

Министерство образования Кыргызской
Республики

Кыргызский Технический Университет
им.И.Раззакова

Кафедра «Техносферная безопасность»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной
работе
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Бишкек 2019

Составители: Жапакова Бурул Сабырбековна
Рыспеков Эркин Рыспекович

Рецензент: Сариев Б. И.

Цель работы: оценить эффективность действия зануления в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В. В ходе лабораторной работы необходимо: 1. Определить токи замыкания на землю и напряжения на корпусе относительно земли, с различными сопротивлениями заземления нейтрали в аварийном режиме, при отсутствии нулевого защитного проводника; 2. Определить ток короткого замыкания при наличии нулевого защитного проводника.

ЗАНУЛЕНИЕ

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением.

Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом. Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника, который также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой источника тока, но предназначен для питания током электроприемников, т.е. является частью цепи рабочего тока и по нему проходит рабочий ток.

Принципиальная схема зануления в сети трехфазного тока показана на рис.1

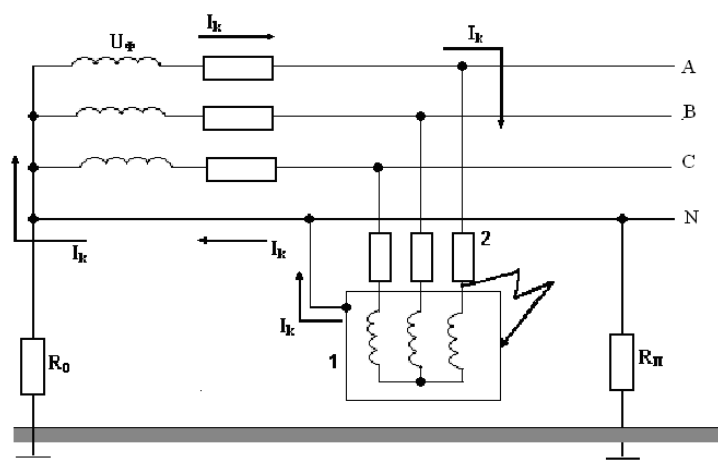


Рис.1.

Принципиальная схема зануления: 1 - корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т.п.) ; 2 - аппараты для защиты от токов короткого замыкания (предохранители, автоматические выключатели и т.п.); R_0 – сопротивления заземления нейтрали источника тока; R_n – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; I_K – ток короткого замыкания

При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключится, если выполняется следующее условие

$$I_K \geq k I_{ном},$$

где k - коэффициент кратности номинального тока $I_{ном}$, (А) плавкой вставки предохранителя или автоматического выключателя. Значение коэффициента k принимается в зависимости от типа защиты электроустановки.

Назначения зануления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением относительно земли вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание, т.е. замыкание между фазным и нулевым проводами с целью вызвать большой ток, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную электроустановку от питающей сети. Такой защитой являются плавкие предохранители или автоматические выключатели, устанавливаемые перед потребителями энергии для защиты от токов короткого замыкания. Скорость отключения поврежденной установки, т.е. время с момента появления напряжения на корпусе до момента отключения установки от питающей электросети, составляет 5...7 с при защите установки плавкими предохранителями и 1...2 с – при защите автоматами.

Кроме того, поскольку зануленные корпуса (или другие не токоведущие части) заземлены через нулевой защитный проводник, то в аварийный период, т.е. с момента возникновения замыкания фазы на корпус и до автоматического отключения поврежденной электроустановки от сети, проявляется защитное свойство этого заземления, как при защитном заземлении. Иначе говоря, заземление зануленных частей через нулевой защитный проводник снижает в аварийный период их напряжение относительно земли.

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия, быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети и снижение напряжения зануленных металлических нетоковедущих частей, оказавшихся под напряжением, относительно земли.

При этом отключение осуществляется лишь при замыкании на корпус, а снижение напряжения во всех случаях возникновения напряжения на зануленных металлических нетоковедущих частях, в том числе при замыкании на корпус, электростатическом и электромагнитном влияниях соседних цепей, выносе потенциала от других электроустановок и т.п.

Область применения зануления – трехфазные четырехпроводные сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью. Обычно это сети напряжением 380/220 В, широко применяющиеся в промышленности и других отраслях, а также сети 220/127 В и 660/380 В.

Схема зануления требует наличия в сети нулевого защитного проводника, заземления нейтрали источника тока и повторного заземления нулевого проводника.

Рассмотрим назначение этих элементов применительно к наиболее распространенным электрическим сетям – трехфазным переменного тока.

1. Назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления – создание для тока короткого замыкания цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для быстрого отключения поврежденной установки от сети.

Пусть мы имеем схему без нулевого защитного проводника, роль которого выполняет земля (рис.2).

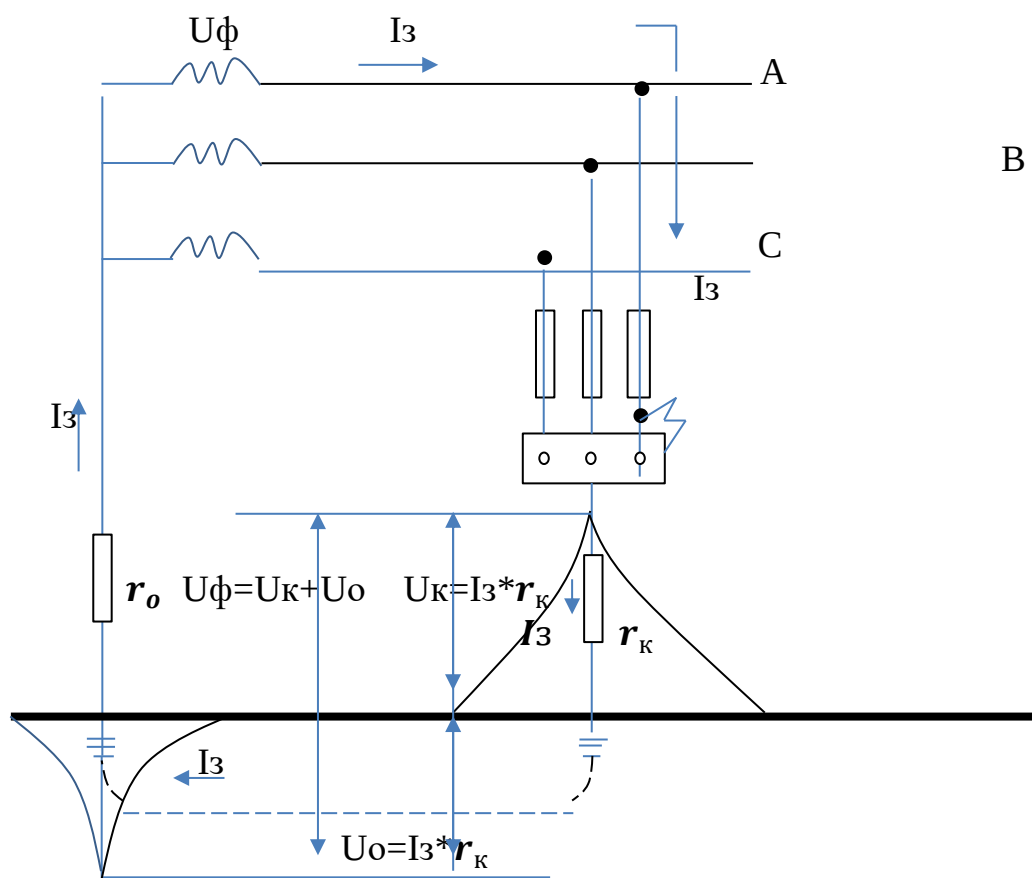


Рис.2.

При замыкании фазы на корпус по цепи, образовавшейся через землю, будет проходить ток

$$I_3 = \frac{U_\phi}{(r_o + r_k)} ,$$

Где U_ϕ – фазное напряжение сети, (В);

r_o, r_k – сопротивления заземления нейтрали и корпуса, (Ом).

Сопротивления обмоток источника тока (Н: трансформатора) и проводов сети малы по сравнению с r_o и r_k , поэтому их в расчет не принимаем.

В результате протекания тока через сопротивление r_k в землю на корпусе возникает напряжение относительно земли U_k , (В), равное падению напряжения на сопротивлении r_k :

$$U_k = I_3 r_k = \frac{U_\phi r_k}{(r_k + r_o)} .$$

Ток I_3 может оказаться недостаточным, чтобы вызвать срабатывание максимальной токовой защиты, т.е. электроустановка может не отключиться. Например, при $U_\phi = 220$ В и $r_o = r_k = 4$ Ом

$$I_3 = \frac{220}{(4+4)} = 27,5 \text{ А}.$$

Если при этом ток срабатывания защиты больше (чем $I_3 = 27,5$ А), то отключения не произойдет и корпус будет находиться под напряжением до тех пор, пока электроустановку не отключат в ручную.

$$U_k = \frac{220 \cdot 4}{(4+4)} = 110 \text{ В}$$

Такое положение не допустимо, так как возникает угроза поражения током людей, прикоснувшихся к корпусу поврежденного оборудования. Чтобы устранить эту опасность, надо обеспечить быстрое автоматическое отключение установки, т.е. увеличить ток, проходящий через защиту, что достигается уменьшением сопротивления цепи этого тока путем введения в схему нулевого защитного проводника.

В трехфазной сети напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью без нулевого провода невозможно обеспечить безопасность при замыкании фазы на корпус, поэтому такую сеть применять запрещается.

2. Назначение заземления нейтрали – снижение до безопасного значения напряжения относительно земли нулевого проводника (и всех присоединенных к нему корпусов) при случайном замыкании фазы на землю.

Рассмотрим сеть с заземленной нейтралью, при замыкании фазы на землю (обрыв и падения на землю фазного провода, рис.3):

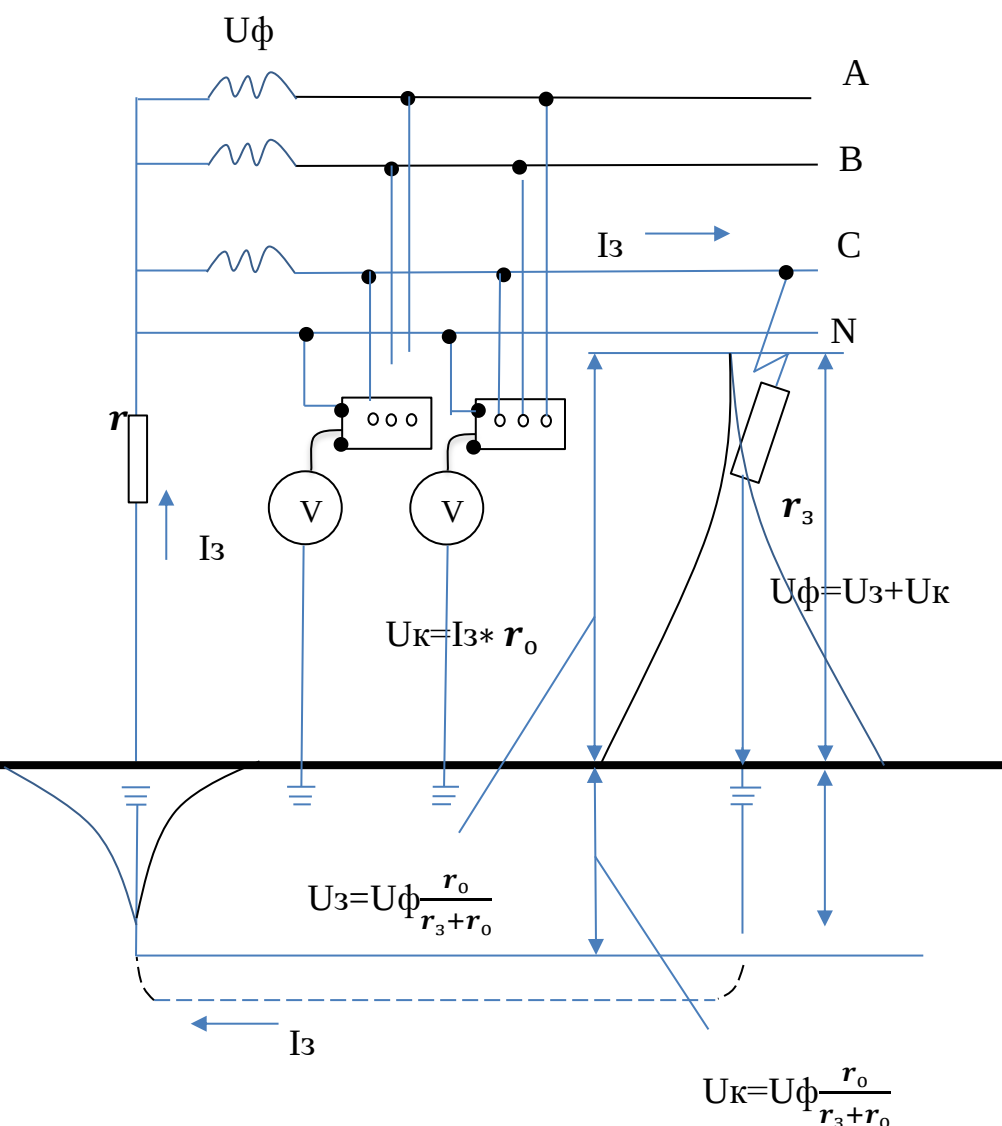


Рис.3.

В этом случае U_ϕ , (В), разделится пропорционально сопротивлениям замыкания фазы на землю r_3 , (Ом), и заземления нейтрали r_0 , (Ом), благодаря чему U_k , (В) уменьшится и будет равно падению напряжения на сопротивлении заземления нейтрали:

$$U_k = I_3 r_0 = \frac{U_\phi r_0}{(r_3 + r_0)},$$

Где I_3 - ток замыкания на землю, (А).

Как правило, сопротивление r_3 которое оказывает грунт ,току при случайном замыкании фазы на землю, во много раз больше сопротивления специально выполненного заземления нейтрали r_0 . Поэтому U_k оказывается незначительным. Например, при $U_\phi = 220$ В, $r_0 = 4$ Ом и $r_3 = 100$ Ом

$$U_k = \frac{220 \cdot 4}{(4 + 100)} = 8,5 \text{ В.}$$

Такое напряжение, как правило, считается безопасным.

Следует отметить, что электрическая сеть до 1000 В с нулевым защитным проводником, с изолированной нейтралью обмоток источника тока и без повторных заземлений нулевого защитного проводника, представляет большую опасность поражения током и поэтому не применяется. Так как при замыкании фазы на землю, земля приобретает потенциал фазы и между зануленным оборудованием, имеющим нулевой потенциал, и землей возникает напряжение $U_{к,(В)}$, близкое по значению к фазному напряжению сети U_{ϕ} . Такое положение весьма опасно, так как максимальная токовая защита при этом не сработает.

3. Назначение повторного заземления нулевого защитного проводника.

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на отключающую способность схемы зануления. Но при отсутствии повторного заземления нулевого защитного проводника возникает опасность для людей, прикасающихся к зануленному оборудованию в период, пока существует замыкание на корпус и в случае обрыва нулевого защитного проводника.

При замыкании фазы на корпус в сети, не имеющей повторного заземления нулевого защитного проводника, находящийся за местом замыкания, и все присоединённые к нему корпуса окажутся под напряжением относительно земли $U_{н,(В)}$, равным:

$$U_{н} = I_k Z_{н.з.},$$

где I_k -ток КЗ, проходящий по петле фаза-нуль, (А);

$Z_{н.з.}$ - полное сопротивление участка нулевого защитного проводника, обтекаемого током I_k , (Ом).

$$Z_{н.з.} = \sqrt{R_{н.з.}^2 + X_{н.з.}^2};$$

Если пренебречь сопротивлением обмоток источника тока и индуктивным сопротивлением фаза-нуль (связи с тем что они очень малы), и считать, что фазный и нулевой защитный проводники обладают лишь активными сопротивлениями R_{ϕ} , $R_{н.з.}$ (Ом), то

$$U_{н} = I_k R_{н.з.} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_{н.з.}} R_{н.з.},$$

Если в сети 380/220 В принять, $R_{н.з.} = 2R_{\phi}$ допустить что, падение напряжение в фазном проводнике составит $\frac{U_{\phi}}{3}$, а в нулевом защитном $\frac{2U_{\phi}}{3}$, то

$$U_{н} = \left(\frac{2}{3}\right) 220 = 147 \text{ В.}$$

Это напряжения будут существовать в течение аварийного периода (до отключения поврежденной установки от сети). Очевидно, что такое положение представляет угрозу поражения людей электрическим током.

Если нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление с сопротивлением $r_{п}$, Ом, то $U_{н}$ снизится до значения :

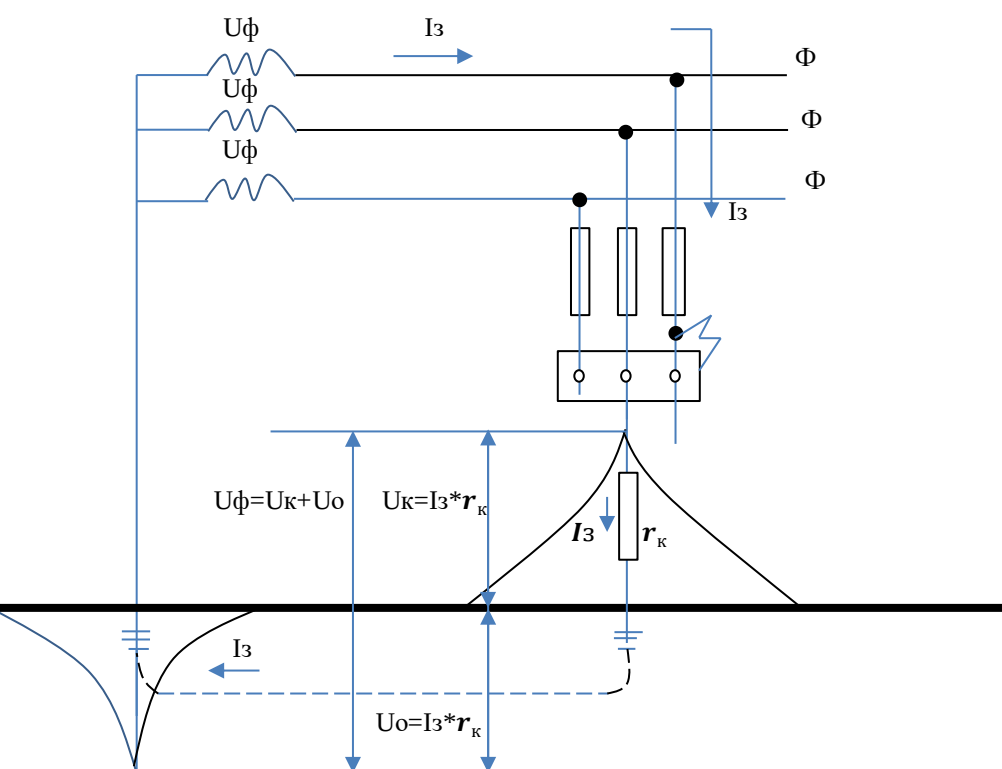
$$U_{н} = I_3 r_{п} = \frac{2U_{\phi}}{3} \frac{r_{п}}{(r_{п} + r_0)},$$

где r_0 - сопротивление заземления нейтрали источника тока (Ом).

При одинаковых значениях r_n и r_0 получим $U_n = \frac{U_\phi}{3} = \frac{220}{3} = 74 \text{ В}$,

Отсюда видно что повторное заземление нулевого защитного проводника снижает напряжение на зануленных корпусах в период замыкания фазы на корпус.

При случайном обрыве нулевого защитного проводника (Рис.4а) и замыкании фазы на корпус за местом обрыва (при отсутствии повторного заземления) напряжение относительно земли участка нулевого защитного проводника за местом обрыва и всех присоединенных к нему корпусов, в том числе корпусов исправных установок, окажется близким по значению фазному напряжению сети. Это напряжение будет существовать длительно, поскольку поврежденная установка автоматически не отключится и ее будет трудно обнаружить среди исправных установок



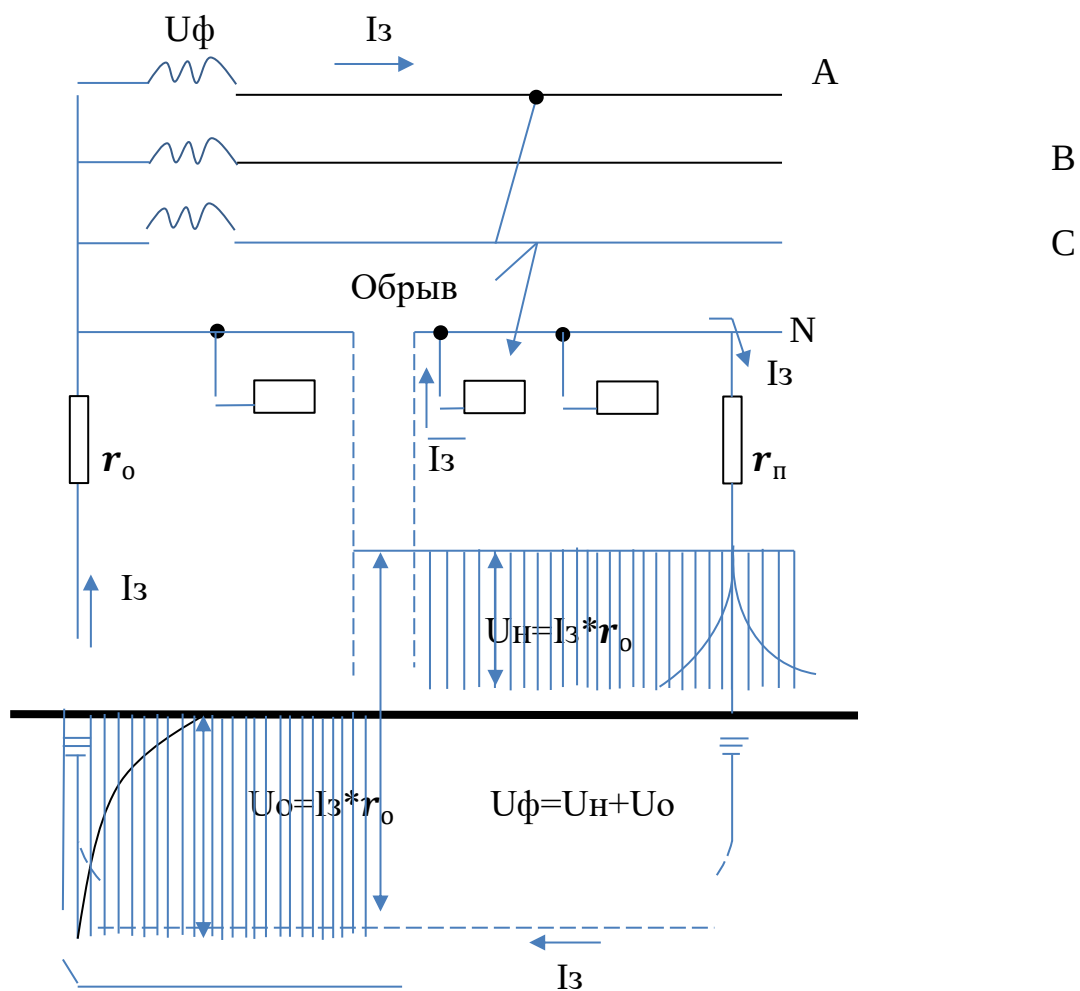


Рис.4б

Если же нулевой защитный проводник имеет повторное заземление рис.4б, то при обрыве его сохранится цепь тока I_3 , через землю благодаря чему напряжение зануленных корпусов, находящихся за местом обрыва, снизится до

$$U_H = I_3 r_\Pi = \frac{U_\phi r_\Pi}{(r_0 + r_\Pi)}.$$

При этом корпуса установок, присоединенных к нулевому защитному проводнику до место обрыва, приобретут напряжение относительно земли ;

$$U_K = I_3 r_0 = \frac{U_\phi r_0}{(r_0 + r_\Pi)},$$

Если считать что $\mathbf{r}_{\Pi} = \mathbf{r}_0$, все установки присоединенные к нулевому защитному проводнику, как до места обрыва, так и после него, будут находиться под одинаковым напряжением:

$$U_{\text{H}} = U_0 = 0,5\bar{U}_{\phi}.$$

Таким образом *назначение повторного заземления нулевого защитного проводника* – уменьшение опасности поражения людей током (путем снижения напряжения), возникающей при обрыве этого проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

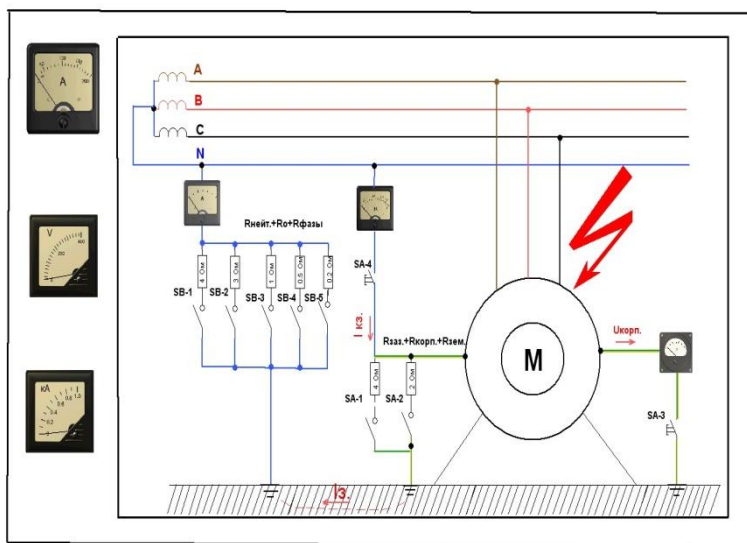


Рис. 5.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания с глухозаземленной нейтралью, с заземлением и занулением не токоведущих металлических частей электрического оборудования рис. 5).

Стенд позволяет измерить токи замыкания на землю, ток короткого замыкания и напряжение прикосновения, при замыкании фазы на корпус электрического оборудования.

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора:

- вольтметр с диапазоном измерения от 0 до 250 В;
- амперметр с диапазоном измерения от 0 до 100 А;
- килоамперметр с диапазоном измерения от 0 до 1,3 кА.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проверить положение тумблеров, все тумблеры (SA1, SA2, SA3, SA4) должны быть в положении «отключено».
2. Включить стенд к источнику с напряжением 220 В.
3. Выбрать вариант работы путем установления сопротивления заземления корпуса и включить тумблер соответствующего варианта SA1=4 Ом (вариант №1), SA2=2 Ом (вариант №2). При этом все кнопочные выключатели (SB1...SB5) отключены.
4. Нажимая на кнопочные выключатели по очереди SB1=4 Ом, SB2=3 Ом, SB3=1 Ом, SB4=0,5 Ом, SB5=0,2 Ом задаем сопротивление заземленной нейтрали (R_{Ni}). При нажатии на каждую кнопку амперметр покажет значение тока замыкания на землю I_z (А).
5. Снять показания тока замыкания на землю с амперметра и внести табл. №1.
6. После окончания отключить тумблер SA1 и SA2.
7. Включить тумблер SA3.
8. Путем изменения сопротивления нейтрали R_N (нажимая по очереди на кнопочные выключатели SB1, SB2, SB3, SB4, SB5), снять показания напряжения на корпусе относительно земли (U_K) из вольтметра и полученные данные занести табл. №1.

Таблица №1

Фазное напряжение U_{ϕ} (В)	220	220	220	220	220
Сопротивление заземления корпуса SA1 или SA2					
Сопротивление нейтрали (R_{Ni})					
Ток замыкания на землю I_z (А)					
Напряжения на корпусе относительно земли U_K (В)					

9. После окончания измерений отключить тумблер SA3.
10. Включить тумблер SA4 нулевого защитного проводника.

11. Снять показания тока короткого замыкания $I_{кз}$ (кА) с килоамперметра и заполнить таблицу №2. Нулевой защитный проводник обладает сопротивлением равным 0,2 Ом.

Таблица №2

Фазное напряжение U_{ϕ} (В)	220
Ток короткого замыкания $I_{кз}$ (кА)	

13. После окончания работы отключить тумблер SA4 и отключить стенд из источника питания.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- принципиальные схемы исследуемых режимов;
- краткие выводы по каждому из разделов измерений;
- обработанные результаты измерений, представить в виде таблицы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. *Что такое зануление?*
2. *В чем суть принципа действия зануления как меры обеспечения электробезопасности?*
3. *В каких сетях используют зануление для обеспечения электробезопасности?*
4. *Каково назначение нулевого защитного проводника?*
5. *Для чего предназначены повторные заземлители нулевого защитного проводника?*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ 12.1.030 – 81** ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
2. **Правила** устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. **Долин П.А.** Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.