

Лабораторная работа  
ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАНУЛЕНИЯ

Цель работы: работа предусматривает проверку надежного отключения поврежденного участка электрической цепи предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями при однофазных замыканиях в электрических установках с напряжением до 1000 В, работающих в сетях с заземленной нейтралью.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При обслуживании производственного оборудования операторы прикасаются к его нетоковедущим частям. Такое прикосновение в большинстве случаев является нормальной операцией, например, работа на металлорежущем станке, приводом которого является электродвигатель. Пробой изоляции или другие неисправности электрооборудования установки могут повлечь за собой появление напряжения на его нетоковедущих частях, что, в свою очередь, может привести к несчастному случаю. Одной из мер защиты может служить защитное заземление (рис. 1).

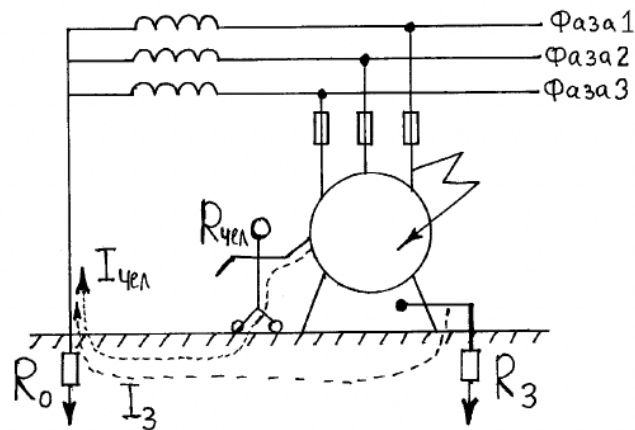


Рис.1. Схема защитного заземления:  $R_0$  - сопротивление заземления нейтрали сети;  
 $R_3$  - сопротивление заземления;  $R_{чел}$  - сопротивление человека;  $I_{чел}$  - ток, протекающий через человека,  $I_3$  - ток замыкания на землю

Однако в сетях с заземленной нейтралью заземление корпуса электроустановки неспособно обеспечить в полной мере защиту от поражения электрическим током. При замыкании на корпусе ток неисправной фазы замкнется по контуру «фаза - корпус - заземление корпуса - грунт - заземление нейтрали - фаза». Значение тока в этом контуре определяется в основном сопротивлениями  $R_3$  и  $R_0$ , так как сопротивление других участков значительно меньше:

$$I_3 = \frac{U_\Phi}{R_3 + R_0} ,$$

а напряжение на корпусе относительно Земли определяется так:

$$U_3 = U_\Phi \frac{R_3}{R_3 + R_0} .$$

Так как обычно  $R_3 \approx R_0$ , то напряжение на корпусе равно половине фазного напряжения. При  $R_3 > R_0$  оно приближается к фазному, то есть может привести к еще большему поражению. Отключения поврежденной фазы средствами защиты (плавкий предохранитель, автомат) может в этом случае не произойти, так как ток  $I_3$  окажется недостаточным. Допустим, электроустановка работает в сети с  $U_\Phi = 220$  В. Если принять  $R_3 = R_0 = 4$  Ом и пренебречь сопротивлением проводов, то ток короткого замыкания  $I_3$ , А, выразится формулой:

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

В связи с тем, что надежное срабатывание предохранителя с плавкой вставкой происходит при трехкратном превышении номинального тока, то он обеспечит защиту только для установок с потреблением по фазе 9 А и меньше. В установках с большими токами потребления и соответствующими номинальными токами устройств защиты отключения не произойдет.

Для обеспечения электробезопасности посредством надежного отключения аварийного участка цепи в цепях с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В применяют зануление, т.е. соединение корпусов электроустановок с заземленной нейтралью трансформатора или генератора (рис. 2).

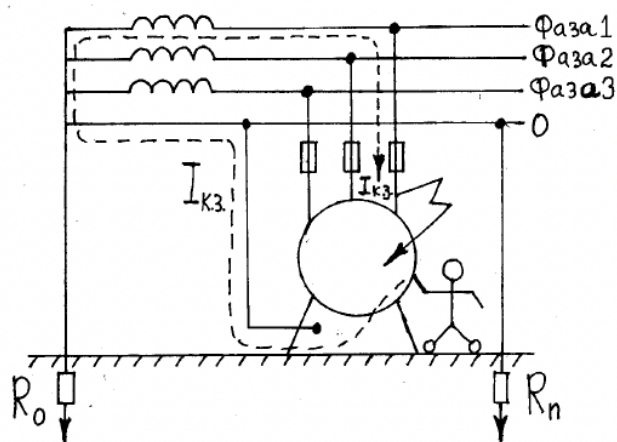


Рис.2. Схема зануления:  $R_0$  – сопротивление заземления нейтрали сети;  
 $R_n$  – сопротивление повторного заземления нейтрали;  $I_{кз}$  – ток короткого замыкания

Принцип действия зануления – превращение короткого замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает защита (плавкая вставка предохранителя, автоматический выключатель), которая отключит поврежденный участок сети. При замыкании, например, фазы 1 на корпус (рис. 2) ток короткого замыкания проходит по контуру: «Обмотка трансформатора – фазный провод – корпус установки – зануляющий провод – нулевой провод», т.е. образуется петля «фаза - нуль».

Значение тока короткого замыкания:

$$I_{кз} = \frac{U_{\Phi}}{R_{тр} + R_{\Phi} + R_0} , \quad (1)$$

где  $R_{тр}$  – сопротивление одной фазы трансформатора,

$R_{\Phi}$  и  $R_0$  – сопротивления соответственно фазного и нулевого проводов

Величина сопротивления петли без учета обмотки питающего трансформатора:

$$R_{пет} = R_{\Phi} + R_0 . \quad (2)$$

В этом случае выражение (1) принимает вид:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\Phi}}{R_{тр} + R_{пет}} . \quad (3)$$

Учитывая, что сопротивление фазной обмотки трансформатора или генератора и сопротивление фазного провода представляет весьма малую величину (десятые доли Ом), большое значение тока короткого замыкания обеспечивает цепь зануления и нулевой провод. Для большинства сетей величина сопротивления петли «фаза - ноль» составляет 0,2...2,0 Ом. Таким образом, для сети напряжением 220 В  $I_{к.з.} = 110...1100$  А. Очевидно, что при таком токе защита должна сработать.

### НОРМИРОВАНИЕ ЗАНУЛЕНИЯ

Требования к цепям зануления изложены в ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» и в «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ) [1,2].

В электроустановках до 1000 В с заземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть такой, чтобы при замыкании на корпус возникал ток короткого замыкания, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток ( $I_n$ ) плавкого элемента ближайшего предохранителя:

$$I_{к.з.} \geq 3 \times I_n . \quad (4)$$

В 1,4 и в 1,25 раз относительно тока уставки ( $I_{уст.}$ ) автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем с номинальным током до 100 А и более 100 А соответственно:



$$I_{к.з.} \geq 1,4 \times I_{уст.}; \quad (5)$$

$$I_{к.з.} \geq 1,25 \times I_{уст.}. \quad (6)$$

Значение  $I_{уст.}$  указывается в паспорте на автомат. Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50% проводимости фазного проводника.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема лабораторной установки приведена на рис. 3 [3-5]. В данной установке реализован метод проверки достаточной проводимости петли «фаза - нуль» с отключением питающего напряжения от потребителя, то есть производится измерение без учета сопротивления обмотки питающего трансформатора  $Tr1$ .

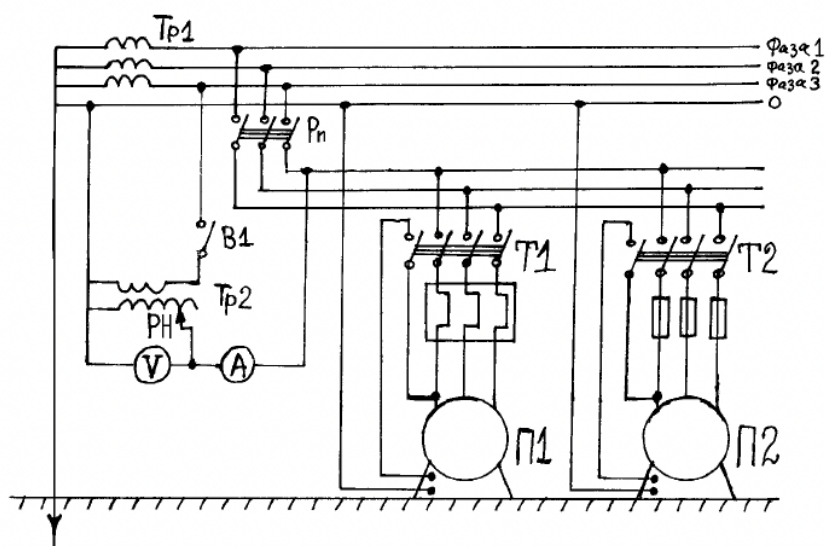


Рис.3. Схема лабораторной установки

Измерение производится методом амперметра-вольтметра с помощью источника пониженного напряжения 12 В ( $Tr2$ ), поскольку на рабочем напряжении короткое замыкание недопустимо.

Понижающий автотрансформатор Тр2 располагается как можно ближе питающему трансформатору Тр1, чтобы учесть сопротивление всей цепи фазного и питающего провода от него до потребителя. Включение понижающего автотрансформатора Тр2 производится тумблером В1. Изменение напряжения подаваемого для измерения, производится ручкой регулировки РН, выведенной на панель установки.

Тумблер Рп имитирует находящийся на подстанции рубильник подачи питания в цех. Тумблеры Т1 и Т2 имитируют рубильники, включающие питание на потребителей. При включении тумблеров Т1 и Т2 в схеме предусмотрен искусственное короткое замыкание на корпус соответствующего потребителя.

Потребитель П1 снабжен автоматическим выключателем электромагнитным расцепителем, потребитель П2 – предохранителем плавкими вставками.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Номер Вашего варианта задания равен Вашему номеру в списке Вашей группы (таблица №1).

Таблица №

Данные вариантов заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{уст}$ , автомата, А	5	6	10	25	26	27	28	40	50	63
$I_{ном}$ , плавкой вставки, А	6,3	10	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Мощность трансформатора, кВА	25	40	63	100	160	250	320	400	630	750

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I_{уст}$ , автомата, А	7	8	9	11	25	26	27	28	48	55
$I_{ном}$ , плавкой вставки, А	6,8	11	18	19	24	30	34	45	60	75
Мощность трансформатора, кВА	25	40	63	100	160	250	320	400	630	750

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$I_{уст}$ , автомата, А	6	8	11	25	26	27	28	44	57	68
$I_{ном}$ , плавкой вставки, А	6,3	10	16	20	25	31,5	40	54	65	85
Мощность трансформатора, кВА	25	40	63	100	160	250	320	400	630	750

1. В итоговой таблице результатов (табл. 3) содержатся данные для двух типов автоматов с разными номинальными токами, плавкой вставки и показания Вашего вольтметра и амперметра.
2. Определить значения сопротивления петли  $R_{\text{пет}}$  по формуле:

$$R_{\text{пет}} = \frac{U_{\text{изм}}}{I_{\text{изм}}}. (7)$$

Полученные результаты для всех трех замеров  $R_{\text{пет}}$  занести в таблицу 3.

3. Определить ток короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  по формуле (3) для всех трех замеров и занести данные в таблицу 3. При этом фазное напряжение  $U_{\text{ф}}$  принять равным 220 В. Значение  $R_{\text{тр}}$  выбрать из табл. 2 по Вашему варианту и занести в таблицу 3.

Таблица 2

Сопротивление одной обмотки трансформатора со схемой соединения «звезда-звезда» при вторичном напряжении 380/220 В и номинальном напряжении первичной обмотки 6 – 10 кВ

Мощность трансформатора, кВА	$R_{\text{тр}}$ , Ом	Мощность трансформатора, кВА	$R_{\text{тр}}$ , Ом
25	1,037	250	0,104
40	0,649	320	0,085
63	0,412	400	0,060
100	0,266	630	0,040
160	0,162	750	0,036

4. Определить средний ток короткого замыкания  $I_{\text{кз,ср}}$  для каждого потребителя как среднее арифметическое из трех замеров  $I_{\text{кз}}$  и занести данные в таблицу 3.
5. Определить нормируемую величину  $I_{\text{кз}}$  для каждого типа предохранителя: плавкой вставки (формула 4) и двух типов автоматов (формулы 5, 6). Занести в таблицу 3 нормируемые минимальные величины  $I_{\text{кз}}$ .
6. Сравнить полученные значения  $I_{\text{кз,ср}}$  по каждому типу предохранителя с нормативными требованиями.
7. Определить надежность зануления, т.е. защиты персонала от поражения электрическим током при коротком замыкании на корпус. Ответ (Да, Нет) занести в таблицу 3.



## ФОРМА ОТЧЕТА

### 1. Общие сведения (титульный лист):

- номер и название работы;
- номер Вашего варианта;
- Ф. И.О. студента;
- номер группы;
- дата выполнения работы;
- Ф. И.О. преподавателя.

### 2. Содержание отчета:

- кратко описать цель работы;
- привести схему лабораторной установки (рис.3);
- привести использованные для расчетов формулы;
- заполнить табл. 3 с результатами измерений;
- привести выводы: какие типы предохранителей надежно защищает технологическое оборудование, например – «технологическое оборудование надежно защищено от короткого замыкания только автоматическим предохранителем с номинальным током 130 А».

Таблица 3

### Результаты эксперимента

Студент \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ Номер варианта \_\_\_\_\_  
Фамилия

Потребитель, тип предохраните ля	Замер	$U_{изм.}$ В	$I_{изм.}$ А	$R_{пет.}$ Ом	$R_{гр.}$ Ом	Рассчита нные $I_{кз.}$ А	Среднее $I_{кз. ср.}$ А	Нормативн ый минимальн ый $I_{кз.}$ А	Надежность зануления, Да/Нет
П 2, плавкие вставки	1	1,0	0,5						
	2	2,0	0,9						
	3	3,0	1,5						
П 1, автомат, $I_H = 50$ А	1	4,0	0,5						
	2	6,0	1,1						
	3	8,0	1,5						
П 1, автомат, $I_H = 130$ А	1	4,0	0,5						
	2	6,0	1,1						
	3	8,0	1,5						

Примечание 1. Нормативный минимальный ток  $I_{кз.}$ , А для плавких вставок определять по формуле  $I_{кз.} = 3 \times I_H$ , для автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем с номинальным током до 100 А определять по формуле  $I_{кз.} = 1,4 \times I_{уст.}$ , для автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем с номинальным током более 100 А определять по формуле  $I_{кз.} = 1,25 \times I_{уст.}$

Примечание 2. Если среднее значение  $I_{кз. ср.}$ , А больше нормативного минимального тока  $I_{кз.}$ , А, то надежность зануления обеспечена, в противном случае – не обеспечена.