

Занятие 5: Заземляющие устройства.

1. Режимы работы нейтралей в электрических сетях
2. Защитное заземление

1. Режимы работы нейтралей в электроустановках

1.1. Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на:

электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;

электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;

электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;

электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

1.1.1. Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью - трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4 (рис.1.1)

Применяется в сетях 110кВ и выше.

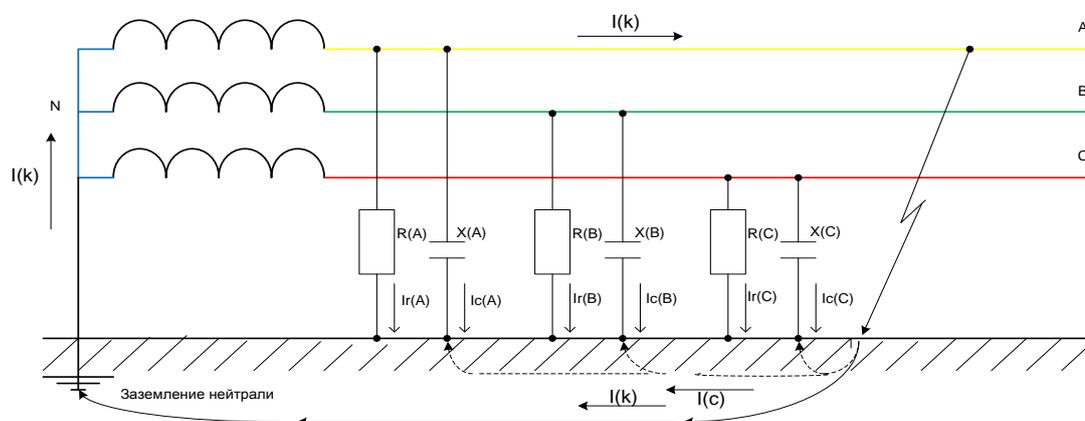


Рисунок 1.1. Трёхфазная сеть с эффективно- заземлённой нейтралью

Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети - отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

При таком способе заземления во время однофазных замыканий напряжение на неповреждённых фазах относительно земли равно примерно 0,8 междуфазного напряжения в нормальном режиме работы сети. Это основное достоинство такого способа заземления нейтрали.

При замыкании одной фазы на землю, образуется короткозамкнутый контур через землю и нейтраль источника с малым сопротивлением к которому приложена ЭДС фазы (рис.1.1). Возникает режим короткого замыкания, сопровождающийся протеканиями больших токов.

Во избежание повреждения оборудования длительное протекание больших токов недопустимо, поэтому КЗ быстро отключаются релейной защитой.

1.1.2. Глухозаземленная нейтраль - нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трех проводных сетях постоянного тока (Рис.1.2).

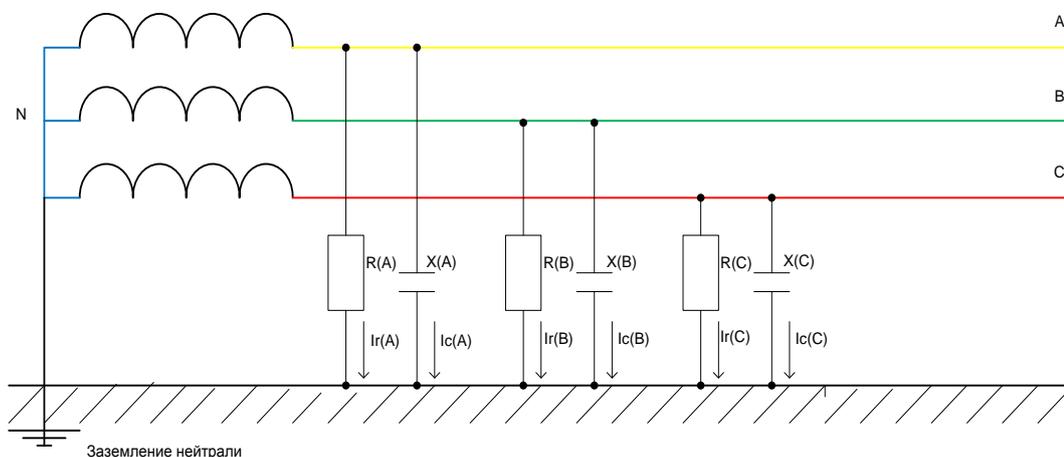


Рисунок 1.2. Трёхфазная сеть с глухозаземлённой нейтралью

Применяются на напряжение до 1кВ для одновременного питания трёхфазных и однофазных нагрузок, включаемых на фазные напряжения (рис.1.2).

В них нейтраль трансформатора или генератора присоединяется к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Для фиксации фазного напряжения при наличии однофазных нагрузок применяется нулевой проводник, связанный с нейтралью трансформатора.

Этот проводник служит для выполнения функции зануления, т.е. к нему преднамеренно присоединяют металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением.

При наличии зануления пробой изоляции на корпус вызовет однофазное короткое замыкание и срабатывание защиты с отключением установки от сети.

1.1.3 Сеть с резонансно – заземлённой нейтралью - нейтраль трансформатора или генератора присоединённая к заземляющему устройству через дугогасящий реактор (Рис.1.3)

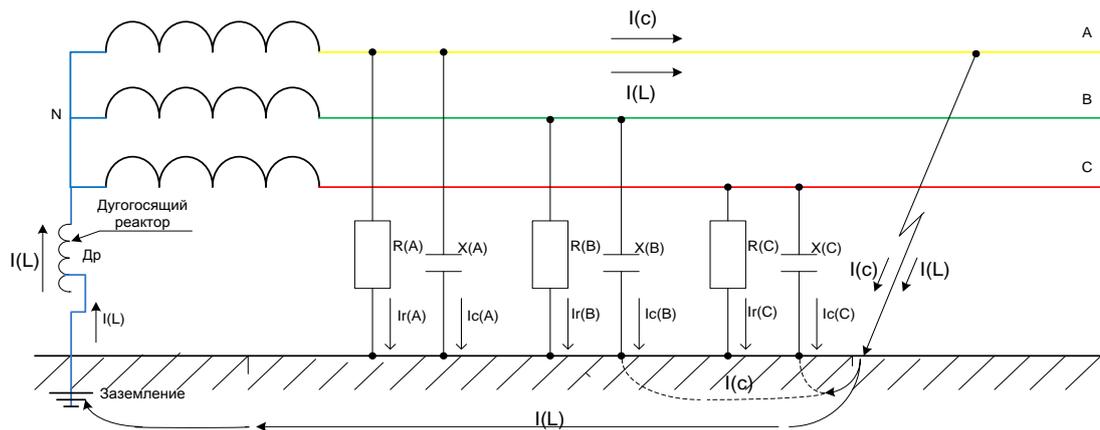


Рисунок 1.3. Трёхфазная сеть с резонансно – заземлённой нейтралью

Применяется в сетях 3-35кВ для уменьшения тока замыкания на землю.

В нормальном режиме работы ток через реактор практически равен нулю. При полном замыкании одной фазы на землю дугогосящий реактор оказывается под фазным напряжением и через место замыкания на землю протекает наряду с емкостным током $I(c)$, также индуктивный ток реактора $I(L)$ (рис.1.3). Так как индуктивный и емкостной токи отличаются по фазе на угол 180^0 , то в месте замыкания на землю они компенсируют друг друга. Если $I(c) = I(L)$ (резонанс), то через место замыкания на землю ток протекать не будет. Благодаря этому дуга в месте повреждения не возникает и устраняются связанные с нею опасные последствия.

В сетях с резонансно- заземлённой нейтралью, так же как и в сетях с незаземлёнными нейтральями, допускается временная работа с замкнутой на землю фазой.

При однофазном замыкании на землю напряжение двух неповреждённых фаз относительно земли увеличивается в $\sqrt{3}$ раз т.е. до междуфазного.

Следовательно, по своим основным свойствам эти сети аналогичны сетям с незаземлёнными (изолированными) нейтральями.

1.1.4 Сеть с изолированной нейтралью - нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств. (Рис.1.4)

Применяются в сетях напряжением 3- 35кВ и сетях напряжением до 1кВ

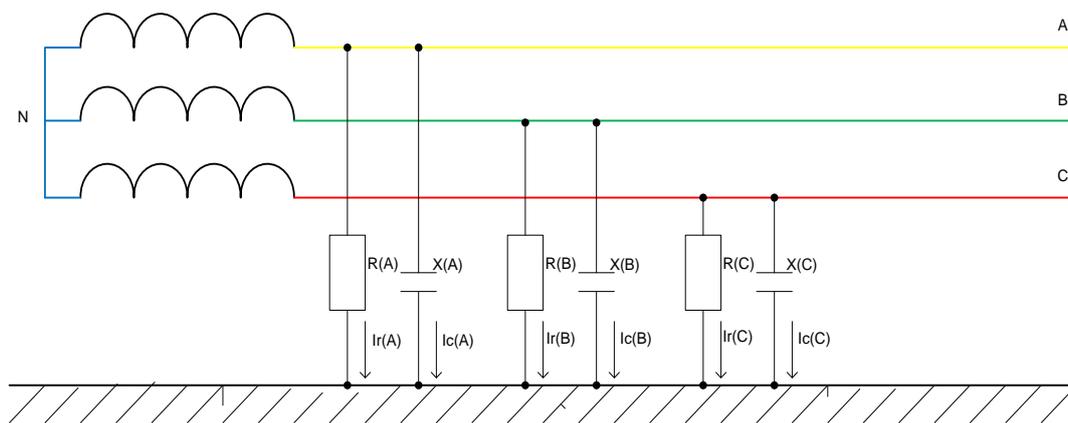


Рисунок 1.4. Трёхфазная сеть с изолированной нейтралью

2. Защитное заземление

2.1. Область применения. Термины и определения

Характеристики систем заземления и требования по его оборудованию определены в главе 1.7. «Правил устройства электроустановок»

Настоящая глава Правил распространяется на все электроустановки переменного и постоянного тока напряжением до 1 кВ и выше и содержит общие требования к их заземлению и защите людей и животных от поражения электрическим током, как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции

В качестве одного из основных технических способов защиты человека от поражения электрического тока выполняется **защитное заземление**.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.)

Защитное заземление - заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

Назначение защитного заземления — устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Защитное заземление следует отличать от других видов заземления, например, рабочего заземления и заземления молниезащиты.

2.1.1. Открытая проводящая часть - доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

2.1.2. Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

2.1.3. Искусственный заземлитель - заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

2.1.4. Естественный заземлитель - сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

2.1.5. Заземляющий проводник - проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

2.1.6. Заземляющее устройство - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

2.1.7. Зона нулевого потенциала (относительная земля) - часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

2.1.8. Зона растекания (локальная земля) - зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

2.1.9. Замыкание на землю - случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

2.1.10. Напряжение на заземляющем устройстве - напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

2.1.11. Сопротивление заземляющего устройства - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

2.2. Принцип действия защитного заземления в электроустановках с изолированной нейтралью

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами.

Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования (подъемом потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования).

Рассмотрим два случая.

2.2.1. Корпус электроустановки не заземлен.

Вследствие повреждения изоляции фазного провода, произошло однофазное замыкание на корпус электроприемника (электродвигателя, электрического аппарата, либо на металлическую конструкцию, по которой проложены электрические провода) (рис.2.1).

Такое замыкание называется **замыканием на корпус**.

Если при этом корпус электроприемника или конструкция не имеют связи с землей, тогда они приобретают потенциал фазы сети или близкий к нему.

В случае прикосновения к корпусу электроустановки также опасно, как и прикосновение к фазному проводу сети.

U_{пр} - (напряжение прикосновение) равно фазному (220В)

Через тело человека, его обувь, пол, землю, сопротивления утечки и емкостные сопротивления исправных фаз образуется замкнутая цепь.

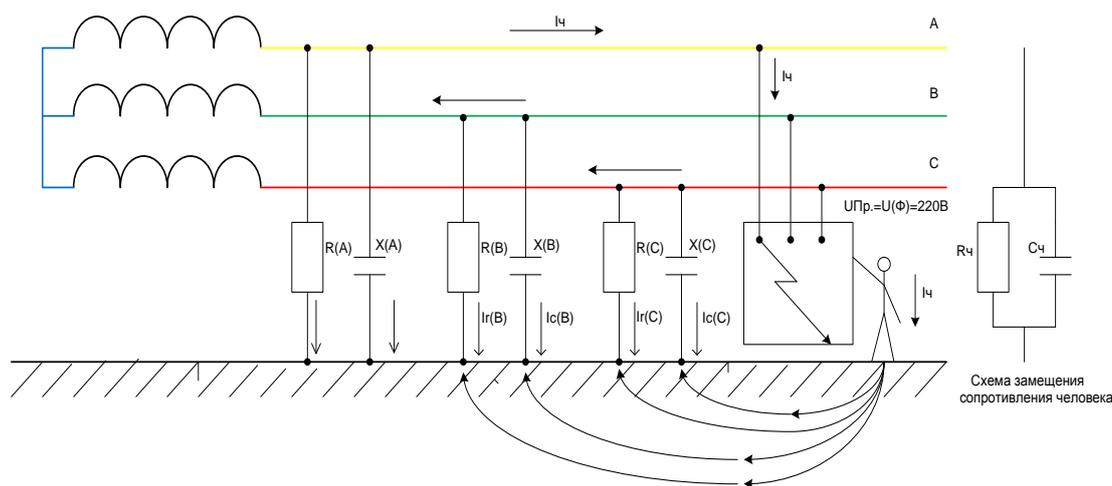


Рисунок 2.1. Замыкание на корпус в сети, с изолированной нейтралью

1. Рассмотрим, как протекает ток в сети при замыкании одной фазы на корпус электроустановки.

Изоляция токоведущих частей имеет определенное сопротивление (или проводимость) по отношению к земле, обычно выражаемое в мегомах. В сетях напряжением до 1000В допустимое активное сопротивление изоляции проводников в производственных помещениях должно быть не менее

0,5 МОм, ($R_{из} = 0,5 \text{ Мом}$). (Требования ПУЭ)

Это означает, что через изоляцию проводников и землю проходит ток некоторой величины. При хорошей изоляции этот ток весьма мал.

Допустим, например, что между проводником одной фазы сети и землей напряжение равно 220В, а измеренное мегомметром сопротивление изоляции этого провода равно 0,5 МОм. Это значит, что ток на землю этой фазы равен $220 / (0,5 \times 1000000) = 0,00044\text{А}$ или 0,44 мА. Этот ток называется **током утечки**.

Условно для наглядности на схеме сопротивления изоляции трех фаз R(A), R(B), R(C) изображаются в виде сопротивлений, присоединенных каждое к одной точке провода. На самом деле токи утечки в исправной сети распределяются равномерно по всей длине проводов, в каждом участке сети они замыкаются через землю и их сумма (геометрическая, т. е. с учетом сдвига фаз) равна нулю.

2. Связь второго рода образуется емкостью проводников сети по отношению к земле. Как это понимать?

Каждый проводник сети и землю можно представить себе как две обкладки протяженного конденсатора. В воздушных линиях проводник и земля — это как бы обкладки конденсатора, а воздух между ними — диэлектрик. В кабельных линиях обкладками конденсатора являются жила кабеля и металлическая оболочка, соединенная с землей, а диэлектриком — изоляция.

При переменном напряжении изменение зарядов конденсаторов вызывает возникновение и прохождение через конденсаторы переменных токов. Эти так называемые емкостные токи в исправной сети равномерно распределены по длине проводов и в каждом отдельном участке также замыкаются через землю. На рис.2.1 сопротивления емкостей трех фаз на землю $X(A)$, $X(B)$, $X(C)$ условно показаны присоединенными каждое к одной точке сети. Чем больше длина сети, тем большую величину имеют токи утечки и емкостные токи.

Посмотрим, что же произойдет в изображенной на рисунке 2.1 сети, если в одной из фаз (например, А) произойдет **замыкание на корпус**, т. е. провод этой фазы будет соединен с токопроводящим корпусом электроустановки и сопротивление R(A) в месте замыкания будет стремиться к «нулю». Теперь под воздействием линейного напряжения сети U(BC) и напряжение замкнувшей фазы, через место замыкания, человека прикоснувшегося к этому корпусу, основания на котором стоит человек и землю будет проходить ток замыкания. Пути прохождения тока показаны стрелками на рисунке.

Ток в этой цепи замыкания зависит от ее сопротивления и может нанести человеку тяжелое поражение или оказаться для него смертельным.

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ч}} + Z/3} \quad (1)$$

где: $I_{\text{ч}}$ – ток протекающий через тело человека;
 $U_{\text{пр}}$ – напряжение прикосновения на корпусе электроустановки
 $R_{\text{ч}}$ – сопротивление человека :

$$R_{\text{ч}} = R_{\text{а}} + R_{\text{с}} \quad (2)$$

где: $R_{\text{а}}$ – активное сопротивление человека (включает в себя сопротивление тела человека, сопротивление обуви, сопротивление основания на котором стоит человек)

При расчётах принимается минимальное активное сопротивления человека, без учёта сопротивления обуви и сопротивления основания

$$R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}$$

Ёмкостное сопротивление человека зависит от строения тела человека, частоты приложенного напряжения и колеблется в пределах от нескольких сотен пикофарад до нескольких микрофарад.

При расчёте принимают $C_{\text{ч}} = 0,1 \text{ мкФ}$

$$R_{\text{с}} = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{\omega c} \quad (3)$$

Z - комплекс полного сопротивления фазных проводников, которое в трехфазных сетях определяется через сумму проводимостей Y отдельных сопротивлений: $Z_{(A)}$; $Z_{(B)}$; $Z_{(C)}$

$$Z_{(A)} = \frac{R \frac{1}{\omega c}}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega c})^2}} \quad (4)$$

Ток в действительной форме равен (А):

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ч}} \sqrt{1 + \frac{R_{\text{из}}(R_{\text{из}} + 6R_{\text{ч}})}{9R_{\text{ч}}^2(1 + R_{\text{из}}^2 \omega^2 C^2)}}} \quad (5)$$

Если емкость проводов относительно земли мала, т. е. $C = 0$, что обычно имеет место в воздушных сетях небольшой протяженности, то уравнение (5) примет вид

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ч}} + \frac{R_{\text{из}}}{3}} \quad (6)$$

Если же емкость велика, а проводимость изоляции незначительна, т. е. $R_{из} \approx \infty$, что обычно имеет место в кабельных сетях, то согласно выражению (5) ток через человека (A) будет:

$$I_{ч} = \frac{U_{пр}}{\sqrt{R_{ч}^2 + \left(\frac{R_c}{3}\right)^2}} \quad (7)$$

Из выражения (6) следует, что в сетях с изолированной нейтралью, обладающих незначительной емкостью между проводами и землей, опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается.

Поэтому очень важно в таких сетях обеспечивать высокое сопротивление изоляции и контролировать ее состояние в целях своевременного выявления и устранения возникших неисправностей.

Однако в сетях с большой емкостью относительно земли роль изоляции проводов в обеспечении безопасности прикосновения утрачивается, что видно из уравнений (5) и (7).

В нашем случае, при прикосновении человека к корпусу с однофазным замыканием сети:

$U_{пр} = 220\text{В};$
 $R_{ч} = 1000 \text{ Ом};$
 R_c - примем равным 0 (наиболее неблагоприятное для нас сопротивление)

$$I_{ч} = \frac{220}{1000} = 0,220 \text{ А}$$

Получили значение тока - опасное для жизни человека.

2.2.2. Корпус электроустановки заземлен

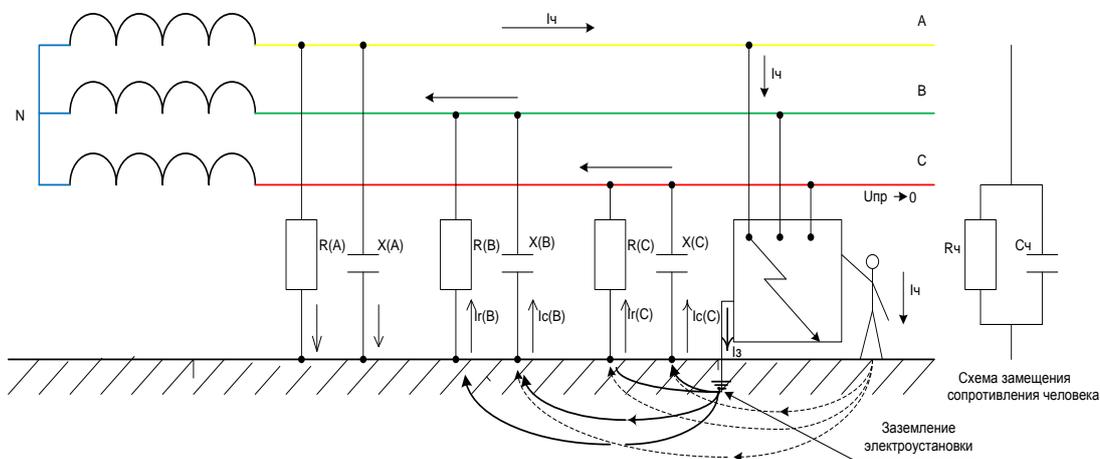


Рисунок 2.2. Корпус электроустановки заземлен

В этом случае напряжение корпуса электроустановки (напряжения прикосновения) относительно земли уменьшится и станет равным разности потенциалов корпуса и земли:

$$U_{\text{пр}} = \varphi(\kappa) - \varphi(\text{з}) \quad (8)$$

$$U_{\text{пр}} = I_3 R_3 \quad (9)$$

где : $U_{\text{пр}}$ – напряжение корпуса электроустановки относительно земли;
 I_3 – ток замыкания на землю;
 R_3 – сопротивление заземлителя растеканию тока.

Напряжение прикосновения и ток через тело человека в этом случае будут определяться по формулам:

$$U_{\text{пр}} = I_3 R_3 a_1 \quad (10)$$

$$I_{\text{ч}} = I_3 \frac{R_3}{R_{\text{ч}}} \alpha_1,$$

где a_1 - коэффициент напряжение прикосновения;

Ток замыкания на землю в сети IT зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления растеканию R_{3M} , $R_{\text{н}}$. Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_{\text{н}}$,

$$I_3 = U / (R_3 + Z/3) \quad (11)$$

Где Z - где полное сопротивление фазного провода относительно земли в комплексной форме.

Из сказанного следует, что для прохождения тока через землю необходимо наличие замкнутой цепи (иногда представляют себе, что ток «уходит в землю» — это неверно). **В сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000В токи утечки и емкостные токи обычно невелики.** Они зависят от состояния изоляции и длины сети. Даже в разветвленной сети они находятся в пределах нескольких ампер и ниже. Поэтому эти токи, как правило, недостаточны для расплавления плавких вставок или отключения автоматических выключателей.

При напряжениях выше 1000 В основное значение имеют емкостные токи, они могут достигать нескольких десятков ампер (если не предусмотрена их компенсация). Однако в этих сетях отключение

поврежденных участков при однофазных замыканиях обычно не применяется, чтобы не создавать перерывов в электроснабжении.

Таким образом, в сети с изолированной нейтралью при наличии однофазного замыкания (о чем сигнализируют приборы контроля изоляции) продолжают работать электроприемники. Это возможно, так как при однофазных замыканиях линейное (междуфазное) напряжение не изменяется и все электроприемники получают энергию бесперебойно. Но при всяком однофазном замыкании в сети с изолированной нейтралью напряжения неповрежденных фаз по отношению к земле возрастают до линейных, а это способствует возникновению второго замыкания на землю в другой фазе.

Образовавшееся двойное замыкание на землю создает серьезную опасность для людей. Следовательно, любая сеть с наличием в ней однофазного замыкания должна рассматриваться как находящаяся в аварийном состоянии, так как общие условия безопасности при таком состоянии сети резко ухудшаются.

Уменьшая значение сопротивления заземлителя растеканию тока R_3 , можно уменьшить напряжение корпуса электроустановки относительно земли, в результате чего уменьшаются напряжение прикосновения и ток через тело человека.

Заземление будет эффективным лишь в том случае, если ток замыкания на землю I_3 практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя.

Такое условие выполняется в сетях с **изолированной нейтралью** (типа IT) напряжением до 1 кВ, так как в них ток замыкания на землю в основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя (рис.2.2).

В сетях переменного тока с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ защитное заземление в качестве основной защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении не применяется, т.к. оно не эффективно.

2.3. Принцип действия защитного заземления в электроустановках с глухозаземлённой нейтралью

2.3.1. Для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

система TN – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;

система TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис.2.3.1)

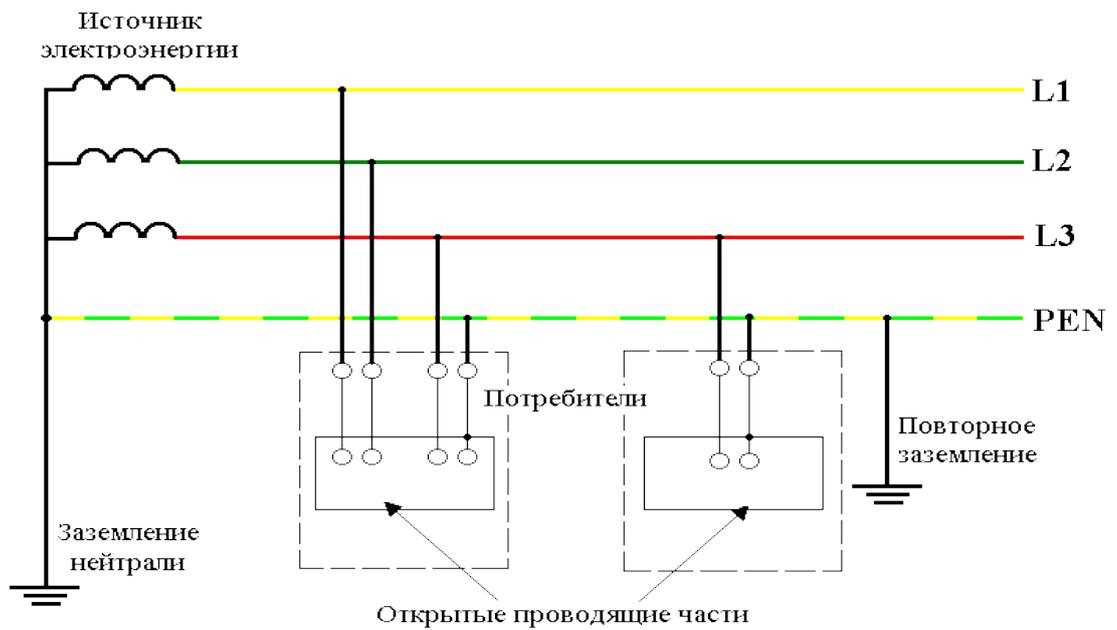


Рисунок 2.3.1. Система TN-C

система TN-S - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис [2.3.2](#));

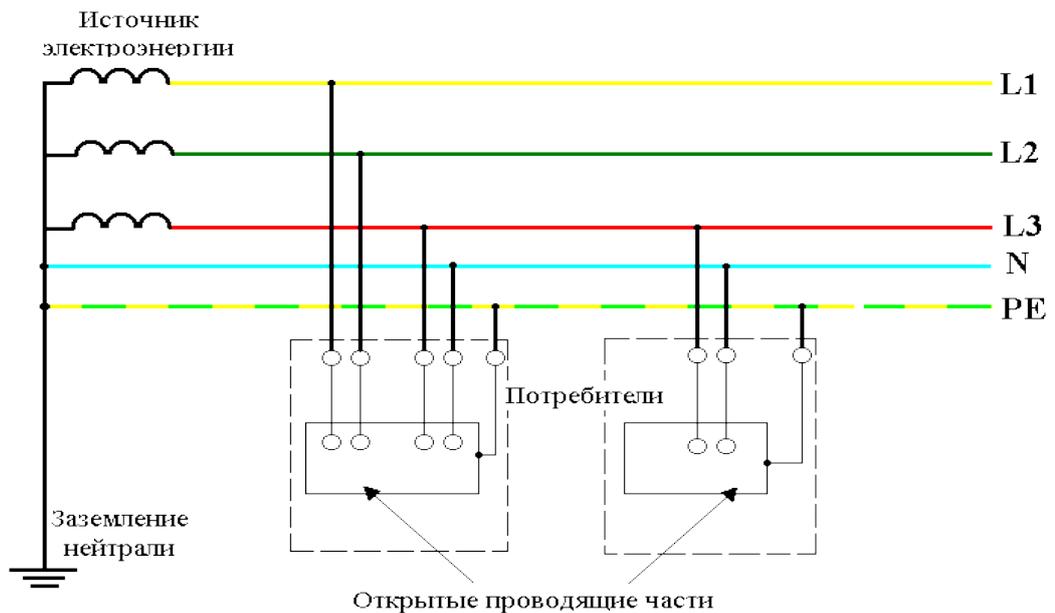


Рисунок 2.3.2. Система TN-S

система TN-C-S - система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рис. [2.3.3](#))

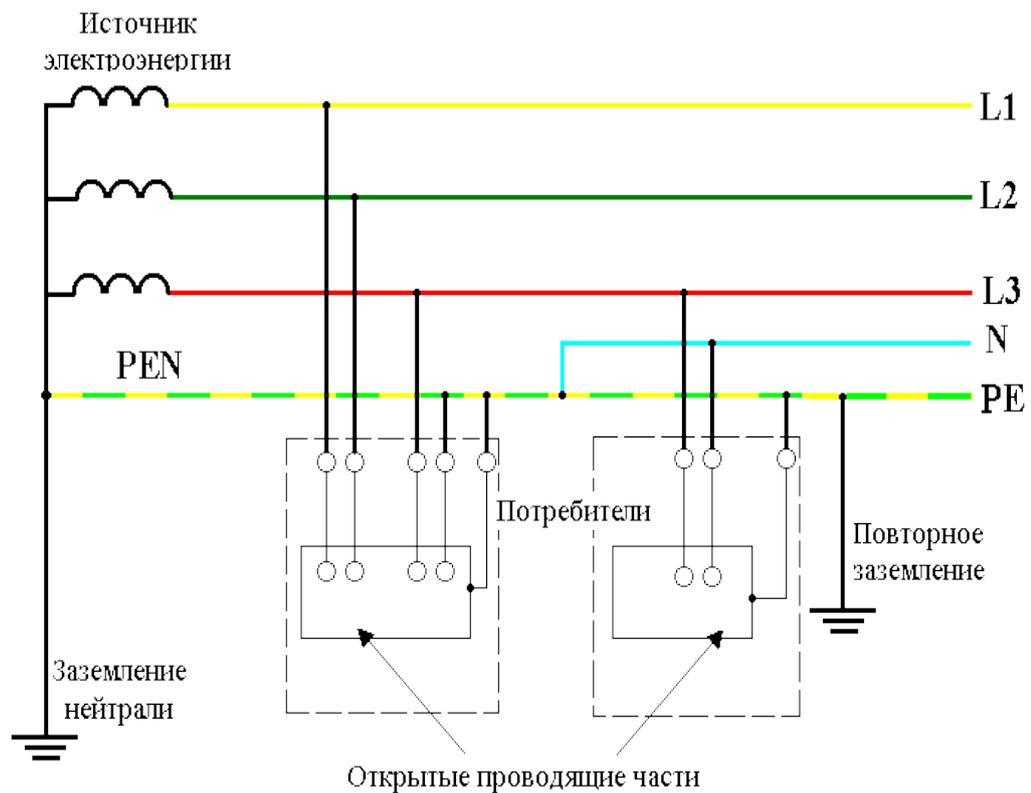


Рисунок 2.3.3. Система TN-C-S

система IT - система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 2.3.4)

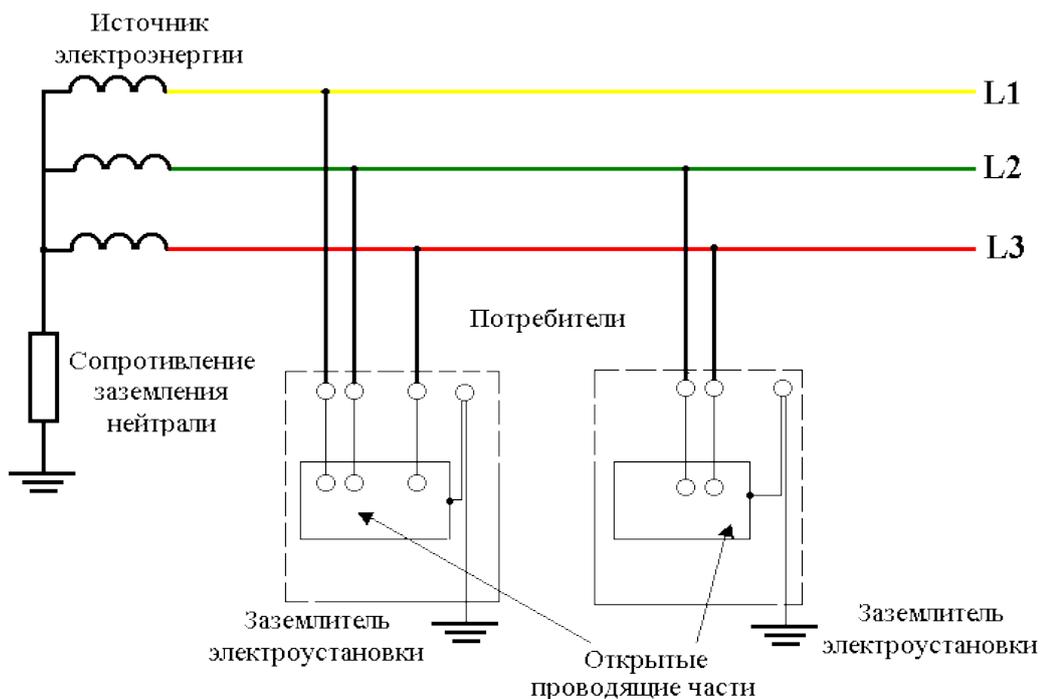


Рисунок 2.3.4. Система IT

система TT - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

Первая буква - состояние нейтрали источника питания относительно земли:

- T - заземленная нейтраль;
- I - изолированная нейтраль.

Вторая-буква - состояние открытых проводящих частей относительно земли:

T - открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;

N - открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие (после N) буквы - совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S - нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены;

C - функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник);

2.32. Условные обозначения:

L1- (красным цветом)- **фаза А**

L2- (зелёным цветом)- **фаза В**

L3- (красным цветом)- **фаза С**

N – (голубым цветом)- нулевой рабочий (нейтральный) проводник

PE – (и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины (для шин от 15 до 100 мм) желтого и зеленого цветов.) - **защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);**

PEN-(цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и желто-зеленые полосы на концах)- **Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники**

2.3.3. Защитный (PE) проводник - проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Защитный заземляющий проводник - защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

Нулевой защитный проводник - защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

2.3.4. Нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N) - проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

2.3.5. Совмещенные нулевой защитный и нулевой рабочий (PEN) проводники - проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающие функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

2.3.6. Корпус электроустановки не заземлен.

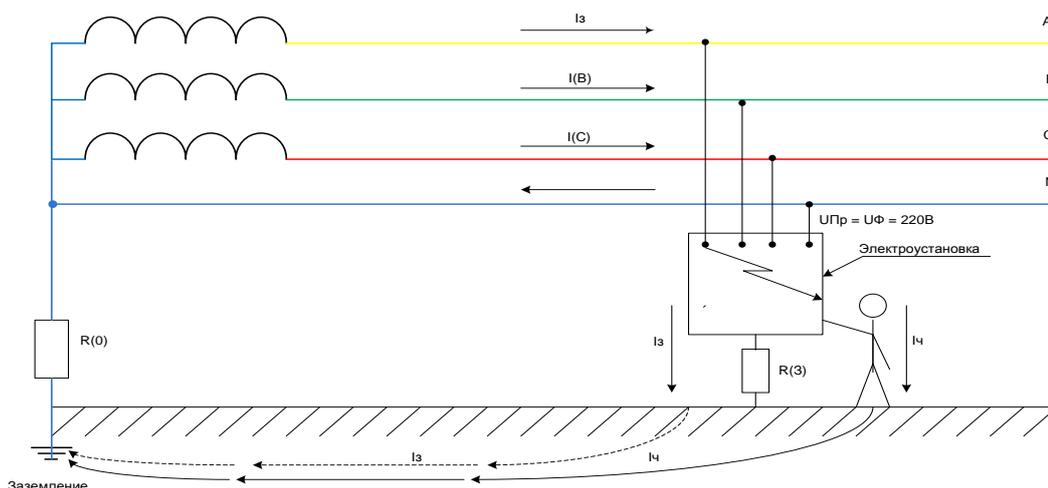


Рисунок 2.3.5 Электрическая сеть с глухозаземлённой нейтралью

В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью проводимость изоляции и емкостная проводимость проводов относительно земли малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому при определении тока через человека, касающегося электропроводящего корпуса электроустановки при однофазном замыкании сети, ими можно пренебречь.

На (Рис.2.3.5) мы имеем схему без нулевого защитного проводника, роль которого выполняет земля.

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

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{R(0)+R(\kappa)} \quad (12)$$

где: $R(0)$ – сопротивление заземления нейтрали;
 $R(k)$ – сопротивление корпуса, Ом

Сопротивления обмоток источника тока (например, трансформатора, питающего данную сеть) и проводов сети малы по сравнению с $R(0)$ 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 равное падению напряжения на сопротивлении $R(k)$:

$$U_{\text{пр.}(k)} = I_3 R(k) = U_{\text{ф}} \frac{R(k)}{R(0) + R(k)} \quad (13)$$

Ток I_3 может оказаться недостаточным, чтобы вызвать срабатывание максимальной токовой защиты, т. е. установка может не отключиться.

В случае прикосновения человека к данному корпусу, его сопротивление $R(ч)$ шунтирует сопротивление корпуса $R(k)$ и через тело человека протекает ток $I_ч$

$$I_ч = \frac{220 \times 1000}{1000} = 220 \text{ мА} \quad (14)$$

Ток опасный для жизни человека.

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 соответствующей проводимости.

Следовательно вытекает вывод: ***в трехфазной сети напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью без нулевого защитного проводника невозможно обеспечить безопасность при косвенном прикосновении, поэтому такая сеть применяться не должна.***

2.3.7. Корпус электроустановки заземлен.

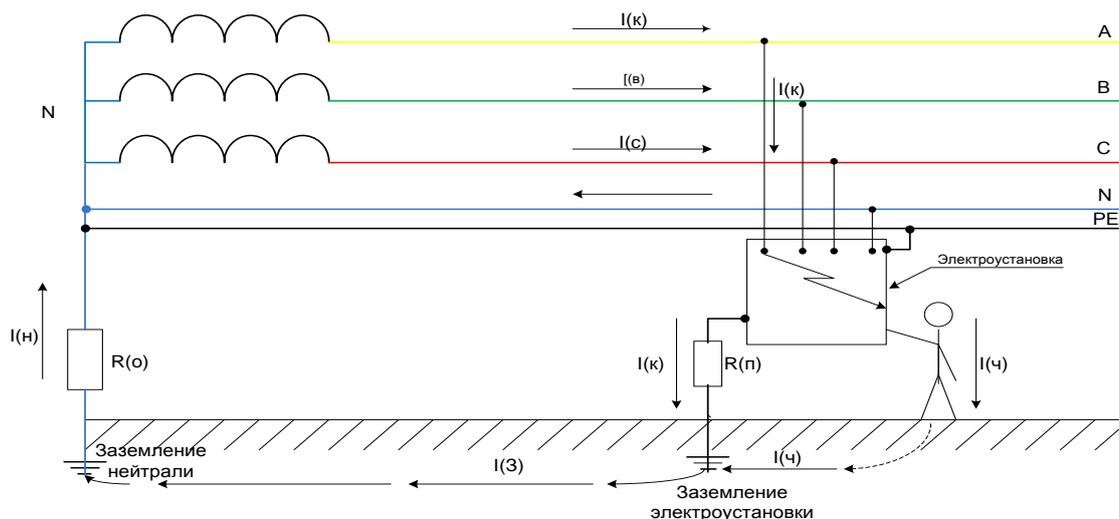


Рисунок 2.3.6 Электрическая сеть с глухозаземлённой нейтралью и занулённым корпусом электроустановки

Для обеспечения безопасности при косвенном прикосновении к токопроводящим частям электроустановки выполняется **защитное зануление** (рис.2.3.6)

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Для соединения открытых проводящих частей потребителя электроэнергии с глухозаземленной нейтральной точкой источника используется нулевой защитный проводник.

Нулевым защитным проводником (PE – проводник в системе TN – S) называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземленной нейтральной точкой источника питания трехфазного тока или с заземленным выводом источника питания однофазного тока, или с заземленной средней точкой источника питания в сетях постоянного тока.

Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Область применения зануления: электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (система TN – S; обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);

Принцип действия зануления.

При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя (рис.2.3.6) образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

Рис. 2.3.6 – Принципиальная схема зануления в системе TN–S:

$R(o)$ – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока;

$R(p)$ – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;

I_k – ток КЗ;

I_n – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник;

I_z – часть тока КЗ, протекающего через землю.

Следовательно, зануление обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и за счет снижения напряжения прикосновения.

В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановки в аварийном режиме могут использоваться плавкие предохранители и автоматические выключатели, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловыми реле, осуществляющие защиту от перегрузки, автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки и др.

Из рис. 2.3.6. видно, что для схемы зануления необходимы нулевой защитный проводник, глухое заземление нейтрали источника тока и повторное заземление нулевого защитного проводника.

В главе 1.7.39. ПУЭ определено:

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или глухозаземленным выводом источника однофазного тока, а также с глухозаземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление. Применение в

таких электроустановках заземления корпусов электроприемников без их зануления не допускается.

2.3.8. К частям, подлежащим занулению или заземлению согласно ПУЭ относятся:

- 1) корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т.п;
- 2) приводы электрических аппаратов;
- 3) вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- 4) каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного тока или более 110 В постоянного тока;
- 5) металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные соединительные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;
- 6) металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов напряжением до 42 В переменного тока и до 110 В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т.п. Вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению или занулению;
- 7) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;
- 8) электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

2.3.9. Требование ПУЭ к заземлению источника переменного тока и повторному заземлению электроустановки

1.7.60. Нейтраль генератора, трансформатора на стороне до 1 кВ должна быть присоединена к заземлителю при помощи заземляющего проводника. Сечение заземляющего проводника должно быть не менее указанного в [табл.1.7.1.](#)

Использование нулевого рабочего проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства, в качестве заземляющего проводника не допускается.

Указанный заземлитель должен быть расположен в непосредственной близости от генератора или трансформатора. В отдельных случаях, например, во внутрицеховых подстанциях заземлитель допускается сооружать непосредственно около стены здания.

1.7.61. Вывод нулевого рабочего проводника от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства должен быть выполнен: при выводе фаз шинами - шиной на изоляторах, при выводе фаз кабелем (проводом) - жилой кабеля (провода). В кабелях с алюминиевой оболочкой допускается использовать оболочку в качестве нулевого рабочего проводника вместо четвертой жилы.

Проводимость нулевого рабочего проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора, должна быть не менее 50% проводимости вывода фаз.

1.7.62. Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более:

2 Ом при линейном напряжении 660 В;

4 Ом при линейном напряжении 380 В;

8 Ом при линейном напряжении 220 В;

При этом сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более: 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Повторные заземления нулевого провода должны быть осуществлены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами. Заземляющие проводники для повторных заземлений нулевого провода должны быть выбраны из условия длительного прохождения тока не менее 25 А.