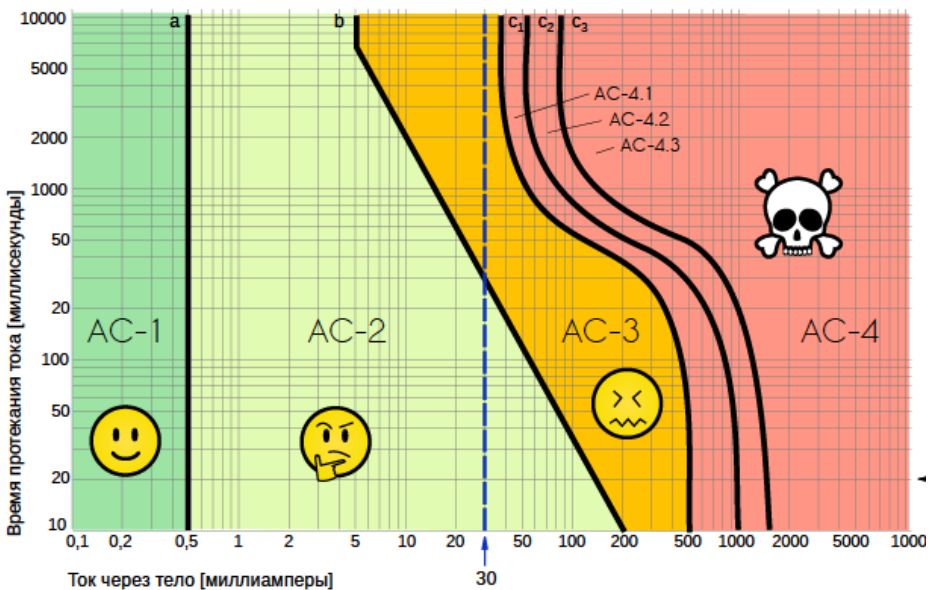


35-36 Выключатели дифференциального тока (УЗО) и устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП)

УЗО это единственные устройства в электрощите, основная цель которых – защита человека от поражения электрическим током.

Тысячи разобранных случаев, когда кто-то был убит электричеством, позволили инженерам выяснить некоторые закономерности и предпринять меры. А именно: выяснилось, что случаев смерти, когда человек умер от обращения с напряжением менее 50 В, почти нет. Низкое напряжение, с кучей оговорок, вполне себе безопасно. Однако убивает не напряжение, а ток, протекающий через человека в течение определённого промежутка времени.

Усреднив индивидуальные особенности, учёные составили график зависимости силы тока, времени воздействия и последствий для человека, изображённый на рисунке



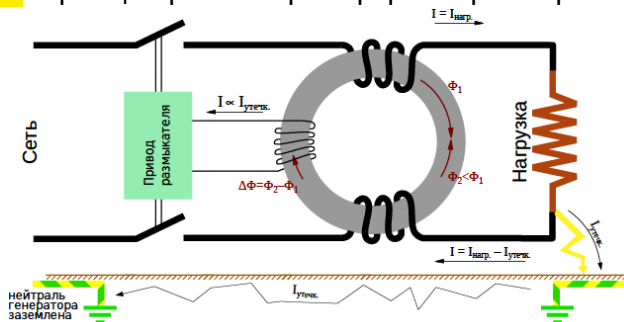
При токах менее 0,5 мА (зелёная область) человек ничего не чувствует. При токах 0,5–20 мА (салатовая область) ток уже неприятно щиплет, кусает. При токах 20–100 мА (жёлтая область) тело человека уже конкретно трясёт, сводит мышцы (руку не отдёнешь), и протекающий ток причиняет боль. При токах более

100 мА уже некоторые могут умереть. Из графика можно понять откуда взялась величина 30 мА (синяя штриховая линия) – при меньших токах человек вряд ли умрёт и может сам принять меры, если чувствует, что его бьёт током. А вот при токах больше – нужно срочно спасать, иначе помрёт.

Применение низкого напряжения не очень удобный способ защиты человека, поэтому он применяются только в узких областях, там, где иначе никак. А как же защитить человека от поражения электрическим током, не сильно изменяя существующие электросети? Идея проста и гениальна – нужно анализировать дифференциальный ток.

Дифференциальный ток – это разница в токах двух проводников, например между фазным, уходящим в нагрузку и нулевым, возвращающимся из нагрузки. Появление ощутимого дифференциального тока в цепи чаще всего ненормально, это означает, что часть тока уходит вне контура, который, очевидно, перестал быть замкнутым, и лучше отключить цепь, вдруг ток утекает в землю через человека?

В идеальном мире нам достаточно поставить устройство, контролирующее сам факт появления дифференциального тока. Если всё в порядке – то дифференциального тока нет. Если же ток появился – отключаем нагрузку. Но в реальном мире, к сожалению, дифференциальный ток (ток утечки) появляется даже в полностью исправных устройствах, поэтому придётся пойти на компромисс и выбрать некоторую пороговую величину дифференциального тока, превышение которой будет вызывать отключение. Принцип работы трансформатора современного УЗО



На замкнутом магнитопроводе делают две обмотки, включённые в противофазе, и третью обмотку для привода соленоида. Если токи через первую и вторую обмотку равны, то равны и магнитные поля. Так как они направлены навстречу друг другу, то и суммарный магнитный поток через третью обмотку будет равен нулю. Если же есть утечка, токи перестают быть равны, и через третью обмотку начнёт циркулировать магнитное поле, пропорциональное этой разнице. Там, где есть переменное магнитное поле – там есть индукция и возбуждается ток. Если его достаточно для срабатывания соленоида, то якорь высвободит защёлку и отключит цепь.

Получилось гениальное в своей простоте и надёжности устройство. Правда, дешёвым оно не получилось – механика все равно оказалась нежной и капризной, шутка ли – обнаружить 30 мА разницу дифференциального тока при номинальном токе 16 А, это всё равно, что расслышать писк мыши на фоне грохота поезда. Электромеханическое УЗО изображено на рисунке



В чёрном корпусе, в который уходят тонкие проводники, находится расцепитель.

Электромеханические УЗО для своей работы используют энергию дифференциального тока – именно он в конечном итоге превращается в механическую силу, которая дёргает расцепитель. Само собой, такие нежные механические узлы не способствовали дешевизне устройства. **С появлением недорогой электроники** конструкцию УЗО модернизировали – **нежный расцепитель, срабатывавший на небольшой дифференциальный ток заменили дубовым соленоидом с электронным усилителем.** Расплатой послужила зависимость от напряжения в сети, для работы усилителя приходится брать немного энергии из сети, но такие УЗО получились компактнее и значительно дешевле.

А теперь внимание, важный момент, что будет **при коротком замыкании в нагрузке**? Ничего! Так как условия для срабатывания нет – разницы токов на входе в УЗО и на выходе из УЗО нет. Провода накалятся докрасна, изоляция расплавится и потечёт на пол, а **УЗО не отключится, поскольку не имеет защиты от сверхтока.** **Поэтому УЗО без встроенной защиты от сверхтока ВСЕГДА применяется в паре с автоматическим выключателем или с плавким предохранителем.** Путём скрещивания УЗО и автоматических выключателей производители вывели **гибрид – АВДТ (автоматический выключатель дифференциального тока), который** чаще на жаргоне **называют дифавтоматом,** такое устройство самодостаточно и наличия дополнительного автоматического выключателя не требует.

Типы ВДТ

Изобретённое УЗО отлично работало, если бы не распространение полупроводниковых устройств. Очень многие устройства стали преобразовывать внутри себя напряжение и род тока – делать из переменного тока постоянный, потом снова переменный, иногда другой частоты или величины. Из-за этого стали возможны всяческие неприятные особенности, например, если в устройстве замкнёт на корпус одну из линий с постоянным током, ток утечки будет пульсирующим – в землю будут уходить только положительные полуволны тока. Обычное УЗО в таких случаях может не сработать. Для таких случаев **разработали**

специальные УЗО, рассчитанные срабатывать не только при синусоидальной форме тока утечки, но и при постоянном пульсирующем токе утечки и назвали их тип А. А старые УЗО, срабатывающие только на переменный ток, назвали тип АС. А для совсем уж неприятных случаев (например, пробой цепей после силовых ключей в преобразователях с высокими частотами преобразования, или пробой выхода выпрямителя с мощными сглаживающими конденсаторами) придумали тип В.



АС



А



В

Тип В самый универсальный, но при этом и самый дорогой. Конечно, при возможности стоит выбрать самое прогрессивное устройство типа В. Но, к сожалению, в наших условиях чаще всего можно услышать вопрос: ставить тип А или тип АС? Ответить на него можно так: тип АС можно выбирать только если устройства на линии не имеют электроники внутри себя. Это, например, обогреватели, бойлеры, вентиляторы с электромеханическим управлением. Наличие любого

электронного блока сразу говорит о необходимости типа А, а лучше, конечно же, В.

Если открыть каталог производителей, можно заметить, что УЗО выпускаются на разные дифференциальные токи. Если с причиной выбора тока в 30 мА все понятно, с 10 мА тоже в принципе можно догадаться (ещё более чувствительные устройства для более чуткой защиты), то зачем нужны устройства с током 100 мА и даже 300 мА? Человек же при таких токах умрёт!

Такие УЗО часто называют "противопожарными", так как в силу большого дифференциального тока защиту человека от поражения электрическим током они обеспечивают слабо, а вот функцию защиты при повреждении изоляции всё ещё выполняют. Если изоляция будет нарушена, и при контакте с другим проводником загорится электрическая дуга, то начнётся обугливание изоляции и

выделение тепла, что может поджечь горючие материалы вокруг. Если "повезёт", и ток в дуге будет небольшим, то автоматический выключатель не сработает. А вот выделение тепла и температура могут быть достаточными для пожара. Конечно, потом огонь нарушит изоляцию, произойдёт короткое замыкание и автоматический выключатель сработает, только огонь это уже не погасит.

Отдельная дисциплина споров – какое УЗО лучше, электромеханическое или электронное. В электромеханическом УЗО для отключения используется энергия дифференциального тока, поэтому оно может сработать при обрыве нулевого проводника, да и, в целом, не содержит нежной электроники, но содержит нежную механику. Электронное УЗО требует питания для работы электронного усилителя, поэтому при обрыве нуля работать перестает, часто не отключая цепь. У каждой конфигурации есть свои достоинства и недостатки. А для защиты от обрыва нуля я настоятельно рекомендую ставить реле контроля напряжения.

Для контроля исправности УЗО на передней панели есть кнопочка "тест", которая создаёт утечку в обход одной из обмоток через резистор и имитирует появление дифференциального тока. Если УЗО при нажатии на кнопку тест отключилось – то оно исправно.

УЗО или дифавтомат? (ВДТ или АВДТ?)

Производители с заботой о нас объединили в одном корпусе два устройства – УЗО для защиты от поражения электрическим током и автоматический выключатель для защиты от сверхтока, назвав это АВДТ – Автоматический Выключатель Дифференциального Тока. Продавцы скорее отреагируют на жаргонное название "дифавтомат". Достоинств у такого гибрида не так много – оно компактное, и оно интуитивно понятное (один рычажок, а не два). А вот недостатки есть:

1. Оно лишает гибкости проектировщиков, например, поставить одно УЗО на группу и несколько автоматических выключателей,

или, наоборот, один автоматический выключатель на группу и индивидуальные УЗО на линии.

2. Оно усложняет поиск неисправности, так как обычно на АВДТ отсутствует отдельная индикация и сложно понять, почему оно отключилось (варианты: сработал тепловой расцепитель, электромагнитный расцепитель, или электромагнит от дифференциального тока).

3. Запихивание нескольких устройств в компактный корпус всегда заставляет разработчиков идти на компромиссы.

На мой личный взгляд, применение АВДТ оправдано только при модернизации электрощитка, когда места внутри нет, а дифференциальную защиту хочется. Тогда можно вынуть автоматические выключатели шириной один модуль и воткнуть АВДТ шириной один модуль, и перекоммутировать провода. Щиток в таком случае расширять не придётся. В остальных случаях, по моему мнению, предпочтительнее комбинация УЗО+автоматический выключатель.

Устройства защиты от импульсных перенапряжений

Жители частных домов и владельцы садовых домиков беззащитны перед стихией, разряд молнии в грозу может попасть в дом по воздушной линии электропередач и наделать бед. Именно для защиты потребителей в доме от таких наведённых импульсов напряжения служат устройства защиты от импульсных перенапряжений.

Первыми регулярный ущерб от удара молниями стали испытывать связисты – телеграфные линии, растянутые по полям на столбах, регулярно приносили к дорогому и нежному оборудованию станций кратковременные всплески высокого напряжения. Причём не только от ударов молнии в сами провода, но даже от ударов молний неподалёку от линий! И уже тогда пришлось изобретать способы защиты оборудования от этих всплесков. Когда, спустя десятилетия, свои провода стали растягивать на столбах уже энергетики для только появившегося электрического освещения, некоторые наработки телеграфистов пригодились.

Если кратко сформулировать физический смысл устройств защиты, то их задача сбросить в заземление всю энергию, наведённую в линиях молнией, не допуская чрезмерного роста напряжения. Эти устройства называли УЗИП – устройства защиты от импульсных перенапряжений.

Первым устройством был искровой разрядник

Идея защиты проста – между защищаемым проводником и заземлением в разряднике создаётся минимально допустимый зазор так, чтобы при нормальной работе напряжение не превышало напряжение пробоя зазора. Если в защищаемой линии по какой-то причине напряжение возрастёт (из-за удара молнии или из-за всплесков от работы электрооборудования), то в зазоре происходит электрический пробой – зажигается электрическая дуга, которая из-за ионизации газа неплохо проводит ток. Именно эта дуга обеспечивает временное электрическое соединение с землёй и гаснет, если напряжение понизилось ниже напряжения гашения дуги.

Разрядники применяются до сих пор и очень широко. Причём разрядники выпускаются огромным ассортиментом на все случаи жизни, от маленьких для защиты линий связи до огромных для защиты линий электропередач.

На замену разрядникам в деле защиты линий электропередач и линий связи пришли варисторы. Это особый тип резисторов, сопротивление которых зависит от приложенного напряжения.

То есть они ведут себя примерно как разрядники. Если напряжение ниже порогового – их сопротивление велико, есть только мизерный ток утечки. Если напряжение превышает пороговое, то варистор довольно сильно меняет своё сопротивление, начиная хорошо проводить ток. В отличие от разрядника, возвращается в исходное состояние с высоким сопротивлением, стоит лишь напряжению опуститься ниже порогового. В итоге напряжение на контактах варистора получается относительно стабильным, повышение напряжения он компенсирует увеличением тока через себя, что не даст напряжению расти.

Чисто технически, варистор представляет собой таблетку спечённой керамики из вещества, которое обладает свойством полупроводника, например, гранул оксида цинка в матрице из смеси оксидов металлов, поэтому его и называют MOV – Metal Oxide Varistor. Гранулы создают огромное количество р-п переходов, проводящих ток в одном направлении. Но так как их образуется много и в случайном порядке, для выпрямления тока они бесполезны. Свойство устраивать электрический пробой при превышении определённого напряжения (а электрический пробой р-п перехода обратим) оказалось очень кстати. Регулируя толщину таблетки, можно добиться достаточно стабильного порогового напряжения при производстве. А увеличивая объём шайбы, можно увеличить максимальную энергию импульса, который способен поглотить варистор.

Варистор получился не идеальным, поэтому он не заменил, а лишь дополнил разрядники. За огромный плюс – отсутствие разницы между напряжением пробоя и напряжением восстановления, варисторам прощают токи утечки, ограниченный ресурс (после некоторого количества срабатываний может потерять характеристики), достаточно крупные габариты при скромных допустимых энергиях разряда.

Варистор, от тяжелой работы по поглощению всплесков напряжения может со временем деградировать, устроив короткое замыкание.

На этот случай необходимо предусмотреть защиту, в виде предохранителя.

Большие могучие варисторы на DIN рейку для защиты силовых линий часто содержат в себе

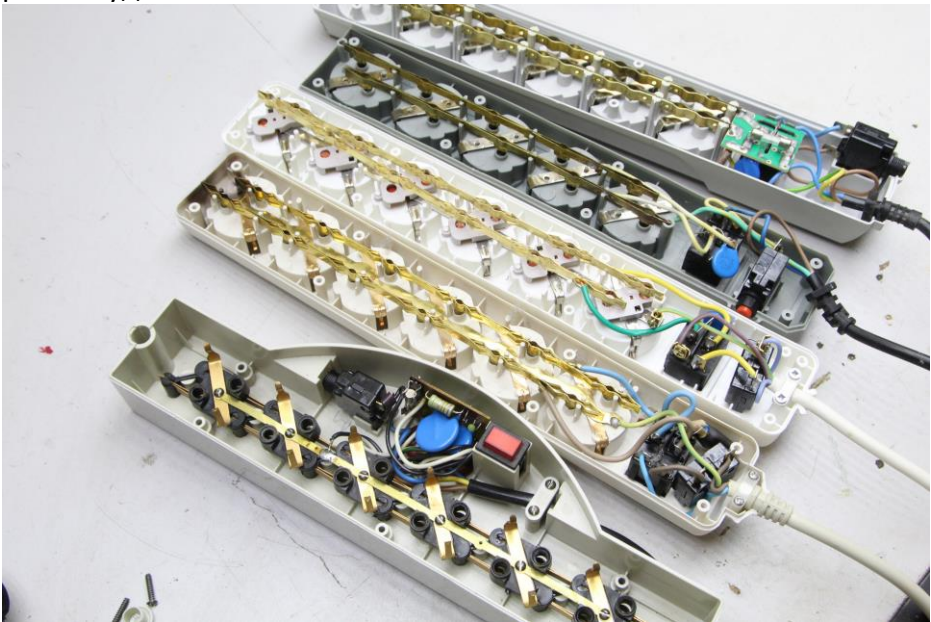


дополнительную встроенную защиту, реагирующую на перегрев.

На рисунке начинка варистора в щиток от компании IEK.

Видно саму таблетку варистора (синего цвета). К ней присоединены электроды и подпружиненный флажок опирается на электрод, припаянный легкоплавким припоем. Если варистор нагревается свыше разумного (неважно, от пришедшего импульса с молнии, или по причине деградации), то припой плавится, электрод отсоединяется, разрывая цепь, и пружина опускает флажок, показывая неисправность варистора. Если защиты не предусмотреть, неконтролируемый нагрев варистора может устроить пожар.

Варисторы небольших размеров можно встретить во множестве электронных устройств для защиты от случайно пришедших по сети всплесков высокого напряжения. В большинстве удлинителей, именующих себя "сетевыми фильтрами", вся фильтрация сводится к наличию пары варисторов внутри. На рисунке можно разглядеть варисторы (синего цвета) в разных удлинителях.



Если вы внимательно прочтаете документацию на устройства защиты от импульсных перенапряжений, то увидите, что многие производители требуют установку предохранителей для защиты от

короткого замыкания – если устройство выйдет из строя, оно может устроить короткое замыкание защищаемой линии на землю. И при таком сценарии лучше, если сгорит предохранитель и отключит устройство защиты от линии, чем это сделает вводной автомат, обесточив нагрузку.

Представьте, что вы оснастили УЗИПами электропитание метеостанции в безлюдном месте. Рядом прошла гроза, УЗИПы выполнили свою функцию, спасли начинку станции от повреждения, но погибли сами – их отключила защита. И получается ситуация, когда станция нормально работает, но при этом не имеет защиты, и следующая гроза может вывести её из строя. Именно от таких неприятных ситуаций **существуют УЗИП с контактами, которые размыкаются/замыкаются, когда защита выходит из строя** (например, на фото УЗП-220 это контакты 4 и 5). В таком случае умерший УЗИП может подать сигнал в систему диспетчеризации, что пора высылать монтажника для замены защиты.



Защита для самых нежных

Помимо варисторов и разрядников есть ещё одни устройства защиты – **полупроводниковые супрессоры (TVS-transient voltage suppressor)**, они же TVS-диоды, они же **полупроводниковые ограничители напряжения**. Это специально спроектированные диоды, которые работают на обратной ветви вольт-амперной характеристики (да, той самой, где происходит обратимый электрический пробой у варисторов). Физически они выполняют ту же самую функцию, что и остальные устройства защиты – не

проводят ток, если напряжение в норме, и начинают проводить ток, если напряжение почему-то превысило допустимое значение, тем самым выполняя роль ограничителя.

Полупроводниковые ограничители напряжения прекрасны почти всем, кроме одного – величина энергии импульса, который они способны ограничить, поглотив излишки, очень мала. Создание на их базе защиты, способной хоть как-то сравниться по характеристикам с разрядниками или варисторами, будет слишком дорогой. Поэтому **они нашли применение там, где нужна компактная защита самой нежной и чувствительной электроники от небольших по мощности всплесков,** например, от статического электричества. Будьте уверены – в вашем телефоне все контакты, что ведут внутрь (USB, наушники) защищены маленькими TVS диодами, которые не позволяют напряжению на этих контактах превысить 5 В, даже если вы случайно "щёлкнете" по ним электричеством, снимая свитер.



Этот раздел был добавлен для полноты, в энергетике TVS диоды не применяются, и вы можете встретиться с ними только как с компонентом электронной техники.