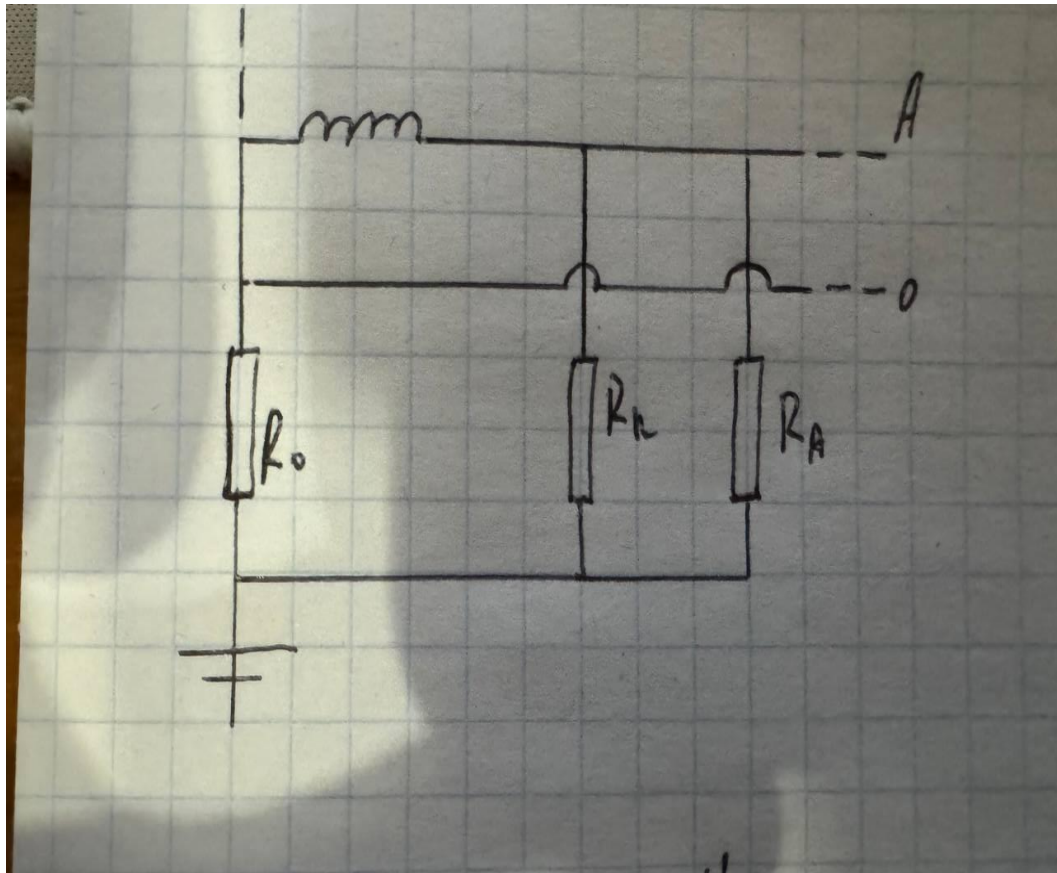


Рисунок 1 – Схема прямого прикосновения

Для прямого прикосновения были измерены напряжения при $R_A = R_B = R_C = 5\text{кОм}$ и $R_A = R_B = R_C = 150\text{кОм}$. Значения напряжений представлены ниже(табл. 1).

Табл. 1 – Прямое прикосновение в системе TN

Значения сопротивления, кОм			Значения напряжений относительно земли, В			
R_A	R_B	R_C	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K3}, U_h
5	5	5	25	25	22	24
150	150	150	25	25	22	24

Можно заметить, что при изменении сопротивлений R_A , R_B , R_C не изменяется значение напряжения U_h , так как большая часть тока течет через

человека из-за того, что сопротивление человека R_h гораздо меньше сопротивления R_A .

Напряжение прямого однофазного прикосновения определяется как:

$$R_{Ah} = \left(\frac{1}{R_h} + \frac{1}{R_A} \right)^{-1} = \frac{1000 * 5000}{1000 + 5000} = 833.3 \text{ Ом}$$

$$U_h = U_{A01} * \frac{R_{Ah}}{R_0 + R_{Ah}} = 25 * \frac{833.3}{837.3} = 24.9 \approx U_{A01}$$

$$I_h = \frac{U_h}{R_h} \approx 0.025 \text{ А}$$

Как можно заметить, значение напряжения прямого однофазного прикосновения практически не отличается от фазного напряжения из-за малого значения сопротивления заземления нейтрали R_0 (4 Ом).

Ниже представлена векторная диаграмма (рис. 2).

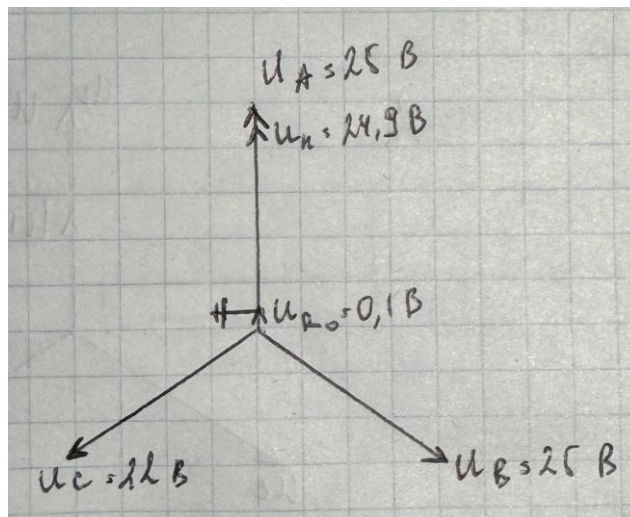


Рис. 2 – Векторная диаграмма для однофазного прикосновения

2. Далее было установлено замыкание фазы С на землю. Схема прямого однофазного прикосновения при одновременном замыкании фазы на землю представлены на рис. 3, результаты измерений записаны в табл. 2.

В дальнейшем $R_A = R_B = R_C = 150 \text{ кОм}$.

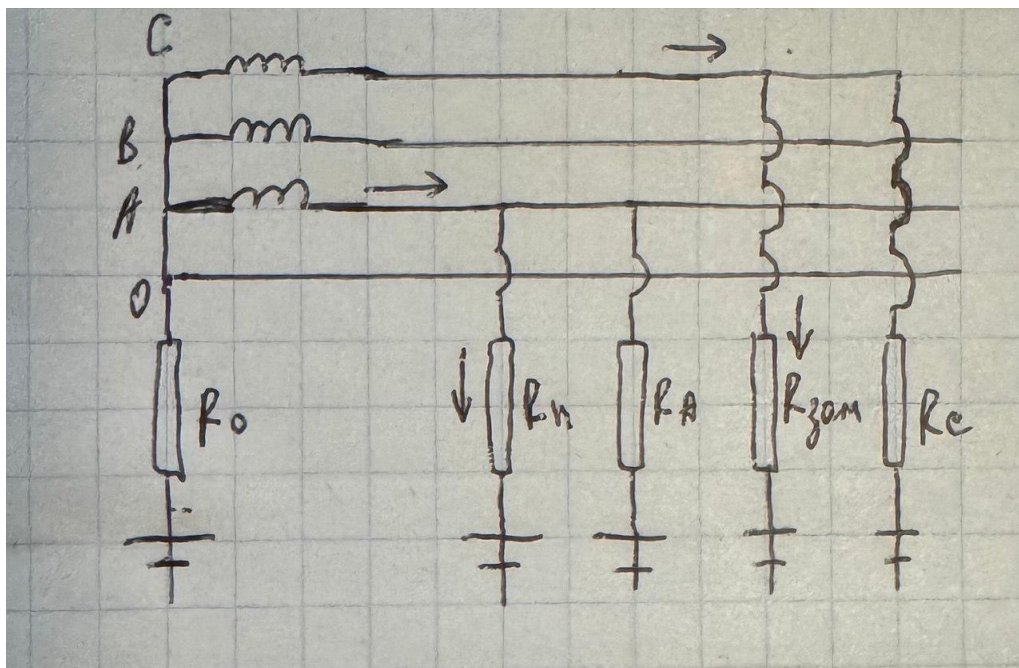


Рис. 3 – Схема прямого прикосновения к А при замыкании С на землю

Табл. 2 – Однофазное прямое прикосновение к А при замыкании С на землю

Значения сопротивлений, Ом		Значения напряжений относительно земли, В					
$R_{зам}$	$R_{зав}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
50	-	32	32	11	9	9	32
100	-	25	26	20	0	0	26

$$U_h \approx U_{A01} * \frac{(1.5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}) \frac{1}{R_{зам}} + \frac{1}{R_0}}{\frac{1}{R_{зам}} + \frac{1}{R_0}}$$

При $R_{зам} = 50$ Ом:

$$U_h = 33.2 - 2.05j \text{ В}$$

$$|U_h| = 33.3 \text{ В}$$

$$I_h = 0.0333 \text{ А}$$

При $R_{зам} = 100$ Ом:

$$U_h = 25.5 - 0.83j \text{ В}$$

$$|U_h| = 25.5 \text{ В}$$

$$I_h = 0.025 \text{ А}$$

Ниже построена векторная диаграмма для схемы прямого прикосновения к А при замыкании С на землю (рис. 5).

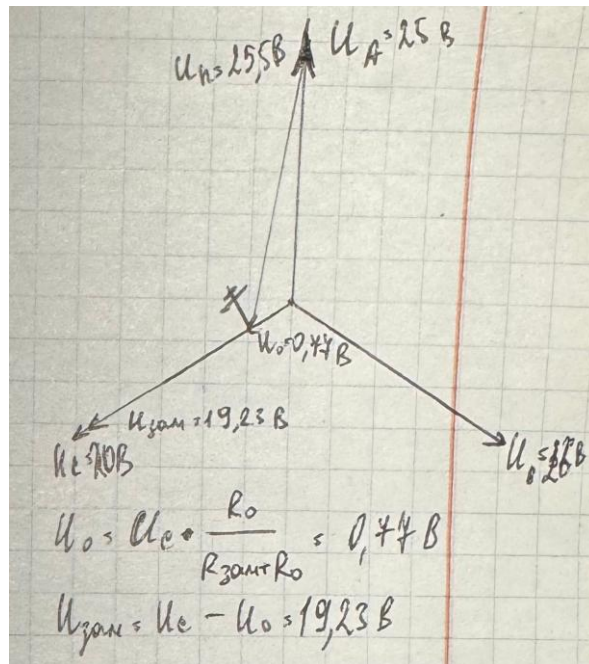


Рис. 5 – Векторная диаграмма прямого прикосновения к А при замыкании С на землю

По построенной диаграмме можно найти напряжение на человеке – это будет длина вектора $\vec{U}_h = \vec{U}_A + \vec{U}'_C$.

3. Установлен режим прикосновения человека к корпусу K_3 , на который замкнута фаза А. При этом напряжение на человеке не изменилось в сравнении с напряжением прямого прикосновения. Далее корпус K_3 был заземлен. Схема и результаты измерений представлены на рис. 6 и в табл. 3.

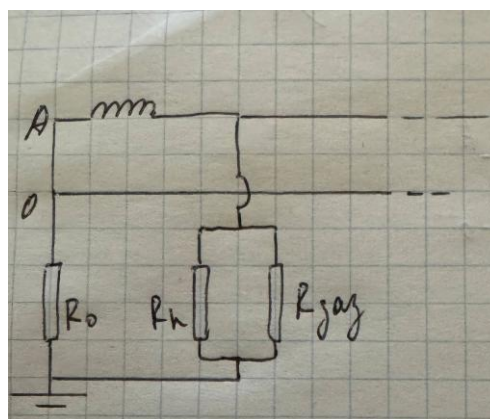


Рис. 6 – Схема прикосновения к замкнутому на фазу заземленному корпусу

Табл. 3 – Результаты измерений при непрямом прикосновении

Значения сопротивлений, Ом	Значения напряжений относительно земли, В					
	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_h	U_{K2}	U_{K3}, U_h
$R_{\text{зaz}}$						
-	24	25	22	0	0	24
4	10	35	32	13	13	10
100	22	27	23	2	2	22

При $R_{\text{зaz}} = 4 \text{ Ом}$:

$$U_h = U_{\phi} \frac{R_{\text{зaz}}}{R_{\text{зaz}} + R_0} = 12 \text{ В}$$

$$I_h = 0.012 \text{ А}$$

При $R_{\text{зaz}} = 4 \text{ Ом}$:

$$U_h = 120 \text{ В}$$

$$I_h = 0.12 \text{ А}$$

При $R_{\text{зaz}} = 100 \text{ Ом}$:

$$U_h = U_{\phi} \frac{R_{\text{зaz}}}{R_{\text{зaz}} + R_0} = 24 \text{ В}$$

$$I_h = 0.024 \text{ А}$$

Действительно, при заземлении в 4 Ома напряжение на человеке равно половине фазного напряжения, а при большом значении заземления напряжение на человеке равно фазному напряжению.

Ниже представлена векторная диаграмма для непрямого прикосновения (рис 7).

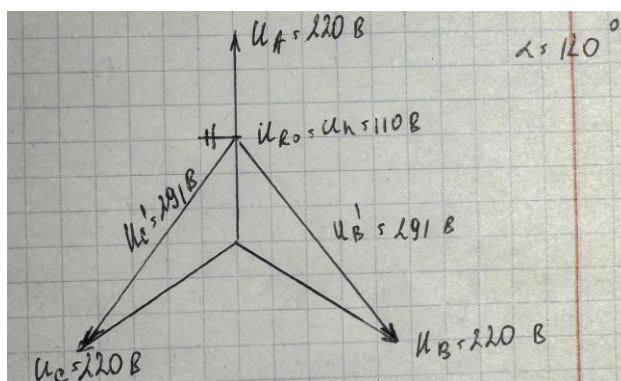


Рис. 7 – Векторная диаграмма для непрямого прикосновения при $R_{\text{зaz}} = 4 \text{ Ом}$

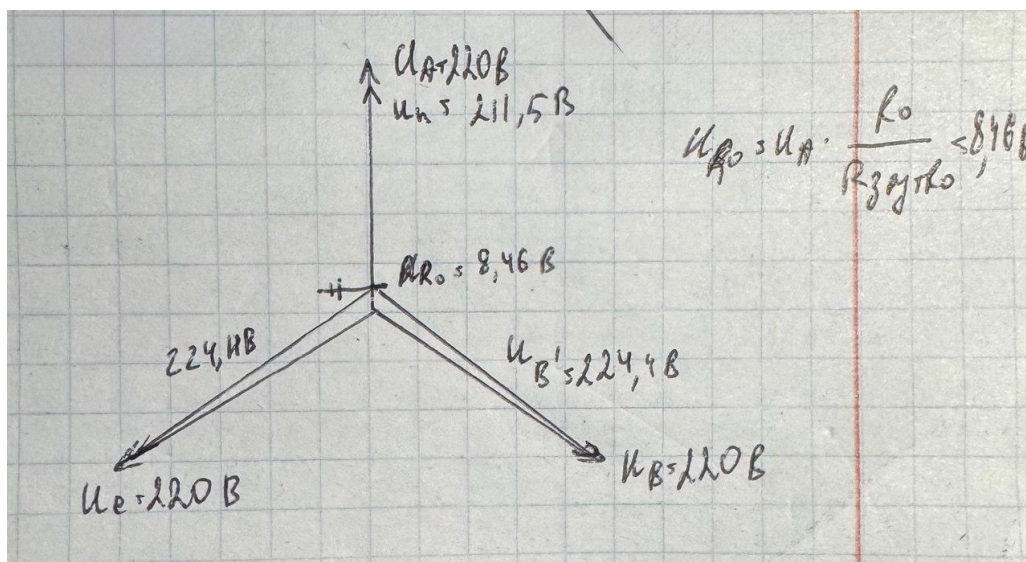


Рис. 8 – Векторная диаграмма для непрямого прикосновения при $R_{\text{зам}} = 100$

Ом

4. Было установлено замыкание фазы А на корпус $K_{1.1}$. Схема и результаты измерений представлены на рис. 8 и в табл. 4.

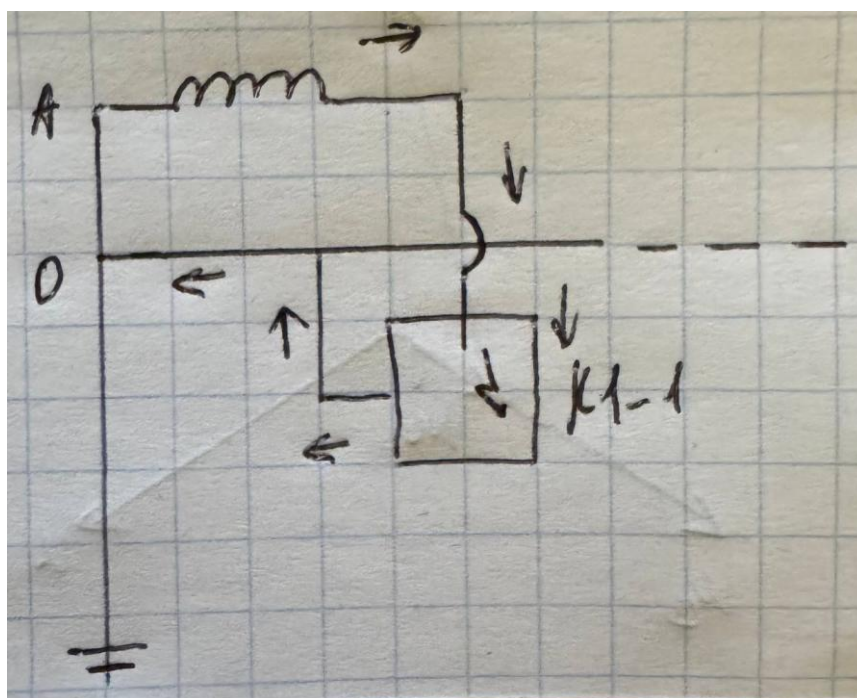


Рис. 9 – Схема защитного зануления с замыканием

Табл. 4 – Результаты измерений при замыкании на зануленный корпус

Значения сопротивлений, Ом		Значения напряжений относительно земли, В					
$R_{\text{зам}}$	$R_{\text{зав}}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_h	U_{K2}	U_{K3}, U_h
-	-	0	0	0	0	0	0

5. Фаза А замкнута на корпус $K_{1.2}$. Схема полученной сети и результаты измерений представлены на рис. 9 и в табл. 5.

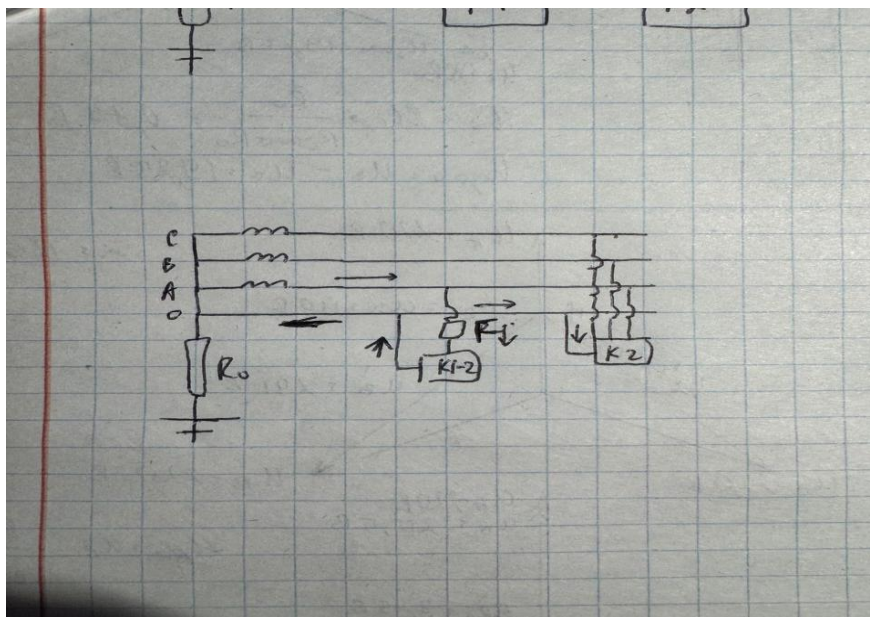


Рис. 10 – Схема замыкания на корпус $K_{1.2}$

Табл. 5 – Результаты измерений замыкания на корпус $K_{1.2}$

Значения сопротивлений, Ом		Значения напряжений относительно земли, В					
$R_{\text{зам}}$	$R_{\text{зав}}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_h	U_{K2}	U_{K3}, U_h
-	-	25	26	22	15	15	0

Замыкание привело к возникновению на нулевом проводе напряжения, равного половине фазного (т.к. $Z_A \approx Z_N$), а также появлению достаточно больших токов. Однако, вследствие неправильной настройки токовой защиты, отключения тока не произошло.

6. Выполнен обрыв нулевого провода. Для этой ситуации была построена схема сети и выполнены результаты измерений для включенной и выключенной осветительной нагрузки (рис. 10, табл. 6).

Табл. 6 – Результаты измерений

Параметры	Значения напряжений относительно земли, В					
	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_h	U_{K2}	U_{K3}, U_h
S-10 off, S-16 off	25	26	22	0	0	0

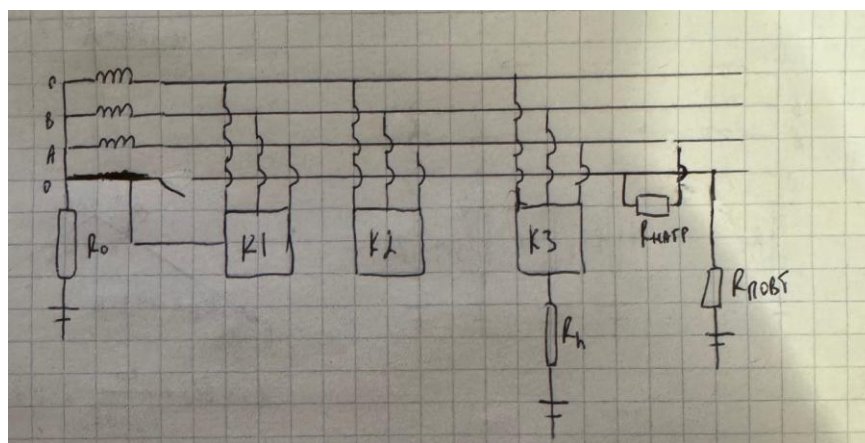


Рис. 13 – Схема при включенной световой нагрузке и повторном заземлении

7. Было смоделировано замыкание фазы С на землю с повторным заземлением и без него (табл. 8).

При обрыве рабочего заземления появляется опасное для здоровья напряжение на корпусах К1 и К2. При включении повторного заземления нулевого провода напряжение на зануленных корпусах уменьшается до 2 В.

Табл. 8 – Результаты измерений замыкания фазы на землю

Значения сопротивлений, Ом		Значения напряжений относительно земли, В					
$R_{\text{зам}}$	$R_{\text{повт}}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_n	U_{K2}	U_{K3}, U_n
100	-	31	38	0	14	14	0
100	10	26	27	19	2	2	0

Схемы прикосновения с повторным заземлением (рис. 14) и без него представлены ниже (рис. 15).

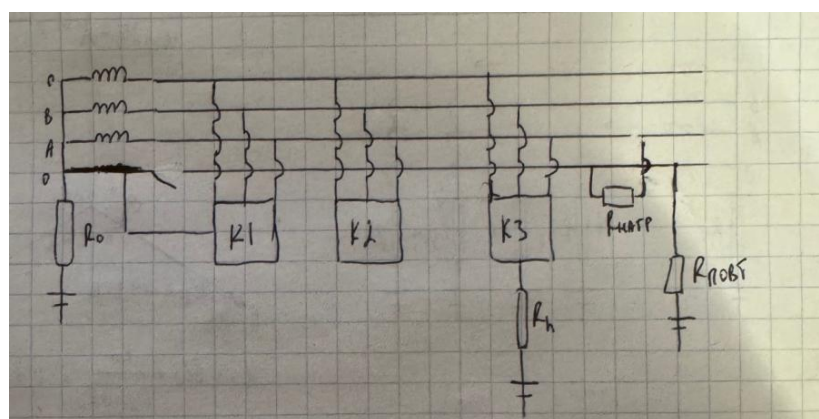


Рис. 14 –Схема прикосновения без повторного заземления

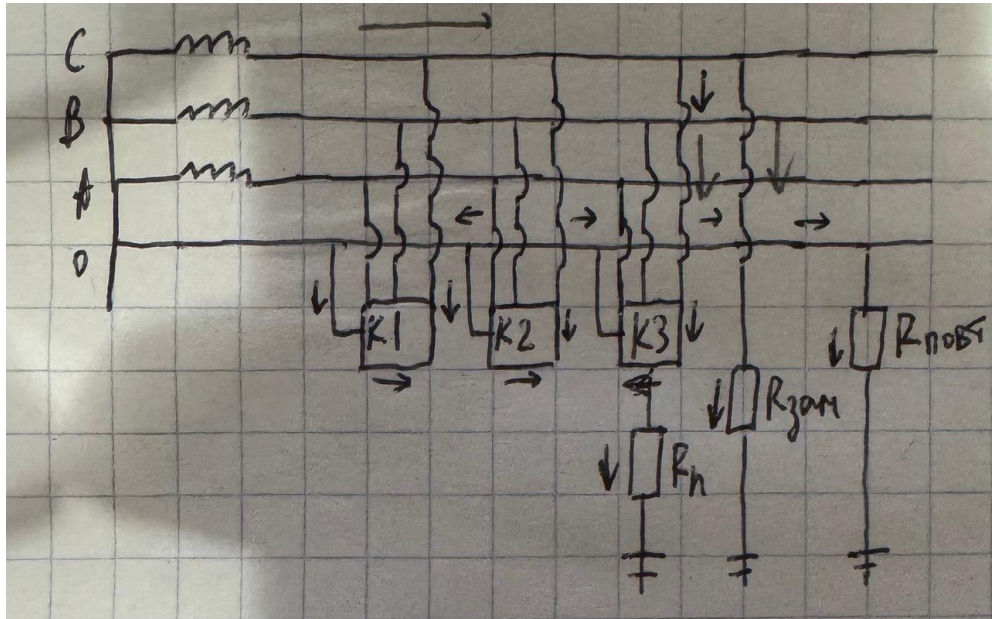


Рис. 14 – Схема прикосновения без повторного заземления

Векторная диаграмма напряжений для рассмотренного случая представлена ниже (рис. 17).

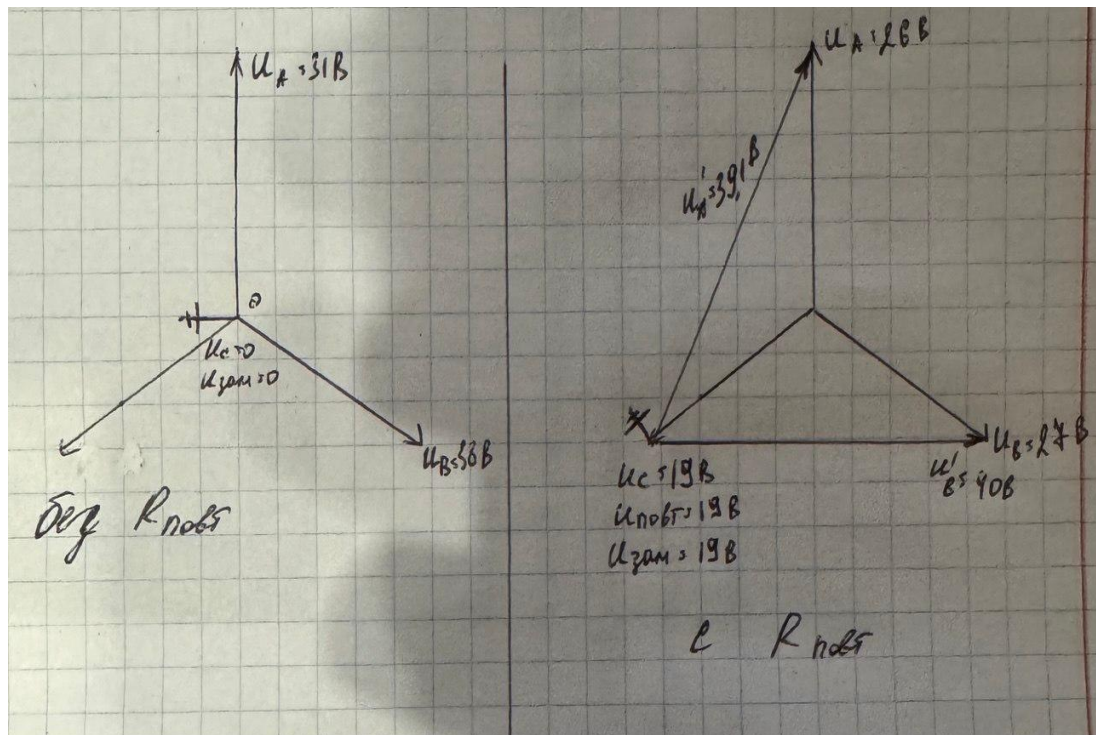


Рис. 17 – Диаграмма напряжений для напряжения касания при замыкании фазы на землю

Выводы

В ходе обработки результатов лабораторной работы были исследованы режимы однофазного прикосновения человека:

Прямое однофазное прикосновение считается опасным из-за того, что напряжение при прикосновении определяется фазовым напряжением, так как сопротивление рабочего заземления нейтрали мало (4 Ом) и не зависит от сопротивлений относительно земли.

Ток проходит через рабочее заземление и человека, что создает опасные значения токов.

Если же мы замыкаем фазу на землю, то напряжение прикосновения становится больше фазного, что более опасно, чем при прямом соприкосновении.

При выполнении защитного заземления с соблюдением требований к заземляющему устройству ($R_{\text{зaz}} = 4 \text{ Ом}$) напряжение может быть уменьшено максимум в 2 раза, а если заземлить корпус на элементы, случайным образом связанные с землей ($R_{\text{зaz}} = 100 \text{ Ом}$), то напряжение прикосновения практически не будет отличаться от фазного напряжения.

При замыкании фазы на корпус зануленного приемника ток протекает по контуру фаза-ноль и ток достигает максимального значения $I_{\text{кз}}$, что приводит к срабатыванию защиты и снятию напряжения со стенда.

При неправильно выбранной уставки срабатывания максимальной токовой защиты $I_{\text{кз}}$ недостаточен и предохранитель не срабатывает: он не отключил поврежденный электроприемник, снятие напряжение не произошло (при этом напряжение на нулевом проводе и на всех корпусах неповрежденных электроприемников большое). В этом случае прикосновение к нулевому проводу небезопасно.

В случае обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю напряжение на нулевом проводе и на всех корпусах неповрежденных электроприемников оказывается очень большим, что является опасным для человека, а при включении повторного заземления

образуется контур фаза-земля- $R_{\text{повт}}$ -ноль, что приводит к уменьшению напряжения на нулевом проводе и фазах.