

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 трёхфазных
сетях с заземлённой нейтралью.

Студентка гр. 1304

Чернякова В.А.

Студентка гр. 1304

Ярусова Т.В.

Студент гр. 1304

Байков Е.С.

Преподаватель

Демидович О.В.

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.

Общие сведения.

Согласно существующим правилам электроустановки с напряжением до 1000 В жилых, общественных и промышленных зданий, а также наружные установки, д. получать питание от источника, как правило, с глухозаземленной нейтралью. Общий вид таких сетей для анализа безопасности:

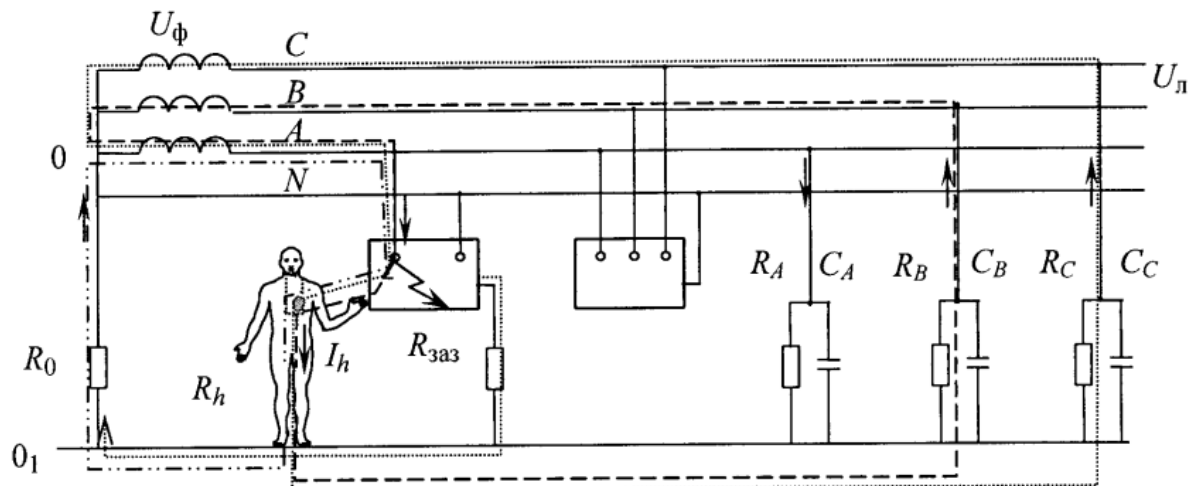


Рисунок 1. Электрическая схема сети для анализа безопасности с контурами возможных токов

Прямое однофазное прикосновение в такой системе очень опасно. Напряжение прикосновения определяется значением фазного напряжения из-за малого сопротивления рабочего заземления нейтрали R_0 (нормируемое значение ≤ 4 Ом для 220 В) и практически не зависит от сопротивления 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 напряжение прикосновения становится больше фазного, но может быть скорее всего ближе к фазному, чем к линейному:

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

$a = e^{j120} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$ - 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.

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

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

Опасность использования защитного заземления в электроприёмнике не ограничивается тем, где оно применено. Гораздо более опасным оказывается прикосновение к правильно зануленным корпусам исправных электроприемников. При фазном напряжении 220 В на них появится напряжение, которое определяется падением напряжения на рабочем заземлении R_0 :

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

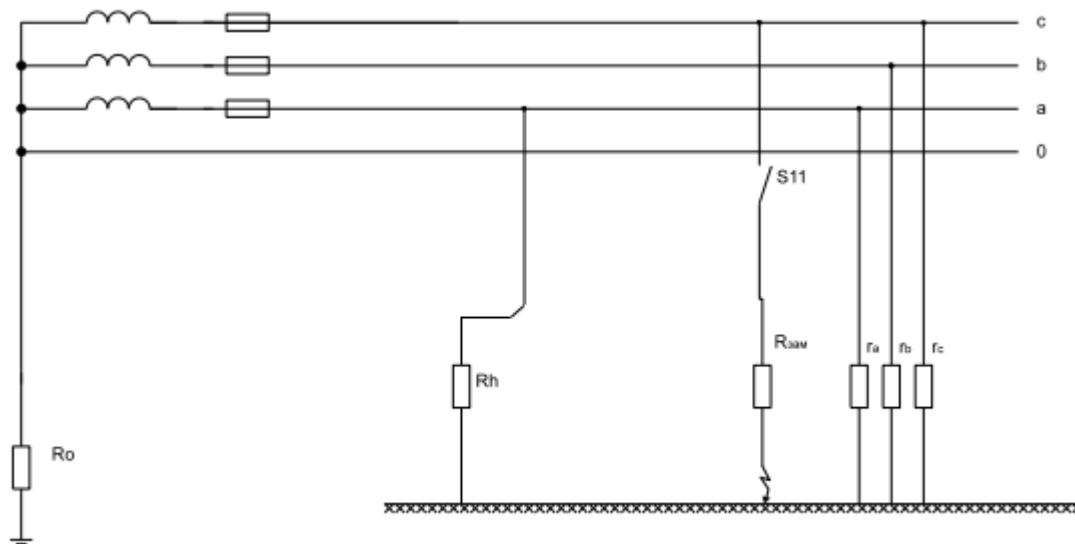
Выполнение работы.

1. Анализ условий опасности прямого прикосновения в системе TN

1.1. Прямое прикосновение к фазе А

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
RA	RB	RC	Rзам	Rзав	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
5000	5000	5000			28	27	24	0	0	27
150000	150000	150000			28	27	24	0	0	27

Электрическая схема:

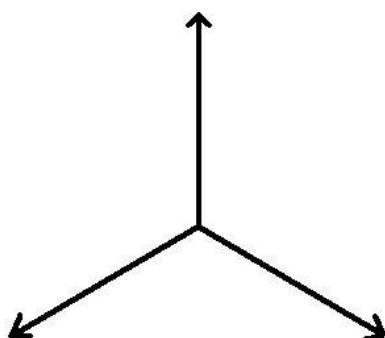


Так как ток в основном течет через сопротивление $R_h = 1$ кОм (это меньше R_ϕ равно 5 кОм или 150кОм), то при изменении сопротивления фаз их напряжение не меняется.

Напряжение прикосновения:

$$U_h = U_\phi \frac{R_h}{R_0 + R_h} = 27 \frac{1000}{4 + 1000} = 26,89 \text{ В} \approx U_\phi$$

Векторная диаграмма:



1.2. Прямое прикосновение при замыкании фазы С на землю

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
RA	RB	RC	Rзам	Rзав	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
150000	150000	150000	50		29	29	21	2	2	29
150000	150000	150000	100		28	28	22	1	1	28

Напряжение прикосновения:

$$U_h \approx \frac{U_\phi(1 - a)g_{\text{зам}_c} + g_0}{g_{\text{зам}_c} + g_0}$$

$$a = e^{j120} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - \text{оператор поворота}$$

$$j = \sqrt{-1}$$

$$g_0 = \frac{1}{R_0}$$

$$g_{\text{зам}} = \frac{1}{R_{\text{зам}}}$$

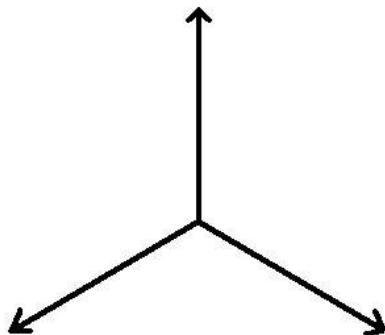
При $R_{\text{зам}} = 50$ Ом:

$$U_h = \frac{U_\phi(1 - a)g_{\text{зам}_c} + g_0}{g_{\text{зам}_c} + g_0} = 27 \frac{1 - \left(-\frac{1}{2} + \frac{j\sqrt{3}}{2}\right)\frac{1}{50} + \frac{1}{4}}{\frac{1}{50} + \frac{1}{4}} \approx 28.5 \text{ В} > U_\phi$$

При $R_{\text{зам}} = 100$ Ом:

$$U_h = \frac{U_\phi(1 - a)g_{\text{зам}_c} + g_0}{g_{\text{зам}_c} + g_0} = 27 \frac{1 - \left(-\frac{1}{2} + \frac{j\sqrt{3}}{2}\right)\frac{1}{100} + \frac{1}{4}}{\frac{1}{100} + \frac{1}{4}} \approx 28.12 \text{ В} > U_\phi$$

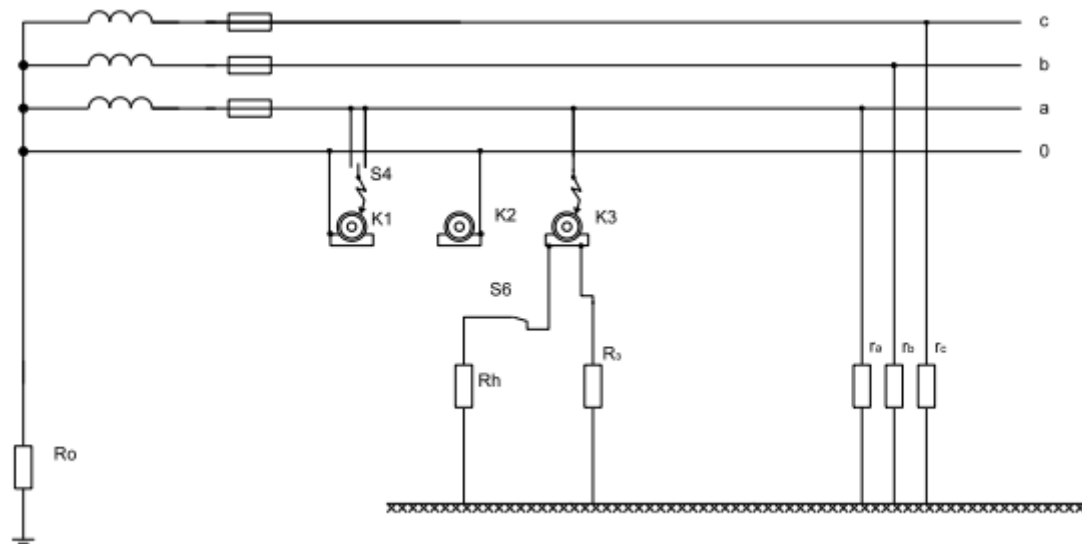
Векторная диаграмма:



2. Оценка опасности заземления корпусов при непрямом прикосновении

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
RA	RB	RC	Rзам	Rзaz	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
150000	150000	150000		4	16	34	31	9	9	15
150000	150000	150000		100	25	29	25	2	2	25

Электрическая схема:



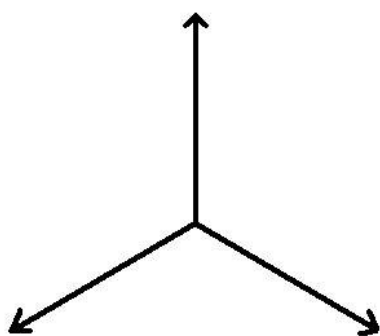
Когда сопротивление $R_{зaz} = 4$ Ом и равно рабочему заземлению нейтрали R_0 , напряжение прикосновения уменьшилось примерно до половины фазного напряжения:

$$U_h = U_\phi \frac{R_{зaz}}{R_0 + R_{зaz}} = 27 \frac{4}{4 + 4} = 13,5 \text{ В}$$

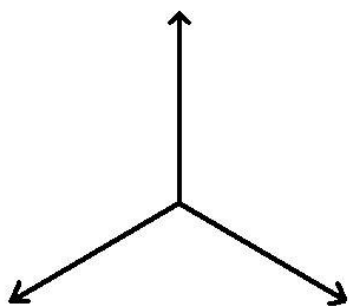
В случае заземления на элементы, случайным образом связанных с землей ($R_{зaz} = 100$ Ом):

$$U_h = U_\phi \frac{R_{зaz}}{R_0 + R_{зaz}} = 27 \frac{100}{4 + 100} = 25,96 \text{ В} \approx U_\phi$$

Векторные диаграммы:



$$R_{зaz} = 4 \text{ Ом}$$



$$R_{\text{ззз}} = 100 \text{ Ом}$$

3. Изучение принципа действия зануления

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
RA	RB	RC	Rзам	Rззз	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
150000	150000	150000			0	0	0	0	0	0

Одним из способов защиты от поражения током в режиме замыкания фазы на корпус является зануление (преднамеренное электрическое соединение корпуса с нулевым проводом).

Из полученных результатов опыта следует, что при замыкании фазы на корпус происходит автоматическое отключение электрического прибора от сети. Происходит это вследствие протекания тока короткого замыкания на нулевой провод, что в свою очередь вызывает срабатывание максимальной токовой защиты (выключателя и предохранителя).

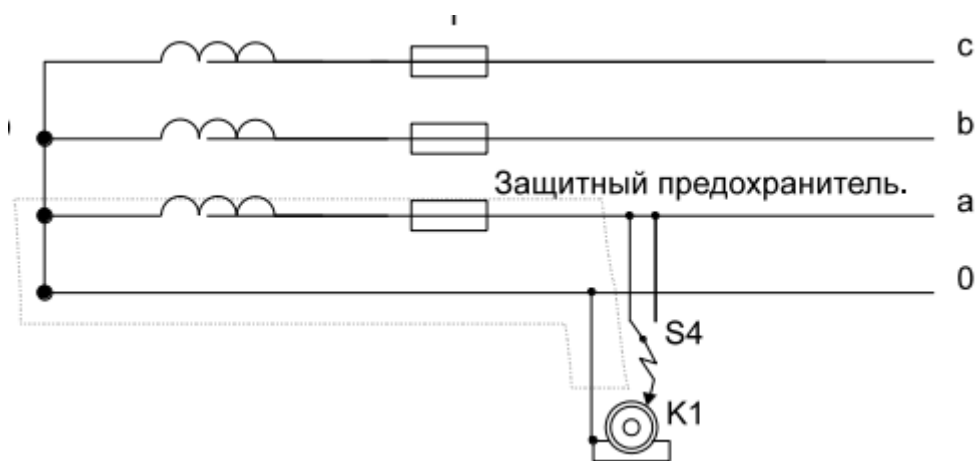
4. Оценка опасности зануления корпусов при непрямом прикосновении

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

Фаза А замкнута на зануленный корпус К1-2. В данном случае ток замыкания недостаточен для срабатывания предохранителя: он не отключил поврежденный электроприемник, автоматическое снятие напряжения со стенда не произошло.

Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
RA	RB	RC	Rзам	Rззз	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
150000	150000	150000			28	28	24	13	13	

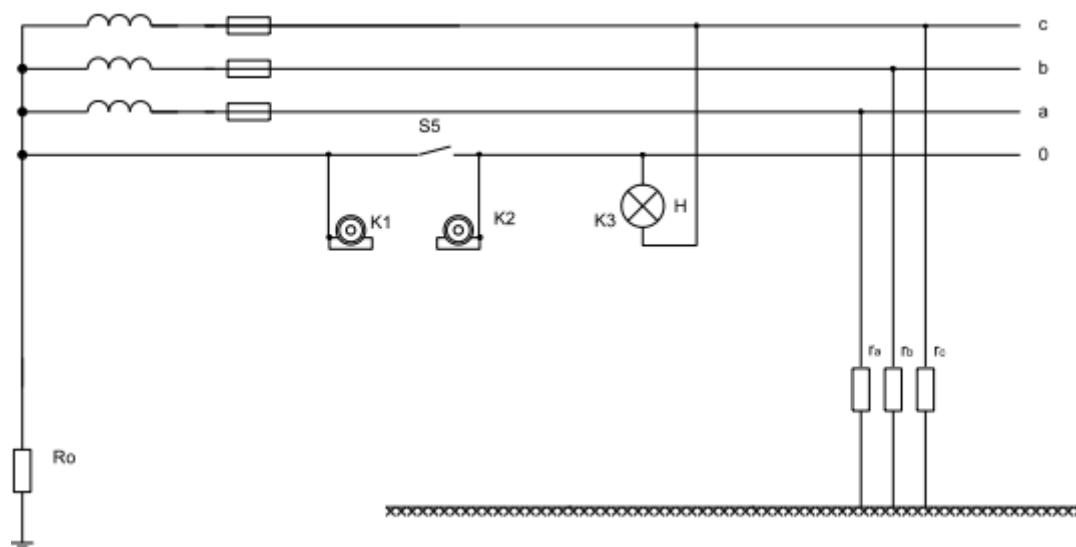
Электрическая схема:



4.2. Случай обрыва нулевого провода или неправильной установки в нем выключателя нагрузки.

Выключатели	Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	RA	RB	RC	Rзам	Rзаз	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
S10 вкл S16 выкл	150000	150000	150000			27	27	24	0	24	
S10 выкл S16 выкл	150000	150000	150000			27	27	24	0	0	
S10 вкл S16 вкл	150000	150000	150000			28	28	23	1	2	
S10 выкл S16 вкл	150000	150000	150000			27	27	24	0	0	

Электрическая схема:

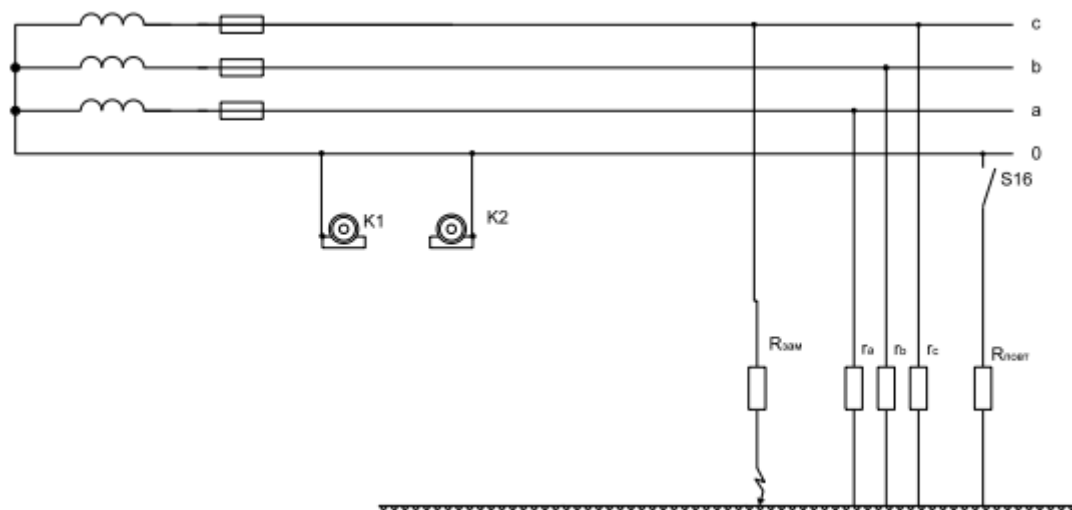


При введении повторного заземления нулевого провода уменьшается опасность поражения на зануленных корпусах в период замыкания фазы на корпус. В случае обрыва – уменьшает напряжение.

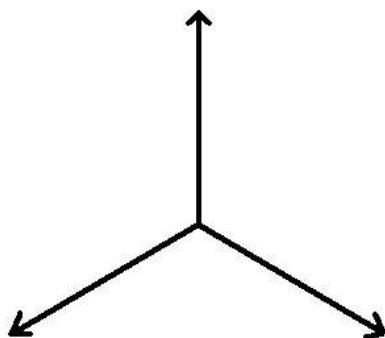
4.3. Случай обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю.

Выключатели	Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	RA	RB	RC	Rзам	Rзаз	UA01	UB01	UC01	UK1, U0	UK2	UK3, Uh
S16 вкл	150000	150000	150000	50		45	46	0	23	23	
S16 выкл	150000	150000	150000	50		32	32	12	6	6	

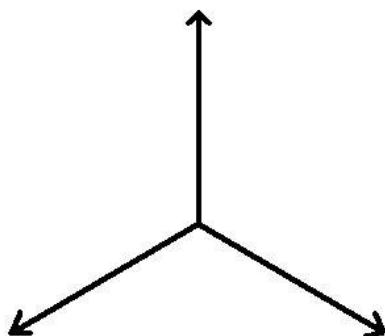
Электрическая схема:



Векторные диаграммы:



Без повторного заземления.



Повторное заземление есть.

Выводы.

В ходе лабораторной работы были исследованы режимы однофазного прикосновения человека.

1.1. Прямое однофазное прикосновение считается опасным из-за того, что напряжение при прикосновении определяется фазовым напряжением, так как сопротивление рабочего заземления нейтралю мало, равно 4 Ом, и не зависит от сопротивлений относительно земли. То есть ток проходит через рабочее заземление и человека, что создает опасные значения токов.

1.2. При замыкании какой-либо фазы на землю напряжение прикосновения становится больше фазного – это опаснее, чем прикосновение в нормальных условиях.

2. При наличии заземления уменьшается напряжение прикосновения. Максимально можно уменьшить напряжение лишь в два раза (при выборе сопротивления заземления равного рабочему). Однако, прикосновение к корпусу, заземленному на элементы, случайным образом связанные с землей, вызовет большое напряжение прикосновения (которое практически не будет отличаться от фазного напряжения), достаточное для поражения человека.

3. При замыкании фазы на корпус зануленного приемника ток протекает по контуру фаза-ноль и ток достигает максимального значения I_{K3} , что приводит к срабатыванию защиты и снятию напряжения со станда.

4.1. При неправильном выборе уставки срабатывания максимальной токовой защиты (возьмем завышенную), то при замыкании фазы на зануленный корпус, ток замыкания будет недостаточен для срабатывания предохранителя: он не отключит поврежденный электроприемник.

4.2. При обрыве нулевого провода и неправильной установке выключателя нагрузки напряжение прикосновения равно 0 на зануленных приборах, пока нагрузка выключена. При включении нагрузки и отключенном повторном заземлении напряжение на корпусе К2 становится близким к фазному, а при добавлении повторного заземления (нулевой провод оборван) происходит

перераспределение напряжения между корпусами K1 и K2. Соотношение напряжений зависит от соотношения рабочего и повторного заземлений.

4.3. 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 повт -ноль, что приводит к уменьшению напряжения на нулевом проводе и фазах.