

Лекция 3. Системы заземления нейтрали

Выбор режима нейтрали электроустановок, которые по условиям электробезопасности в соответствии с ТКП-339-2011 разделяются на электроустановки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ.

Под нейтралью электрической сети понимают совокупность нейтральных точек обмоток трансформаторов (нулевой потенциал обмоток, соединенных в звезду) и соединяющих их проводников. Нейтраль может быть изолирована от земли, соединена с землей через активное или реактивное сопротивление, а также глухозаземленной. Режим заземления нейтрали исключительно важный вопрос при проектировании и реконструкции сети, так как он определяет:

- ток в месте повреждения и перенапряжения на поврежденных фазах;
- схему построения релейной защиты от замыканий на землю;
- выбор ОПН для защиты от перенапряжений;
- допустимое сопротивление контура заземления подстанции;
- безопасность персонала;
- надежность работы электрооборудования.

С учетом современной концепции электробезопасности электроустановок зданий при напряжении до 1 кВ в настоящее время действует комплекс ГОСТ 303311-95 – ГОСТ 30331.9-95, который содержит полный аутентичный пакет международного стандарта МЭК 364 «Электрические установки зданий». Требования данного стандарта должны учитываться при разработке режимов работы нейтрали.

В главе 1.7 ТКП-339-2011 приведены возможные варианты (режимы) заземления нейтрали. Режим заземления нейтрали обозначается двумя буквами: первая указывает режим заземления нейтрали источника питания, вторая – открытых проводящих частей. В обозначениях используются начальные буквы французских слов:

- T (terre – земля) – заземлено;
- N (neuter – нейтраль) – присоединено к нейтрали источника;
- I (isole) – изолировано.

T – непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки с землей, независимо от характера связи источника питания с землей.

N – непосредственная связь открытых проводящих частей (ОПЧ) с нейтралью трансформатора или точкой заземления источника питания. Последующие буквы определяют способ устройства нулевого защитного и нулевого рабочего проводников:

S – функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников обеспечиваются отдельными проводниками.

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются одним общим проводником (PEN).

Таким образом, тип системы заземления – это комплексная характеристика, которую ГОСТ устанавливает для совокупности, включающей в себя с одной стороны – питающую электрическую сеть, с другой стороны – электроустановку.

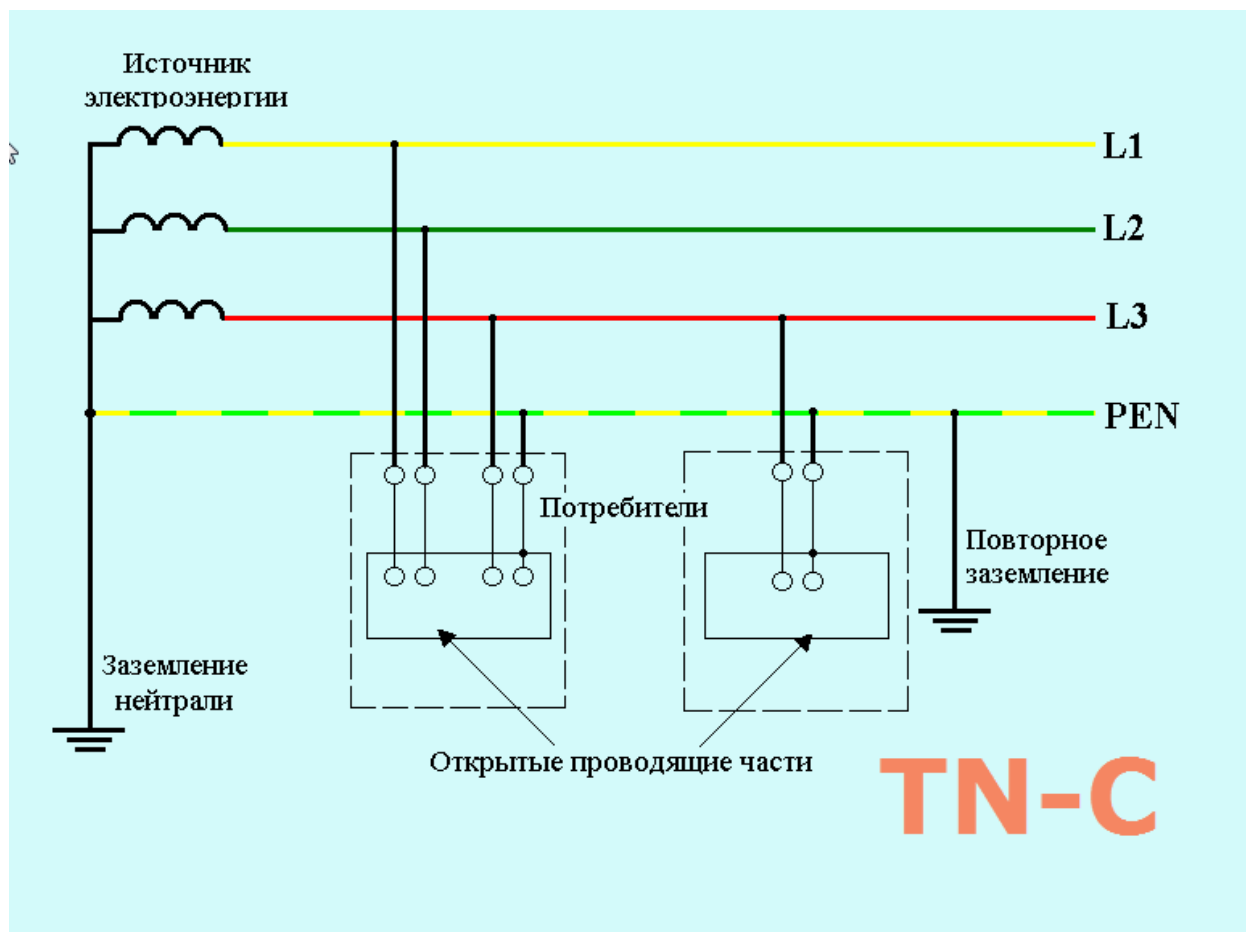


Рисунок 1 – Тип системы заземления TN-C

В системе TN-C (рисунок 1) трансформаторная подстанция имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с заземляющим устройством (глухозаземленная нейтраль). Все открытые проводящие части электроустановок (открытая проводящая часть – доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением, при повреждении основной изоляции, к ним относятся металлические корпуса электрооборудования) имеют непосредственную связь с заземляющим устройством подстанции. Для обеспечения этой связи применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN).

Сети 0,4 кВ с таким режимом заземления нейтрали и открытых проводящих частей (занулением) до последнего времени были широко распространены в РБ. Электробезопасность в сети TN-C при косвенном прикосновении (косвенное прикосновение – электрический контакт людей и животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции. То есть это прикосновение к металлическому корпусу электрооборудования при пробое изоляции на корпус) обеспечивается отключением возникших однофазных замыканий на корпус с помощью предохранителей или автоматических выключателей. Режим TN-C был принят в качестве главенствующего в то время, когда основными аппаратами защиты от замыканий на корпус были предохранители и автоматические выключатели. Характеристики срабатывания этих аппаратов защиты в свое время определялись особенностями защищаемых воздушных линий (ВЛ) и кабельных линий (КЛ), электродвигателей и других нагрузок. Обеспечение электробезопасности было второстепенной задачей. При относительно низких значениях токов однофазного КЗ (удаленность нагрузки от источника, малое сечение провода) время отключения существенно возрастает. При этом электропоражение человека, прикоснувшегося к металлическому корпусу, весьма вероятно. Например, для обеспечения электробезопасности отключение КЗ на корпус в сети 220В должно выполняться за время не более 0,2с. В соответствии со стандартом IEC 60364, в соответствии с ГОСТ 30331.3-95 – 0,4с. Но такое время

отключения предохранители и автоматические выключатели способны обеспечить только при кратностях токов КЗ по отношению к номинальному 13 току на уровне 6-10. Таким образом, в сети TN-C существует проблема обеспечения безопасности при косвенном прикосновении из-за невозможности обеспечения быстрого отключения. Кроме того, в сети TN-C при однофазном КЗ на корпус электроприемника возникает вынос потенциала по нулевому проводу на корпуса неповрежденного оборудования, в том числе отключенного и выведенного в ремонт. Это увеличивает вероятность поражения людей, контактирующих с электрооборудованием сети. Вынос потенциала на все зануленные корпуса возникает и при однофазном КЗ на питающей линии (например, обрыв фазного провода ВЛ 0,4 кВ с падением на землю) через малое сопротивление (по сравнению с сопротивлением контура заземления подстанции 6-10/0,4 кВ). При этом на время действия защиты на нулевом проводе и присоединенных к нему корпусах возникает напряжение, близкое к фазному. Особую опасность в сети TN-C представляет обрыв (отгорание) нулевого провода. В этом случае все присоединенные за точкой обрыва металлические зануленные корпуса электроприемников окажутся под фазным напряжением. Выбор типа отключающего устройства по току срабатывания, установленных на ТП, по сопротивлению петли нулевого провода недостаточно. Расчет токов ОЗЗ необходимо производить в соответствии с СТП 0910.20.145-07, методическими указаниями по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 10 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги». При этом необходимо учесть влияние асинхронных двигателей и нагрева кабелей токами короткого замыкания. Самым большим недостатком сетей TN-C является неработоспособность в них устройств защитного отключения (УЗО) или residual current devices (RCD) по западной классификации. Пожаробезопасность сетей TN-C низкая. При однофазных КЗ в этих сетях возникают значительные токи (килоамперы), которые могут вызывать возгорание. Ситуация осложняется возможностью возникновения однофазных замыканий через значительное переходное сопротивление, когда ток замыкания относительно невелик и защиты не срабатывают либо срабатывают со значительной выдержкой

времени. Бесперебойность электроснабжения в сетях TN-C при однофазных замыканиях не обеспечивается, так как замыкания сопровождаются значительным током и требуется отключение присоединения. В процессе однофазного КЗ в сетях TN-C возникает повышение напряжения (перенапряжения) на неповрежденных фазах примерно на 40%. Сети TN-C характеризуются наличием электромагнитных возмущений. Это связано с тем, что даже при нормальных условиях работы на нулевом проводнике при протекании рабочего тока возникает падение напряжения. Соответственно между разными точками нулевого провода имеется разность потенциалов. Это вызывает протекание токов в проводящих частях зданий, оболочках кабелей и экранах телекоммуникационных кабелей и соответственно электромагнитные помехи. Электромагнитные возмущения существенно усиливаются при возникновении однофазных КЗ со значительным током, протекающим в нулевом проводе. Значительный ток однофазных КЗ в сетях TN-C вызывает существенные разрушения электрооборудования. Например, прожигание и выплавление стали статоров электродвигателей. На стадии проектирования и настройки зашит в сети TN-C необходимо знать сопротивления всех элементов сети, в том числе и сопротивления нулевой последовательности для точного расчета токов однофазных КЗ. То есть необходимы расчеты или измерения сопротивления петли фаза-нуль для всех присоединений. Любое существенное изменение в сети (например, увеличение длины присоединения) требует проверки условий зашиты.

В системе TN-S (рисунок 2) подстанция (источник питания) имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с заземляющим устройством. Все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с заземляющим устройством подстанции. Для обеспечения этой связи на головном (по ходу энергии) участке питающей электрической сети применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN), в остальной части электрической сети – отдельный нулевой защитный проводник (PE).

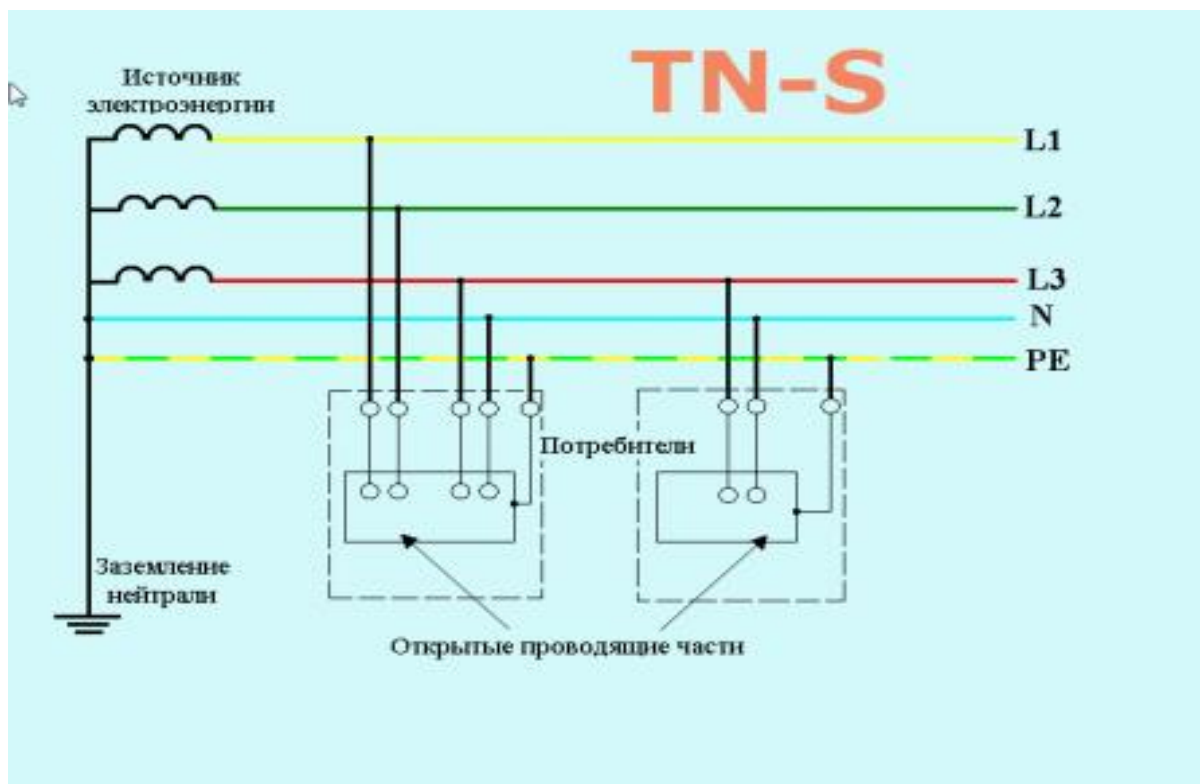


Рисунок 2 – Тип системы заземления TN-S

Сети 0,4 кВ с таким режимом заземления нейтрали и открытых проводящих частей называются пятипроводными. В них нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены. Само по себе использование сети TN-S не обеспечивает электробезопасность при косвенном прикосновении, так как при пробое изоляции на корпусе, как и в сети TN-C, возникает опасный потенциал. Однако в сетях TN-S возможно использование УЗО. При наличии этих устройств уровень электробезопасности в сети TN-S существенно выше, чем в сети TN-C. При пробое изоляции в сети TN-S также возникает вынос потенциала на корпуса других электроприемников, связанных проводником PE. Однако быстрое действие УЗО в этом случае обеспечивает безопасность. В отличие от сетей TN-C обрыв нулевого рабочего проводника в сети TN-S не влечет за собой появление фазного напряжения на корпусах всех связанных данной линией питания электроприемников за точкой разрыва.

Пожаробезопасность сетей TN-S при применении УЗО в сравнении с сетями TN-C существенно выше. УЗО чувствительны к развивающимся дефектам изоляции и предотвращают возникновение значительных токов однофазных КЗ.

В отношении бесперебойности электроснабжения и возникновения перенапряжений, сети TN-S не отличаются от сетей TN-C.

Электромагнитная обстановка в сетях TN-S в нормальном режиме существенно лучше, чем в сетях TN-C. Это связано с тем, что нулевой рабочий проводник изолирован и отсутствует ответвление токов в сторонние проводящие пути. При возникновении однофазного КЗ создаются такие же электромагнитные возмущения, как и в сетях TN-C. Наличие в сетях TN-S устройств УЗО существенно снижает объем повреждений при возникновении однофазных КЗ по сравнению с сетями TN-C. Это объясняется тем, что УЗО ликвидирует повреждение в его начальной стадии. Следует отметить, что сети TN-S более дорогие в сравнении с сетями TN-C из-за наличия пятого провода, а также УЗО.

Система TN-C-S (рисунок 3) представляет собой комбинацию систем TN-C и TN-S. Для этой сети будут справедливы все преимущества и недостатки, указанные выше.

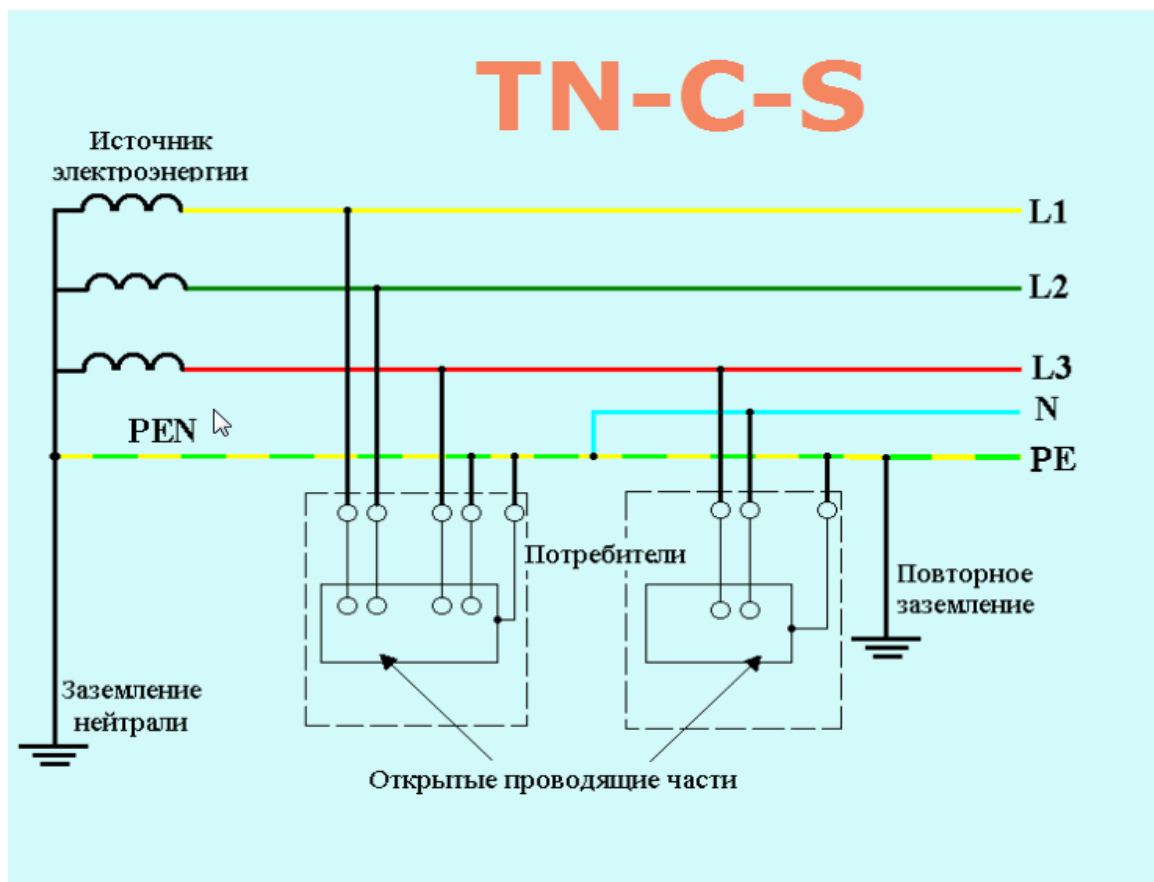


Рисунок 3 – Тип системы заземления TN-C-S

В системе ТТ (рисунок 4) подстанция имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с заземляющим устройством. Все открытые проводящие части имеют непосредственную связь с заземляющим устройством через заземлитель, электрически независимый от заземлителя нейтрали трансформатора.

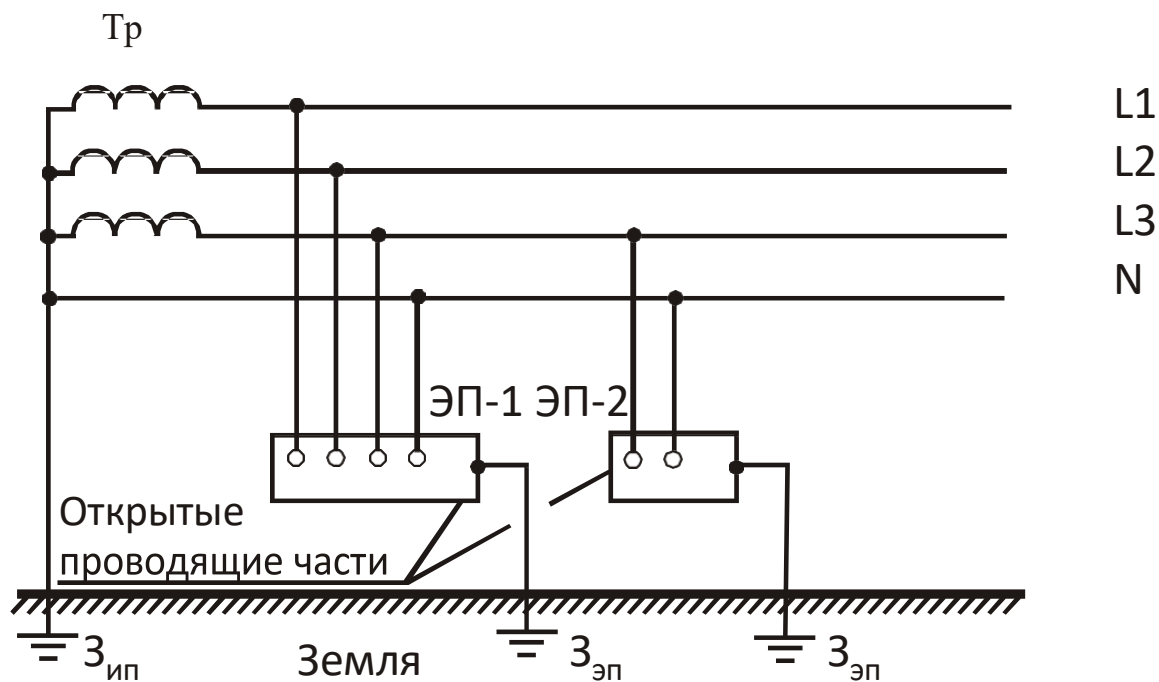


Рисунок 4 – Тип системы заземления ТТ

Особенностью данного типа сетей 0,4 кВ является то, что открытые проводящие части электроприемников присоединены к заземлению, которое обычно независимо от заземления питающей подстанции 6-10/0,4 кВ.

Электробезопасность в этих сетях обеспечивается использованием УЗО в обязательном порядке. Само по себе использование режима ТТ не обеспечивает безопасности при косвенном прикосновении. Если сопротивление местного заземлителя, к которому присоединены открытые проводящие части, равно сопротивлению заземления питающей подстанции 6(10)/0,4 кВ и возникает замыкание на корпус, то напряжение прикосновения составит половину фазного напряжения (110В для сети 220В). Такое напряжение опасно, и необходимо немедленное отключение поврежденного присоединения. Но отключение не может быть обеспечено автоматическими выключателями и предохранителями за безопасное для прикоснувшегося человека время из-за малой величины тока

однофазного замыкания. Например, если принять, что сопротивления заземления питающей подстанции 6(10)/0,4 кВ и местного заземлителя равны 0,5 Ом, и пренебречь сопротивлениями силового трансформатора и кабеля, при фазном напряжении 220 В ток однофазного замыкания на корпус в сети ТТ составит всего 220 А. С учетом всех сопротивлений в цепи замыкания ток будет еще меньше. Пожаробезопасность сетей ТТ в сравнении с сетями TN-C существенно выше. Это связано со сравнительно малой величиной тока однофазного замыкания и с применением УЗО, без которых сети ТТ вообще эксплуатироваться не могут.

Бесперебойность электроснабжения в сетях ТТ при однофазных замыканиях не обеспечивается, так как требуется отключение присоединения по условиям безопасности.

При возникновении однофазного замыкания на землю в сети ТТ напряжение на неповрежденных фазах относительно земли повышается, что связано с появлением напряжения на нейтрали питающего трансформатора 6(10)/0,4 кВ. Если принять сопротивления, указанные выше, то напряжение на нейтрали составит половину фазного. Такое повышение напряжения не опасно для изоляции, так как однофазное замыкание достаточно быстро ликвидируется действием УЗО, причем в большинстве случаев до своего полного развития и достижения тока максимума.

В системе ТТ нескольких корпусов электроприемников обычно объединены одним защитным проводником РЕ и присоединены к общему заземлителю, отдельному, как уже сказано, от заземлителя питающей подстанции. Выполнять отдельный заземлитель в сети ТТ для каждого электроприемника нецелесообразно по экономическим соображениям. В нормальном режиме по защитному проводнику в системе ТТ не протекает ток и соответственно между корпусами отдельных электроприемников нет разности потенциалов. То есть в нормальном режиме электромагнитные возмущения (разность потенциалов между корпусами, протекание токов по конструкциям зданий и оболочкам кабелей) отсутствуют. При возникновении однофазного замыкания ток относительно невелик, при его протекании падение напряжения на защитном проводнике невелико, длительность протекания тока мала. Соответственно возникающие при этом возмущения также

невелики. Таким образом, с позиций электромагнитных возмущений сеть ТТ имеет преимущество по сравнению с сетями TN-C в нормальном режиме работы и с сетями TN-C, TN-S, TN-C-S в режиме однофазного замыкания. Объем повреждений оборудования в сетях ТТ при возникновении однофазных КЗ невелик, что связано с малой величиной тока в сравнении с сетями TN-C, TN-S, TN-C-S и с использованием УЗО, которые обеспечивают отключение до полного развития повреждения изоляции. С точки зрения проектирования, сети ТТ имеют существенное преимущество по сравнению с сетями TN. Использование в сетях ТТ УЗО устраняет проблемы, связанные с ограничением длины линий, необходимостью знать полное сопротивление петли КЗ. Сеть может быть расширена или изменена без повторного расчета токов КЗ или замера сопротивления петли тока КЗ. Учитывая, что сам по себе ток однофазного КЗ в сетях ТТ меньше, чем в сетях TN-S, TN-C-S, сечение защитного проводника РЕ в сети ТТ может быть меньше.

В системе IT (рисунок 5) питающая сеть не имеет непосредственной связи токоведущих частей с заземляющим устройством, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

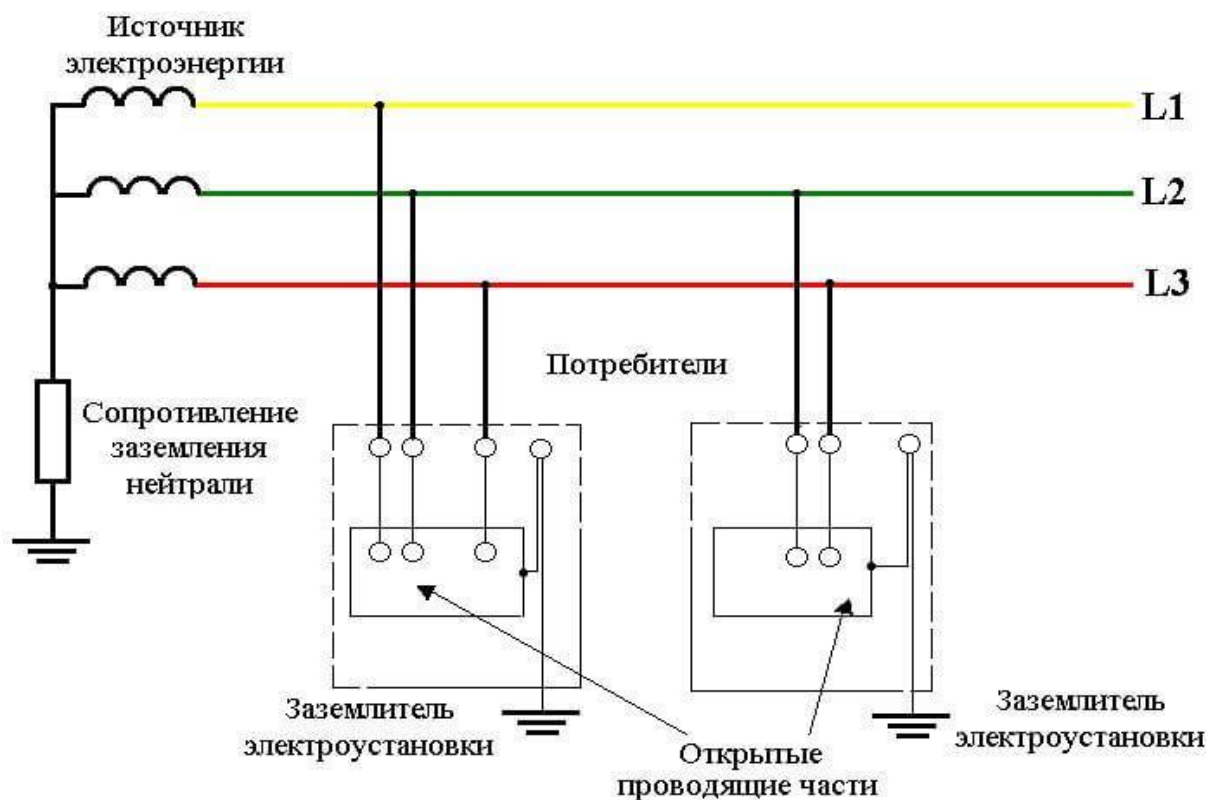


Рисунок 5 – Тип системы заземления IT

Нейтральная точка питающего трансформатора 6(10)/0,4 кВ такой сети изолирована от земли или заземлена через значительное сопротивление (сотни Ом – несколько кОм). Защитный проводник в таких сетях отделен от нейтрального.

Электробезопасность при однофазном замыкании на корпус в этих сетях наиболее высокая из всех рассмотренных. Это связано с малой величиной тока однофазного замыкания (единицы ампер). При таком токе замыкания напряжение прикосновения крайне невелико и отсутствует необходимость немедленного отключения возникшего повреждения. Кроме того, в сети IT безопасность может быть улучшена за счет применения УЗО.

Пожаробезопасность сетей IT самая высокая в сравнении с сетями TNC, TN-S, TN-C-S, TT. Это объясняется наименьшей величиной тока однофазного замыкания (единицы ампер) и малой вероятностью возгорания.

Сети IT отличаются высокой бесперебойностью электроснабжения потребителей. Возникновение однофазного замыкания не требует немедленного отключения.

При возникновении однофазного замыкания на землю в сети IT напряжение на неповрежденных фазах увеличивается в 1,73 раза. В сети IT с изолированной нейтралью (без резистивного заземления) возможно возникновение дуговых перенапряжений высокой кратности. Электромагнитные возмущения в сетях IT невелики, поскольку ток однофазного замыкания мал и не создает значительных падений напряжения на защитном проводнике.

Повреждения оборудования при возникновении однофазного замыкания в сетях IT очень малы. Для эксплуатации сети IT необходим квалифицированный персонал, способный быстро находить и устранять возникшее замыкание. Для определения поврежденного присоединения необходимо специальное устройство (в западных странах применяется генератор тока с частотой, отличной от промышленной, включаемый в нейтраль). Сети IT имеют ограничение на расширение сети, так как новые присоединения увеличивают ток однофазного замыкания.

В качестве общих рекомендаций для выбора той или иной сети можно указать следующее:

1. Сети TN-C и TN-C-S не следует использовать из-за низкого уровня электро- и пожаробезопасности, а также возможности значительных электромагнитных возмущений.

2. Сети TN-S рекомендуются для статичных (не подверженных изменениям) установок, когда сеть проектируется «раз и навсегда».

3. Сети TT следует использовать для временных, расширяемых и изменяемых электроустановок.

4. Сети IT следует использовать в тех случаях, когда бесперебойность электроснабжения является крайне необходимой.

Возможны варианты, когда в одной и той же сети следует использовать два или три режима. Например, когда вся сеть получает питание по сети TNS, а часть ее через разделительный трансформатор по сети IT.

Резюмируя изложенное выше, отметим, что ни один из способов заземления нейтрали и открытых проводящих частей не является универсальным. В каждом конкретном случае необходимо проводить экономическое сравнение и исходить из критериев: электробезопасности, пожаробезопасности, уровня бесперебойности электроснабжения, технологии производства, электромагнитной совместимости, наличия квалифицированного персонала, возможности последующего расширения и развития сети.