

ДАТЧИК ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ ДЛЯ УЧАСТКОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ С ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 – 35 кВ

В. Гуревич, канд. техн. наук

По известной мировой статистике, однофазные замыкания на землю составляют более 60-70 процентов всех повреждений в воздушных распределительных электрических сетях среднего напряжения (10 – 35 кВ). Нейтраль в сетях такого класса, как правило, не заземлена напрямую и токи замыкания (как правило, это десятки ампер) обусловлены только емкостью проводов линии относительно земли. Обнаружение

такого замыкания в сети не является проблемой и осуществляется различными известными техническими средствами (трансформатор напряжения с обмоткой «открытый треугольник», фильтры тока нулевой последовательности и др.). Проблемой является надежное определение поврежденной отходящей линии в разветвленной электрической сети. Самым простым способом является поочередное отключение (или, на-

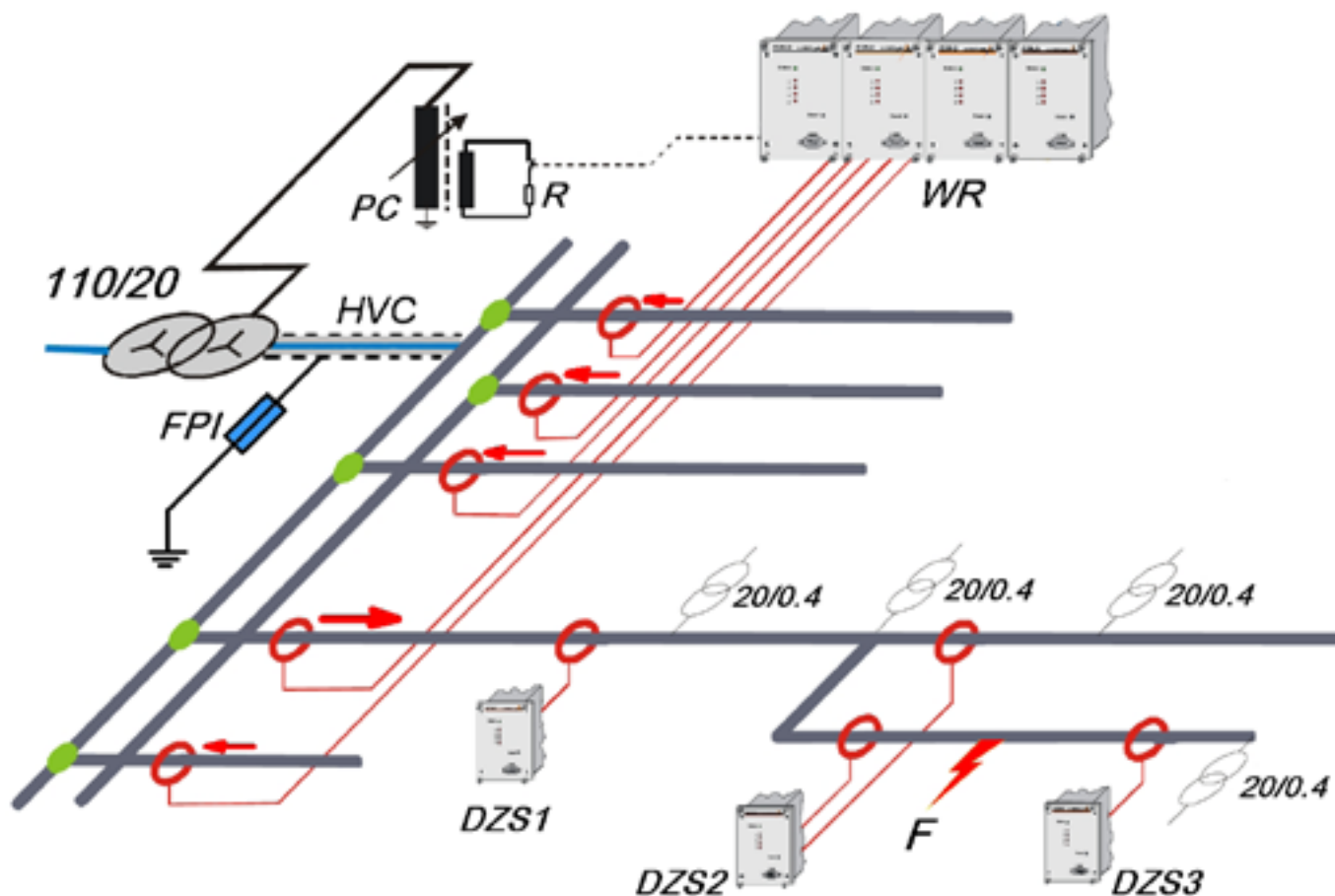


Рис. 1. Структурная схема системы отыскания однофазных замыканий на землю на основе катушки Петерсона и направленных реле нулевой последовательности

PC - катушка Петерсона; R - мощный резистор, сопротивлением 2.5 Ом; WR - направленные ваттметровые реле нулевой последовательности; DZS - направленные реле тока нулевой последовательности; HVC - высоковольтный кабель, не охваченный системой; FPI - датчик повреждений кабеля; F - место замыкания на землю.

оборот, поочередное включение) каждой отходящей линии (иногда это осуществляется автоматической системой) до тех пор, пока сигнал о повреждении не исчезнет (не появится). На Западе широкое распространение получила система определения поврежденной линии с использованием дугогасительной катушки (катушки Петерсона) и так называемых ваттметровых реле (направленные реле активной мощности нулевой последовательности), рис. 1.

По большому счету, катушка Петерсона РС в этой системе это не катушка вовсе, а трансформатор с несколькими обмотками, одна из которых включена между нейтралью и землей и имеет индуктивность, близкую к емкости сети. При возникновении однофазного замыкания на землю начинает протекать небольшой ток через катушку Петерсона, возникает напряжение на одной из ее вспомогательных катушек, срабатывает реле напряжения и включает низкоомное активное сопротивление R большой мощности к одной из ее обмоток. При этом, в токе замыкания появляется заметная активная составляющая мощности, регистрируемая реле активной мощности WR. Благодаря свойству направленности, срабатывает только одно из всех установленных реле WR, то, через которое активная мощность нулевой последовательности протекает в направлении от подстанции к точке повреждения F. Для обеспечения селективности система может быть снабжена дополнительными направленными реле активного тока нулевой последовательности DZS, установленными у потребителей.

Несмотря на относительную сложность и эффективность такой системы, она обладает тем же недостатком, что и простейший способ обнаружения однофазных замыканий посредством поочередного отключения линий: она «не замечает» повреждений высоковольтного кабеля НВС, соединяющего трансформатор с отходящими линиями. На большой подстанции таких кабелей может быть довольно много, и все они оказываются не защищенными.

Повреждение изоляции высоковольтных кабелей напряжением 10 – 35 кВ сопровождается пробоем изоляции кабеля на его внешний экран и протеканием емкостного тока в доли - единицы ампер (на коротком участке длиной в десятки-сотни метров) через заземляющую гибкую медную шину, подключенную к этому экрану. Длительная работа участка кабеля в таком режиме опасна по разным причинам, одной из которых являются известные случаи возникновения пожара в кабельном канале при сильном нагреве в местах соединения заземляющей шины. А в тех случаях, когда ре-

лейная защита все же сработала и отключила линию, возникает необходимость в отыскании поврежденного участка кабеля, вызвавшего это отключение.

Автором разработан простой электронный индикатор FPI, реагирующий на такое повреждение, рис. 2. Особенностью индикатора является отсутствие внешнего источника питания с одной стороны, и малая мощность входного сигнала – с другой, что потребовало некоторого усложнения схемы.

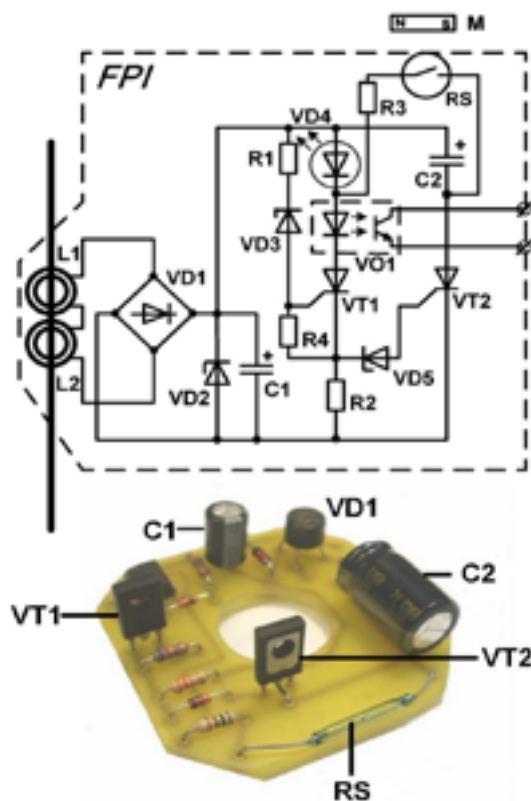


Рис.2. Принципиальная электрическая схема и печатная плата индикатора повреждений кабеля.

Индикатор содержит две параллельные нелинейные цепи, изменяющие свое состояние в процессе работы: одна из них содержит последовательно включенные светодиод VD4, оптрон VO1 и тиристор VT1, а вторая – конденсатор C2 и тиристор VT2. В качестве порогового элемента используются два последовательно соединенные стабилитрона VD3 и VD5, включенные последовательно с управляющими переходами тиристоров VT1 и VT2. Сопротивления резисторов R2 и R4 достаточно большие (33 и 6.2 кОм, соответственно) и на ток в цепи стабилитронов

влияния не оказывают. Работа устройства начинается, когда под действием входного тока, преобразованного в напряжение входными трансформаторами тока L1 и L2, конденсатор C1 зарядится до напряжения, превышающего суммарное номинальное напряжение стабилитронов VD3 и VD5. При этом в цепях управляющих электродов тиристоров VT1 и VT2 появляется ток. Поскольку мощность входного источника весьма ограничена, речь идет о малых токах, соизмеримых с токами отпирания и токами удержания тиристоров. В таких условиях, на отпирание тиристоров оказывает влияние сопротивление анодной цепи. Сопротивление этой цепи для VT2 близко к нулю (сопротивление незаряженного конденсатора большой емкости), а для VT1 складывается из нелинейных сопротивлений двух последовательно включенных светодиодов. По этой причине первым всегда отпирается VT2 и весь ток устремляется через этот тиристор и потребляется заряжающимся конденсатором C2, шунтирующим источник входного сигнала своим малым сопротивлением. Когда конденсатор зарядится, и ток через него уменьшится до величины меньшей тока удержания тиристора VT2, последний запретится и отключит конденсатор от источника входного сигнала. Только теперь возникают условия для отпирания тиристора VT1. При его отпирании загорается светодиод VD4, обеспечивающий визуальный оптический сигнал непосредственно на индикаторе и выдается дистанционный сигнал через оптрон VO1, который может быть при необходимости зафиксирован. Если защита не отключает это повреждение и через место установки индикатора продолжает протекать ток, это место может быть выявлено по горящему светодиоду. Если же защита сработала и

отключила кабель, или он был отключен по команде персонала, место повреждения на обесточенном кабеле может быть обнаружено с помощью постоянного магнита, подносимого к каждому из установленных индикаторов. При этом замкнется геркон и подключит светодиод к конденсатору C2. Гореть будет светодиод только того индикатора, конденсатор которого окажется заряженным (то есть тот, через который протекал ток). Современные миниатюрные электролитические конденсаторы хорошо сохраняют заряд в течение нескольких суток. С учетом малой мощности источника сигнала и отсутствием отдельного источника питания, в устройстве должны быть использованы мало-мощные высокочувствительные электронные компоненты. В опытном образце датчика использовались тиристоры типа C106D1; стабилитроны BZX85-C24 (VD2), BZX79-C18 (VD3) и BZX79-C3V0 (VD5); оптрон H11G1. Конструктивно устройство выполнено в виде небольшого пластмассового цилиндра, рис. 3, со сквозным осевым отверстием, через которое продевается заземляющая гибкая медная шина, соединяющая экран высоковольтного кабеля с контуром заземления. На нижней торцевой части датчика расположено отверстие под светодиод, миниатюрный разъем для подключения внешней цепи дистанционной сигнализации, а также специальная метка, расположенная напротив геркона и обозначающая место приближения постоянного магнита.

Датчик был испытан непосредственно в полевых условиях на подстанции с катушкой Петерсона в нейтрали сети 22 кВ и искусственно создаваемым однофазным коротким замыканием кабеля и показал надежную работу.

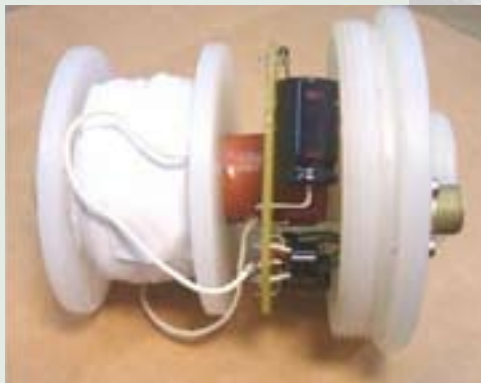


Рис. 3. Конструкция датчика повреждений высоковольтного кабеля.