

## ЛЕКЦИЯ 13

### ЗАНУЛЕНИЕ. ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

**Защитное зануление** – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью трансформатора или генератора, выполняемое в целях электробезопасности. Зануление является основной мерой защиты замыкания на корпус в электрических сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

Принцип работы зануления заключается в превращении замыкания на корпус в короткое замыкание фазы через корпус и нулевой провод (рис. 1).

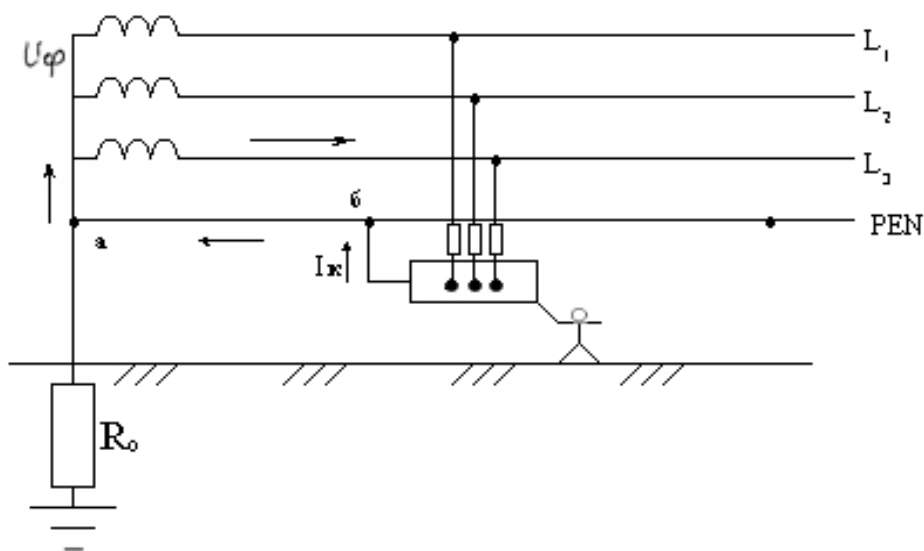


Рис. 1. Схема зануления

Ток короткого замыкания вызывает срабатывание защиты и отключение поврежденной установки. Для защиты от коротких замыканий применяют автоматические выключатели и плавкие предохранители. При замыкании на зануленный корпус ток короткого замыкания проходит через следующие участки цепи: обмотки трансформатора, фазный провод и нулевой провод, следовательно:

$$I_{\kappa} = \frac{U_{\phi}}{Z_T/3 \vee Z_{\phi} \vee Z_{PEN}},$$

Если сопротивление  $Z_T/3 + Z_{\phi} + Z_{PEN} = 0,2$  Ом (в сетях напряжением 380/220 В оно обычно меньше), то:

$$I_{\kappa} = \frac{220}{0,2} = 1100 \text{ А} .$$

При таком токе защита сработает (защита – предохранители,  $I_k \geq 3I_{пл.в.}$ ;  $I_{пл.в.} \approx 40 - 250$  А).

А напряжение на корпусе относительно земли  $U_3$ , как и на всем участке за точкой «б» определяется выражением  $U_3 = U_k = I_k \cdot Z_{PEN}$ , где  $Z_{PEN}$  - полное сопротивление нулевого защитного провода (НЗП) на участке «а - б».

На участке «а - б» НЗП напряжение  $U_3$  изменяется от 0 до  $U_k$  линейно. Напряжение нейтральной точки «а» источника относительно земли в этом случае равно нулю ( $U_0 = 0$ ).

Задание 3.

Дано:  $R_h = 1000$  Ом,  $R_0 = 3$  Ом,  $Z_T = 0,312$  Ом;  $R_\phi = 19$  мОм;  $R_{PEN} = 17$  мОм,  $U_\phi = 220$  В.

Определить:  $I_h$  - ?

Решение.

$$I_h = \frac{U_k}{R_h}, \quad \begin{array}{l} 220 \\ 0,104 \times 0,019 \times 0,017 \end{array}$$

$$I_k = \frac{U_\phi}{Z_T} = \frac{220}{0,130} \approx 1700 \text{ А}$$

$$U_k = 1700 \cdot 0,017 = 28,9 \text{ В}; I_h = 28,9/1000 = 28,9 \text{ мА.}$$

Вывод. ПДУ  $I_h = 50$  мА при 1 сек,  $I_h = 28,9$  мА > 1 сек, значит время для срабатывания защиты достаточно. Как видно из примера, до срабатывания максимальной токовой защиты ток короткого замыкания вызывает перераспределение напряжений в сети и, как следствие, снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли. Таким образом, зануление обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и снижении напряжения прикосновения.

### Повторное заземление нулевого защитного проводника

Элементом системы зануления являются повторное заземление нулевого защитного проводника - через сопротивление  $R_{п}$  (рис. 3).

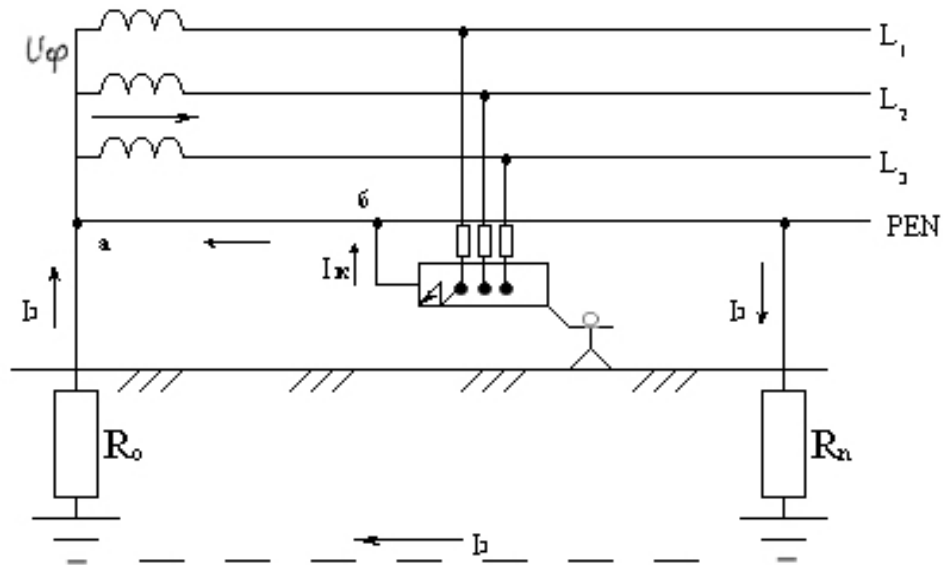


Рис. 3. Схема повторного заземления нулевого защитного проводника

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети.

Однако при эксплуатации зануления могут возникнуть такие ситуации, когда повторное заземление НЗП необходимо, например обрыв НЗП.

Итак, при повторном заземлении НЗП кроме тока  $I_K$  в земле протекает  $I_3$ , цепь которого устанавливается через сопротивления  $R_o$  и  $R_n$  (сопротивления повторного заземления НЗП). Тогда выражение для тока  $I_3$  можно записать в виде:

$$I_3 = \frac{U_K}{R_o \vee R_n} = \frac{U_{a,b}}{R_o \vee R_n},$$

а напряжение замыкания  $U_3$  снизится в этом случае до значения

$$U_3 = I_3 \cdot R_n = \frac{U_{a,b}}{R_o \vee R_n} \cdot R_n$$

Напряжение между нейтралью источника тока и землей  $U_o$  будет равно:

$$U_o = I_3 \cdot R_o = \frac{U_{a,b}}{R_o \vee R_n} \cdot R_o$$

В случаях обрыва НЗП до установки без повторного заземления НЗП напряжение замыкания будет равно  $U_3 = U_\phi$ , при повторном заземлении НЗП

$$U_3 = \frac{U_\phi}{R_o \times R_n} R_n$$

Повторному заземлению подвергаются нулевые рабочие провода воздушных линий, которые одновременно используются как НЗП. При этом в соответствии с ПУЭ повторные заземления выполняются на концах линий (или ответвлений) длиной  $> 200$  м, а также на вводах в здание, электроустановки которых подлежат занулению.

Надежность зануления определяется в основном надежностью нулевого защитного проводника. В связи с этим требуется тщательная прокладка НЗП, чтобы исключить возможность его обрыва; в НЗП запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, способные нарушить его целостность.

Соединение НЗП между собой должно обеспечивать надежный контакт и выполняется сваркой. Присоединение нулевых защитных проводников к частям электроустановок, подлежащих занулению, осуществляется сваркой или болтовым соединением. Присоединение должно быть доступно для осмотра. Открытое проложенное НЗП должно иметь отличительную окраску (по зеленому фону желтые полосы).

### **Защитное отключение**

Защитное отключение - быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека током. Такая опасность может возникнуть, в частности, при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного предела и, наконец, в случае прикосновения человека непосредственно в токоведущей части, находящейся под напряжением.

Во всех случаях опасность поражения обусловлена напряжением прикосновения  $U_h$ , А. Как известно  $U_{пр} = I_h \times R_h$ , где  $R_h$  – сопротивление человека. Таким образом, если при прикосновении  $U_{пр}$  (или  $I_h$ ) превысит длительно допустимое значение, возникает угроза поражения человека электрическим током и мерой защиты в этом случае может быть, в частности, быстрый разрыв цепи тока через человека, т.е. отключение соответствующего участка сети. Таким образом, обеспечение электробезопасности достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (УЗО).

Область применения УЗО практически не ограничена. Тем не менее наибольшее распространение УЗО получили в сетях напряжением до 1000 В с заземленной и изолированной нейтралью.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой).

Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищаемую электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током, т.е. изменяются при включении человека в цепь электрического тока.

По виду входного сигнала все устройства защитного отключения делятся на УЗО реагирующие: на напряжение корпуса относительно земли; на ток замыкания на землю; на ток нулевой последовательности; на оперативный ток; накладываемый на рабочий ток электроустановки; на комбинированный входной сигнал (сочетание вышеперечисленных видов входных сигналов).

Основными элементами любого УЗО является: датчик - (входное звено, воспринимающее воздействие извне); преобразователь - (для преобразования входной величины в соответствующий сигнал) и исполнительный орган - (автоматический выключатель).

Основными параметрами, по которым подбирается то или иное УЗО являются: уставка; номинальный ток нагрузки (рабочий ток электроустановки, который протекает через нормально замкнутые контакты УЗО в дежурном режиме), время срабатывания устройства.

Основные требования, которые должны удовлетворять УЗО:

- высокая чувствительность;
- малое время отключения;
- селективность действия;
- способность осуществлять самоконтроль исправности;
- достаточная надежность.

**1. Чувствительность УЗО** – их способность реагировать на малые изменения входной величины – оказывает непосредственное влияние на степень безопасности.

**Высокочувствительные** устройства позволяют задавать уставку (установление значение входного сигнала, при котором УЗО срабатывает) обеспечивающую безопасность прикосновения человека к фазе. Однако, они, как правило, сложны и дороги.

**2. Время отклонения** – интервал времени с момента возникновения аварийной ситуации до момента прекращения тока во всех полосах выключателя, равный времени действия прибора УЗО ( $t_{\Pi}$ ) и времени действия выключателя ( $t_{\text{В}}$ ),  $t_{\text{отк}} = t_{\Pi} + t_{\text{В}}$  (с)

Чем меньше время отключения, тем выше степень безопасности при одних и тех же условиях, т.к. опасность воздействия тока снижается с уменьшением времени его прохождения через тело человека.

**3. Селективность** – избирательность действия УЗО – выражается в способности отключать от сети лишь поврежденный объект, т.е. объект, в котором возникла опасность поражения человека током. Это очень важное свойство защитного отключения, поскольку из-за неселективности вместе с

поврежденными объектами может отключаться исправное оборудование. К сожалению, селективностью обладают лишь некоторые схемы защитного отключения.

**4. Самоконтроль** – способность реагировать на неисправности в собственной схеме путем отключения защитного объекта. Самоконтроль неисправности особенно необходим для схем УЗО, которые применяются взамен заземления или зануления, т.к. в этом случае при неисправности УЗО замыкание на корпус останется неотключенным и создаст реальную опасность поражения током.

**5. Надежность УЗО** – характеризуется способностью срабатывать на нарушение режима работы с возникновением опасности поражения током и способностью не реагировать на все другие случаи нарушения режима (т.к. не должно быть беспричинного отключения работающего оборудования).

Рассмотрим УЗО, реагирующее на потенциал корпуса относительно земли (рис. 4), предназначенное для обеспечения безопасности при возникновении на заземленном (или зануленном) корпусе электроустановки повышенного потенциала.

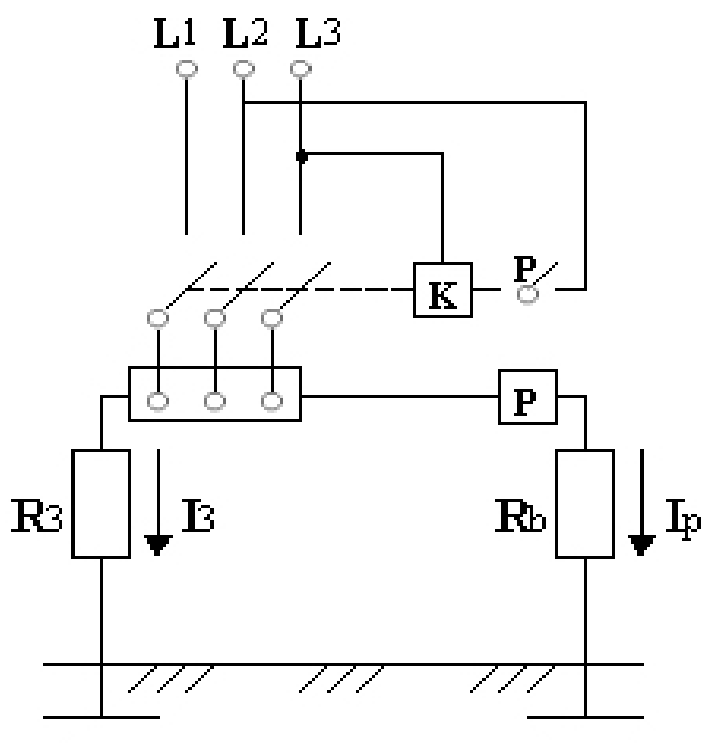


Рис. 4. Принципиальная схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса относительно земли

$R_z$  - сопротивление защитного заземлителя;

$R_b$  - сопротивление вспомогательного заземлителя;

$P$  - реле максимального напряжения;

$K$  - катушка коммутационного аппарата.

Датчиком в этом устройстве служит реле  $P$ , обмотка которого включена между корпусом эл. установки и вспомогательным заземлителем  $R_B$ . Электроды вспомогательного заземлителя  $R_B$  располагаются вне зоны растекания тока заземлителя  $R_3$ . При замыкании на корпус защитное заземление  $R_3$  снизит потенциал корпуса относительно земли до  $\varphi_3 = I_3 + R_3$ .

Если по каким – либо причинам окажется, что  $\varphi_3 > \varphi_{3\text{доп}}$ . ( $\varphi_{3\text{доп}}$  – потенциал корпуса, при котором напряжение прикосновения не превышает допустимого), то срабатывает реле  $P$ , которое своими контактами замкнет цепь питания катушки коммутационного аппарата, и произойдет отключение поврежденной электроустановки от сети.

Фактически данный тип УЗО дублирует защитные свойства заземления или зануления и применяется в качестве дополнительной защиты, повышая надежность заземления или зануления.