

Применявшаяся ранее (до середины 2001 г.) в электроустановках Украины одноуровневая защита человека от поражения электрическим током не гарантировала электробезопасность, поэтому вместо нее была принята широко используемая во всем мире на много более безопасная трехуровневая система защиты.

Трехуровневая система защиты человека от поражения электрическим током

Адольф Кравченко, доктор техн. наук, г. Киев,
Виктор Красинский, канд. техн. наук, г. Ровно



Вплоть до конца XIX века вопрос о действии электричества на организм человека продолжал оставаться не исследованным, поэтому долгое время не существовало каких-либо законодательных документов по Правилам электробезопасности.

Становление и дальнейшее развитие системы электробезопасности

Впервые в мире «Правила электробезопасности» были разработаны в Великобритании в 1882 г. В них выдвигались два основных требования к электробезопасности: человек не должен находиться под воздействием напряжения, превышающего 60 В, и разность потенциалов в помещении не должна превышать 200 В. Характерной особенностью этих Правил явилось также отсутствие в них каких-либо требований к заземлению.

Кроме Великобритании, Правила электробезопасности в конце XIX и начале XX века разрабатывались также и в других странах. Так, в России первые официальные законодательные документы по технике безопасности в высоковольтных электроустановках были утверждены в 1898 г., а первые «Правила и нормы для электротехнических устройств сильного тока» были разработаны в 1912 г.

В последующие годы на основе использования получаемых новейших результатов исследований по электротехнике «Правила электробезопасности» продолжали совершенствоваться, причем центральное место в них неизменно отводилось результатам разработки эффективной системы заземления, поскольку защитить человека от поражения электрическим током можно лишь тогда, когда сети низкого напряжения и (или) корпуса электроприемников заземлены. Так, в Великобритании в 1924 г. в восьмой редакции «Правил» появилось требование к заземлению металлических корпусов электрооборудования.

Рассмотрим более подробно, исходя из современных представлений, роль заземления в электроустановках.

Заземления в электроустановках должны выполняться с целью [2, 5]:

- стабилизации потенциала токоведущих частей (ТВЧ) электроустановки относительно земли в нормальном режиме работы электросети;
- ограничения напряжения между корпусами электрооборудования и землей в случае повреждения изоляции;
- обеспечения действия устройств защиты, устраняющих опасные воздействия электрического тока на человека, в том числе и такие, которые приводят к смертельному электротравматизму (в случае отсутствия таких защитных устройств);
- ограничения возрастания потенциала в сети низкого напряжения в результате повреждений в сети среднего напряжения.

Согласно международному кодексу стандартов МЭК-364, стандартизации подлежат следующие три системы защитного заземления [1–7]:

Система защитного заземления типа TN (система TN), при применении которой заземляется нейтраль трансформатора, а корпуса всех электроприемников подключаются к нейтрالي. При этом, в зависимости от устройства нейтрального (среднего) и защитного проводников в системе TN, эта система подразделяется на три разновидности (типа):

1) систему TN-C, в которой функции нейтрального (среднего) проводника и защитного проводника во всех частях системы выполняет один проводник;

2) систему TN-S, в которой функции защитного проводника и нейтрального (среднего) проводника (при его наличии) во всех частях системы выполняются разными проводниками;

3) систему TN-C-S, в которой система TN-C применяется не во всех частях системы защитного заземления, а только в той ее части, которая начинается от источника питания.

Система защитного заземления типа TT (система TT), при применении которой заземляются нейтраль трансформатора и корпуса всех электроприемников, причем заземлители нейтрали и корпусов электроприемников должны быть электрически независимыми от заземлителя заземляющего устройства токоведущих частей сети.

Система защитного заземления типа IT (система IT), при применении которой нейтраль трансформатора остается незаземленной (изолированной), хотя фактически она имеет связь с землей через паразитные емкости сети и достаточно большое (около 1500 Ом) сопротивление (если это сопротивление устанавливается). Кроме того, в этой системе корпуса электроприемников также должны быть заземлены.

Расшифруем обозначения TN-S и TN-C-S в трех выше приведенных системах защитного заземления. Буква T (*terra* – земля) в этих обозначениях характеризует способ заземления источника питания, т.е. обозначает непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей к земле (глухое заземление нейтрали сети); буква N (*neutral* – нейтральный) обозначает способ заземления нетоковедущих частей электроустановки, т.е. обозначает связь с землей через точку заземления источника. Остальные буквы характеризуют вид нулевого проводника – он либо объединяет функции нулевого рабочего и нулевого защитного (С или PEN-проводник), либо эти функции обеспечиваются отдельными проводниками (S): С (от англ. *complete* – общий) и S (от англ. *selective* – раздельный).

Таким образом, целостная система электробезопасности, которая начала формироваться в 20-х годах XX века, во второй половине этого века получила свое логическое завершение в системе международных стандартов, которые были положены в основу рассматриваемой далее трехуровневой системы защиты человека от поражения электрическим током [4, 5].

Основные положения трехуровневой системы защиты человека от поражения электрическим током

Современная система защиты человека от поражения электрическим током базируется на приведенной ниже трехуровневой системе защиты [1–7]:

I уровень защиты. Основная защита, представляющая собой применение защитных мер против прямого контакта человека с опасными, находящимися под напряжением, токоведущими частями электроустановки, а также применение защитных мер против косвенного прикосновения человека к токоведущим частям электроустановки.

В качестве защитных мер против прямого контакта человека с опасными токоведущими частями (ТВЧ) электроустановки, находящимися под напряжением, применяются: изоляция токоведущих частей, ограждений, оболочек, барьеров,

электрическое (защитное) разделение цепей, безопасное сверхнизкое напряжение (СНН) и др. В качестве основной защиты против косвенного прикосновения человека к токоведущим частям электроустановки применяются следующие защитные меры:

- автоматическое отключение питания (АОП), в том числе с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО-Д);
- применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией;
- применение изолирующих (непроводящих) помещений, зон, площадок;
- использование систем местного уравнивания потенциалов (объединение всех открытых и сторонних проводящих частей, одновременно доступных для прикосновения);
- электрическое разделение цепей с помощью разделяющего трансформатора;
- применение сверхнизкого напряжения и др. – при косвенном прикосновении человека к ТВЧ.



II уровень защиты. Защита при повреждении изоляции и при различного рода неисправностях (аварийных режимах работы) электроустановки.

Такая защита может включать в себя одно или несколько классических защитных мер, таких, как:

- автоматическое отключение, в том числе с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО-Д);
- защитное зануление (система заземления TN);
- защитное заземление с использованием защитных устройств от перенапряжений и защитных устройств для отключения сверхтоков (системы заземления TT или IT);
- защитное электрическое разделение (разделяющий трансформатор);
- постоянный контроль сопротивления изоляции (ПКИ);
- функциональное сверхнизкое напряжение (ФСНН) и др.

III уровень защиты. Дополнительная защита, осуществляемая посредством использования устройств защитного отключения (УЗО) с током уставки не более 30 мА.

УЗО защищают от повреждения изоляции, если заземляющие проводники оборваны или повреждены, а также от прямого контакта человека с опасными ТВЧ электроустановки.

Дополнительная защита должна применяться для переносных приборов, т.е. для электрических цепей, питающихся от штепсельных розеток, или для цепей, проложенных в помещениях с повышенной опасностью.

Таким образом, главной задачей дополнительной защиты является обеспечение защиты человека при его случайном непреднамеренном прямом прикосновении к ТВЧ электроустановки или же при его косвенном прикосновении к ее открытой проводящей части, нормально не находящейся под напряжением, но могущей оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции. Другая важная задача этой защиты – предотвращение смертельного поражения человека электрическим током в случае, когда защитный проводник оборван или неправильно присоединен, а также при повреждении двойной изоляции, когда токи утечки (токи КЗ) малы и недостаточны для срабатывания автоматического выключателя или перегорания плавкой вставки предохранителя.

Характеризуя трехуровневую систему защиты человека от поражения электрическим током, следует обратить особое внимание на некоторые особенности автоматического отключения питания (АОП) электроустановки, применяемого на первом уровне защиты, т.е. тогда, когда на открытых проводящих частях (ОПЧ) электроустановки может появиться напряжение прикосновения, превышающее допустимое значение 50 В переменного тока. Так, наибольшее время отключения электроустановки с помощью АОП нормировано: в зависимости от типа системы заземления оно не должно превышать 0,2...5 с. Если же этого времени отключения не удастся достичь выбором типа выключателя, увеличением сечения проводников и т.п., необходимо применять дополнительную систему уравнивания потенциалов или использовать УЗО.

Для успешного функционирования АОП должны быть:

- установлены защитные устройства АОП;
- заземлены открытые проводящие части путем применения защитного проводника, а также выполнена система уравнивания потенциалов (подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине).

Подведем итог рассмотрению системы защиты человека от поражения электрическим током, которая согласно современным требованиям электробезопасности должна быть трехуровневой (рис.1) и действовать таким образом, чтобы в случае отказа защиты первого уровня срабатывала защита второго уровня; если же не сработает защита второго уровня, то должна срабатывать защита третьего уровня – дополнительная защита, основанная на использовании УЗО-Д, ре-

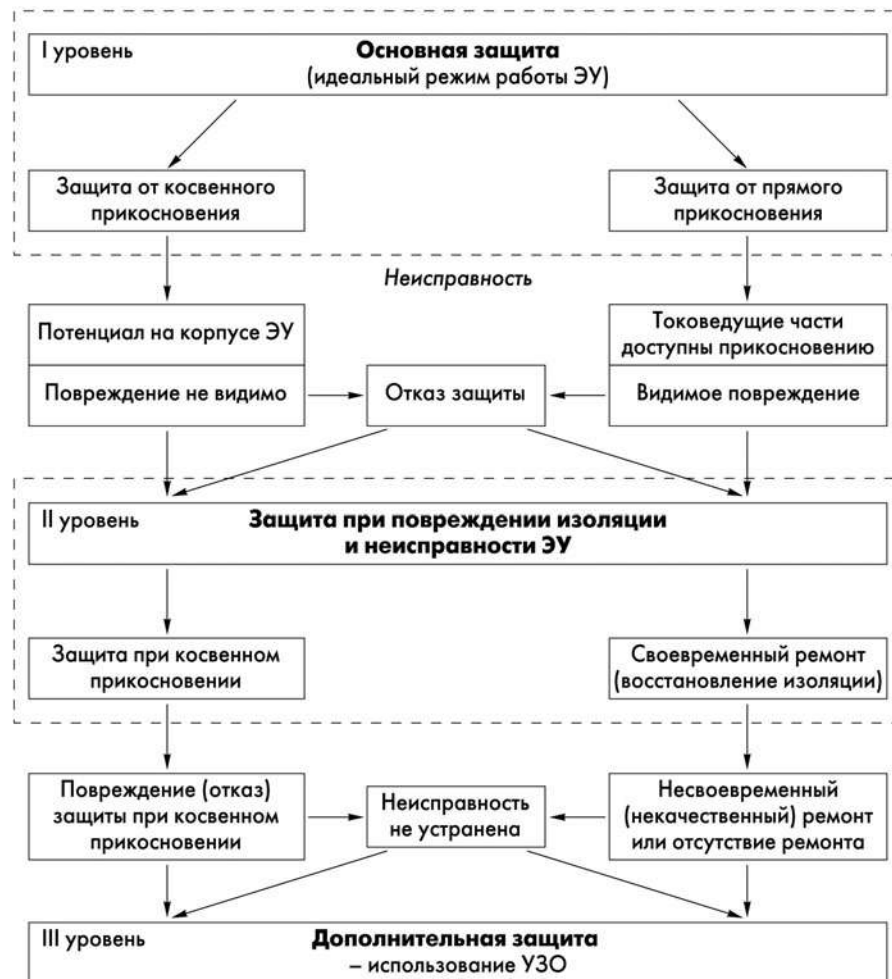


Рис.1

агирующего на дифференциальный ток. Следовательно, УЗО, обеспечивая АОП (аналогично с автоматическими выключателями и плавкими вставками), является единственным устройством, способным защитить человека от прямого случайного прикосновения к токоведущим или при косвенном прикосновении к опасным частям электроустановки.

Оптимальная система трехуровневой защиты при использовании защитного зануления (система заземления TN)

Оптимальная защита от поражения человека электрическим током в электроустановках может быть достигнута с помощью применения показанного на рис.1 комплекса необходимых и достаточных электрозащитных мер с учетом особенностей конкретных электроустановок. Так, для электросетей с номинальным напряжением 230/400 В оптимальная система защиты от поражения человека электрическим током, перенапряжений и возгораний, вызываемых повреждением изоляции, в наиболее распространенной в настоящее время системе заземления TN реализуется путем использования зануления и УЗО, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО-Д).

Оптимальность этой защиты от поражения электрическим током, а также в других выше перечисленных случаях определяется следующими особенностями системы заземления TN и особенностями применения УЗО-Д [5, 6]:

- Потенциал доступных к прикосновению человека открытых и сторонних проводящих частей электроустановки, имеющих в нормальном режиме работы нулевой потенциал (поскольку они не находятся под напряжением), в случае повреждения изоляции оказывается значительно меньшим по сравнению с напряжением сети относительно земли. Малая величина этого потенциала на проводя-

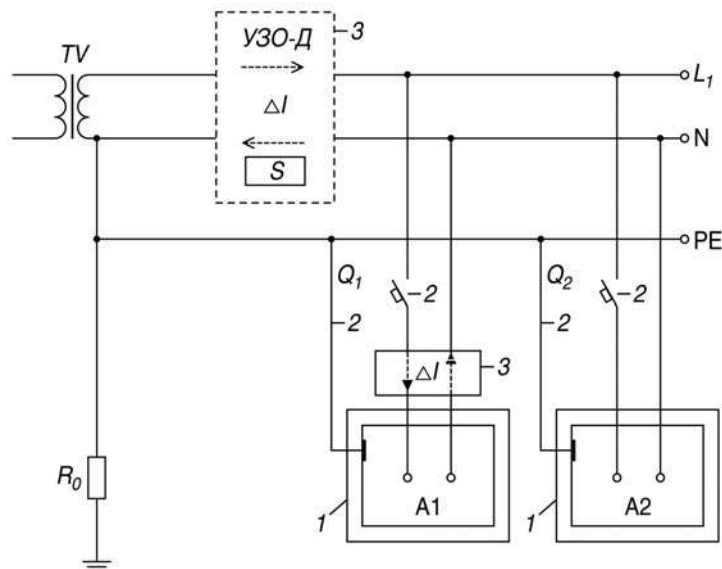


Рис.2

щих частях электроустановки в случае повреждения изоляции обусловлена: относительно низким сопротивлением цепи обратного тока (функции которой выполняет PE- или PEN-проводник, в качестве которого используются жилы и металлические оболочки кабелей) и сторонними проводящими частями электроустановки.



- Вероятность отключения электросети в случае повреждения изоляции с помощью устройств защиты от сверхтока достаточно высока.
- Система защиты применима и к электросетям с протекающими по ним большими номинальными токами.
- Система заземления электросети типа TN обеспечивает удобство осуществления питания электроустановок и при этом является достаточно экономичной. Кроме того, эта система заземления электросети обеспечивает снижение воздействий перенапряжений, вызываемых переходом напряжения с высокой стороны на низкую, а также снижает до минимума последствия коммутационных и атмосферных перенапряжений; если же эта система защиты

укомплектовывается еще и дополнительной защитой в виде УЗО-Д, то тем самым обеспечивается оптимальный уровень электробезопасности.

Следует обратить внимание на то, что сеть системы TN-S в настоящее время является наиболее современной и в большинстве случаев самой безопасной в значительной мере за счет того, что в этой сети используется самостоятельный нулевой защитный проводник PE и нулевой рабочий проводник N, которые прокладываются раздельно, начиная от ввода источника питания.

На рис.2 в качестве характерного примера современной распределительной сети показана распределительная сеть с заземленным выводом источника тока (т.е. система TN-S) содержащая УЗО, в которой применена трехуровневая система защиты:

- 1 – основная защита;
- 2 – защита при повреждении;
- 3 – дополнительная защита (УЗО-Д).

Роль основной защиты в этой распределительной сети выполняет изоляция электрооборудования, присоединенного к сети, которая предотвращает прямое прикосновение к опасным ТВЧ. При этом защита в случае повреждения изоляции обеспечивается системой TN (занулением) и устройством защиты от сверхтока (вместе они выполняют функции защитного зануления). Дополнительная защита выполняется в виде УЗО-Д, которое в случае обрыва или повреждения защитных проводников защищает от повреждения изоляции фазных проводников, а также защищает человека от поражения электрическим током при его прямом контакте с опасными ТВЧ.

Литература

1. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок. Введено в действие приказом Минтруда и социальной политики Украины № 272 от 21.06.2001 г. – К.: Укрархстройинформ, 2001.
2. ДБН В. 2.5-27-2006 Защитные меры электробезопасности в электроустановках зданий и сооружений. – К.: Минстрой Украины, 2006.
3. Использование и эволюция систем заземления в разных странах мира. Библиотека электрика. Выпуск 2 // Промэлектро. – 2006. – №3.
4. Красинский В.Н. Об эффективности трехуровневой системы защиты от поражения электрическим током // Электропанорама. – 2008. – №10, 11.
5. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. – СПб.: Политехника, 2005.
6. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 1. Общие требования. Основная защита. Справочное пособие. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2008.
7. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток. Справочное пособие. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2007.