

Коршунов Г. А.  
Николаев А. Г.  
Быстров В.К.  
Любченко Ю.М.  
Кузнецов А.С.

## **СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ОТ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП**

Доклад посвящён рассмотрению требований к средствам диагностики аппаратов защиты от грозových перенапряжений, обеспечивающих повышение грозоупорности воздушных ЛЭП - ограничителей перенапряжения нелинейных, главным образом к источникам вторичного электропитания, и путей их создания на основе новых способов и устройств заряда емкостных накопителей энергии.

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), являющиеся аппаратами защиты от импульсных перенапряжений грозового и коммутационного характера, в значительной мере определяют уровни безотказности электрооборудования сетевого распределительного комплекса - подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередач.

Существующие нормативные документы по эксплуатации ограничителей перенапряжений требуют периодических профилактических испытаний при снятом рабочем напряжении [1]. В то же время, документы по технической политике в распределительном сетевом комплексе ведущих энергетических компаний - ОАО "ФСК ЕЭС", ОАО "Холдинг МРСК" и др. указывают на необходимость постепенного перехода к необслуживаемому (малообслуживаемому) электрооборудованию при внедрении надёжных методов и средств диагностики технического состояния оборудования сетей под напряжением без его отключения [2, п.3.2.1, п. 3.7], в том числе и ограничителей перенапряжения [3, п. 2.2.6.1].

Несмотря на достаточно глубокую проработку российскими и зарубежными исследователями отдельных теоретических вопросов диагностики ОПН, общепризнанной теории контроля технического состояния ограничителей в основных режимах работы и разработанных на её основе обоснованных методик их диагностики при эксплуатации до настоящего времени не существует. В частности, не определён приоритет отдельных диагностируемых параметров, их влияние на прогнозирование технического состояния во времени и т. п. Сама конструкция ОПН в недостаточной мере учитывает требования даже существующих способов контроля аппаратов. Тем не менее, крупнейшие мировые производители аппаратов защиты от перенапряжений активно ведут работы в этом направлении. В 2009 г. принят первый европейский НТД, касающийся приборов диагностики ограничителей - Европейский стандарт EN 50164-6. Часть 6. "Требования к счётчикам разрядов". Стандарт относится к простейшим счётчикам разрядов для ОПН и не затрагивает более сложных, например на основе микроконтроллеров. Указанный стандарт также устанавливает требования к счётчикам числа ударов молнии в молниеотводы систем молниезащиты различных энергетических объектов, объектов газо- и нефтедобычи и хранения, зданий и сооружений различного назначения.

Номенклатура приборов диагностики ОПН, выпускаемых российскими предприятиями, чрезвычайно ограничена. Практически все разработки касаются устройств диагностики подстанционных ОПН опорного типа и не обеспечивают контроль параметров линейных ОПН воздушных ЛЭП. В то же время количество линейных ОПН в общем составе аппаратов защиты от грозových перенапряжений увеличивается. Так, согласно "Положению о единой технической политике ОАО «Холдинг МРСК» в распределительном сетевом комплексе" [2] линейные ОПН устанавливаются:

- в сетях напряжением 35-110(220) кВ при новом строительстве, реконструкции, и техническом перевооружении ... для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений, в том числе с искровыми промежутками на ВЛ (п.3.2.3.6.);
- в воздушных линиях электропередачи 35-110(220) кВ как защита от грозовых перенапряжений в гололёдных районах и в местах, где невозможно нормированное заземление опор, взамен грозотроса ( п. 3.3.1.8);
- на ВЛ 35-110 кВ, защищёнными грозозащитными тросами, в местах прохождения ВЛ по землям с высоким удельным сопротивлением грунтов (п. 3.2.3.6);
- для повышения грозоупорности на подходах ВЛ к подстанции (п. 3.2.3.6);
- для защиты высоковольтной изоляции напряжением 35-110(220) кВ от грозовых перенапряжений (переходы через автомобильные, железные дороги, водные преграды и т.п.) (п. 3.2.3.11);
- для защиты переходов (соединений) ВЛ и КЛ в переходных пунктах или на переходных опорах.

Таким образом, достаточно большая группа защитных аппаратов от грозовых перенапряжений не обеспечена устройствами контроля работоспособности и диагностики. Это в частности объясняется спецификой размещения линейных ОПН на воздушных ЛЭП - монтажом ограничителей на опорах или проводах на значительных высотах, при этом существенно усложняются условия проведения их технического обслуживания. Поэтому одной из важных задач при решении вопросов повышения грозоупорности линий передач является разработка и внедрение средств диагностики ОПН, адаптированных к условиям эксплуатации линейных ограничителей.

Разрабатываемые средства диагностики должны обеспечить надёжное функционирование воздушных линий 35-110(220) кВ при их эксплуатации путём повышения достоверности оценки технического состояния линейных ОПН на основе:

- контроля работоспособности при воздействии грозовых и коммутационных перенапряжений;
- функциональной диагностики технического состояния ограничителей в непрерывном режиме без снятия рабочего напряжения.

Основными требованиями к средствам диагностики линейных ОПН могут быть следующие:

1. Средство диагностики должно строиться на принципах наращивания функциональных возможностей в зависимости от класса напряжения линии, типа подстанции, мест установки, требуемого объёма диагностической информации и т.д.

2. По объёму диагностических признаков (параметров) устройства должны быть разделены на несколько вариантов (классов). Минимально возможный объём - контроль работоспособности ограничителя с фиксацией числа срабатывания ограничителя при ручном сборе информации, например электромеханическим счётчиком. Максимальный объём предполагает (как минимум):

1) контроль работоспособности ограничителя фиксацией числа разрядов с привязкой события по времени;

2) измерение температуры среды внутри корпуса;

3) измерение тока проводимости с выделением активной составляющей математическим анализом путём вычисления следующих параметров:

- истинного среднеквадратичного значения (СКЗ) полного тока;
- максимального мгновенного значения тока;
- истинного СКЗ активной составляющей тока;
- максимальное значение активной составляющей тока;
- максимальное значение первой гармоники емкостной составляющей тока ОПН.

3. Диагностируемые параметры должны автоматически сниматься с контролируемого ограничителя:

1) через установленный промежуток времени, запоминаться и вызываться по мере необходимости;

2) при превышении максимально допустимого значения СКЗ активной составляющей при приведенных значениях рабочего напряжения и температуры среды к нормальным, при этом должен формироваться сигнал тревоги с индикацией на мониторе максимально допустимого и текущего значения и локализацией местонахождения ОПН.

4. Средства диагностики в зависимости от варианта исполнения могут/должны быть снабжены системой дистанционной связи с пунктом мониторинга (проводная связь, радиоканал). Приборы диагностики, снабжённые системой дистанционной цифровой связи, должны быть разработаны на основе протоколов стандартов МЭК 61850, 61970, 61968 с целью возможности применения их в автоматизированных систем технологического управления (АСТУ) “цифровых” подстанций в “интеллектуальных” сетях (Smart Grid).

Существует ряд как теоретических, так и практических предпосылок к созданию таких систем. Однако, полного понимания путей решения этого вопроса не достигнуто.

Как пример нерешённости ряда проблем разработки средств технического диагностирования линейных ОПН необходимо указать на проблему вторичного электропитания таких устройств.

Регистраторы срабатывания ОПН/измерители полного тока проводимости, выполненные на основе электромеханических счётчиков и стрелочных миллиамперметров, в дополнительных устройствах питания не нуждаются [4,5]. Однако, более сложные средства диагностики, обеспечивающие, например гармонический анализ и выделение активной составляющей тока проводимости, нуждаются в источниках вторичного электропитания (ИВЭП) постоянного напряжения [6].

Очевидно, что использование системы постоянного оперативного тока подстанций для питания средств диагностики подвесных ОПН практически невозможно. Понятно, что электропитание этих средств более целесообразно обеспечить от встроенных автономных источников - гальванических элементов, аккумуляторов, солнечных батарей и т. п. Основным недостатком таких источников питания является необходимость периодической замены гальванических элементов или заряда аккумуляторов от какого-либо внешнего источника, что в условиях эксплуатации ограничителей перенапряжений без отключения от сети сделать весьма сложно. Мало того, подвесные ОПН воздушных ЛЭП труднодоступны для периодической замены источников питания или их обслуживания. Предложенный в [7] вариант питания ИВЭП от трансформатора тока на стороне высокого потенциала не приемлем, так как средства диагностики ОПН подключаются в цепь заземления аппарата.

Задача автономного электропитания средств диагностики линейных ОПН может быть решена на основе способов питания (заряда накопителей) и устройств для их осуществления по патентам РФ на изобретения [8, 9]. Суть предложения [8] состоит в том, что питание средств диагностики ОПН может быть обеспечено автономным ИВЭП, первичное питание которых осуществляется преобразованием тока проводимости контролируемого ограничителя перенапряжения. Использование паразитных токов проводимости для питания приборов средств диагностики ограничителей до этого не предлагалось и является новым.

Известно, что при работе ограничителя под напряжением, не превышающим наибольшего допустимого рабочего напряжения, сопротивление варисторов достигает сотен мегаом. В силу неидеальности материала варисторов, сопротивление их хотя и велико, но не бесконечно, поэтому через колонку варисторов протекает ток, называемый током проводимости. Величина тока проводимости весьма мала и, например, для ОПН с варисторами диаметром 46 мм при наибольшем рабочем напряжении составляет порядка 0.35,...0.5 миллиампера.

С точки зрения электротехники, ОПН может быть представлен как высоковольтный источник переменного тока ограниченной мощности с большим внутренним сопротивлением. Его основными параметрами являются:

- 1) переменное напряжение величиной 35 - 750 кВ;
- 2) относительно малое значение тока проводимости - в диапазоне 0.2 - 0.8 миллиампера;
- 3) зависимость величины тока от напряжения, изменения температуры и др.;
- 4) периодическое, причём случайное по времени, протекание по той же цепи разрядных импульсов тока сверхбольшой величины - в десятки и сотни килоампер.

В то же время, аппаратура средств диагностики представляет собой электронную нагрузку с ориентировочными параметрами по напряжению - 3,...,15В и мощностью от десятков милливатт до единиц и десятков ватт. Электрическое сопротивление таких устройств мало и составляет единицы-десятки Ом.

Принцип осуществления первичного питания ИВЭП от тока проводимости контролируемого ограничителя RU, иллюстрируется схемой на рис.1, где 1 - дополнительный варистор, 2,...,5 - вентили выпрямителя, 6 - емкостной накопитель электрической энергии (ЕН). Нагрузка (средство диагностики)  $R_H$  подключается к накопителю 6.

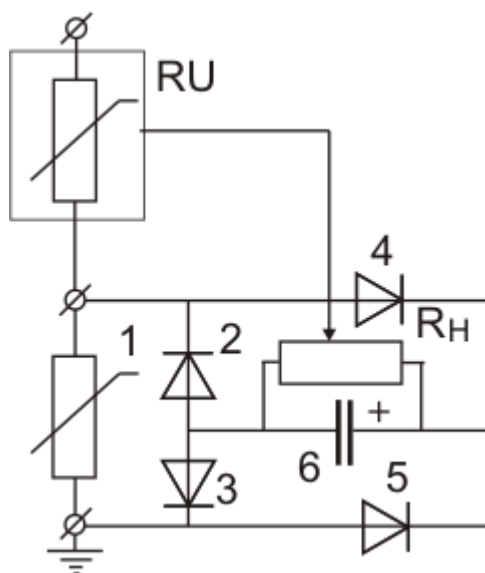


Рис.1. Принцип питания ИВЭП от тока проводимости ОПН

В патенте [8] предложен ряд схем с улучшенными техническими характеристиками, реализующие указанный принцип. Это позволило НПО "Дельта" разработать опытный образец регистратора числа срабатываний ОПН с автономным питанием от тока проводимости контролируемого ограничителя (фото 1). Устройство обеспечивает счёт импульсов разрядного тока, хранение числа зарегистрированных импульсов в энергонезависимой памяти, вызов результатов на светодиодный дисплей дистанционно по ИК каналу. Устройство было испытано при амплитудах разрядных токов до 20 кА импульса 8/20 мкс и показало надёжную работу в условиях воздействия электромагнитных импульсов указанного характера. В качестве емкостного накопителя выбран ионистор напряжением 5.5 В ёмкостью 1 Ф.

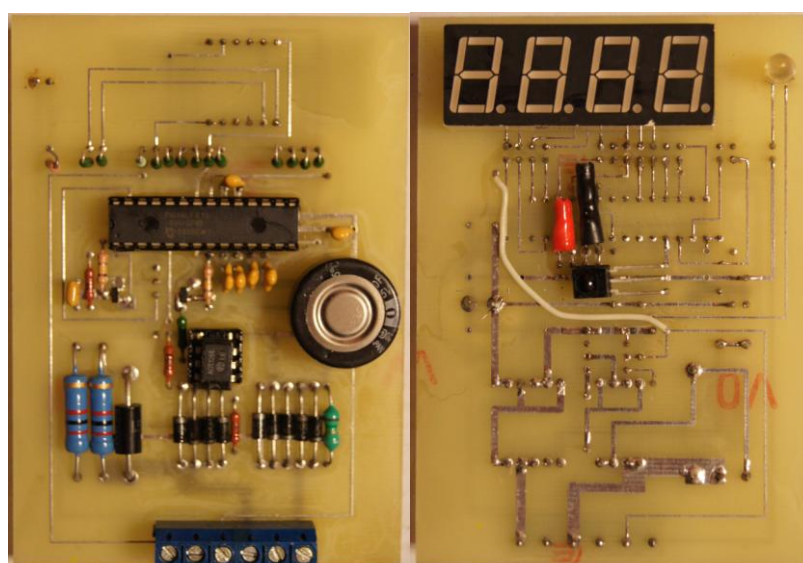


Фото 1

Существенным недостатком предложенных в [8] схем оказался достаточно низкий КПД заряда накопителя энергии, а значит и скорость заряда накопителя после его разряда при сеансе связи. Это ограничивает число сеансов связи и объём передаваемой информации.

Способ заряда емкостного накопителя и устройства для его осуществления, предложенные в патенте на изобретение [9], направлены на увеличение эффективности передачи энергии от источника с большим внутренним сопротивлением (в рассматриваемом случае - ограничитель) в нагрузку (средство диагностики) с малым внутренним сопротивлением и увеличение скорости передачи энергии от источника в накопитель ИВЭП при его заряде.

Известно, что для эффективной передачи энергии высоковольтного источника с большим внутренним сопротивлением в низковольтную нагрузку должно соблюдаться соотношение  $R_{нагр.} \gg R_{ист.}$ , где  $R_{нагр.}$  - сопротивление нагрузки,  $R_{ист.}$  - внутреннее сопротивление первичного источника электрической энергии. В связи с этим возникает проблема согласования внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки.

Указанная задача в патенте решена путём сочетания трансформаторного и бестрансформаторного способов преобразования сопротивлений.

Общеизвестно, что преобразование параметров тока/напряжения понижающим трансформатором с коэффициентом трансформации  $k=W1/W2$  (где  $W1$  и  $W2$  - число витков первичной и вторичной обмоток) приводит к уменьшению сопротивления источника по отношению к нагрузке в  $k^2$  раз (или увеличению сопротивления нагрузки по отношению к источнику в  $k^2$  раз его действительного значения) [10, с.166]. Известно также, что если при заряде накопителя энергии использовать вентильно - конденсаторный выпрямитель - умножитель напряжения (ВКВУН), то увеличение зарядного напряжения в  $n$  раз также приводит к уменьшению приведенного по отношению к нагрузке внутреннего сопротивления источника, но в  $n^3$  раз [11].

Сочетание обоих способов уменьшения сопротивления источника путём использования трансформатора и вентильно - конденсаторного выпрямителя - умножителя напряжения, позволяет уменьшить приведенное к нагрузке сопротивление источника питания в  $k^2 \cdot n^3$  раз.

Увеличение скорости передачи энергии от источника к накопителю решается путём применения нового способа заряда емкостного накопителя от вентильно - конденсаторного выпрямителя - умножителя напряжения, при котором в схемы известных ВКВУН вносятся изменения, позволяющие повысить зарядное напряжение и интенсифицировать отбор энергии источника.

Схема одного из возможных схемотехнических решений нового зарядного устройства ИВЭП для средств диагностики линейных ОПН приведена на рис.2. Устройство содержит первичный источник энергии - дополнительный варистор 1, включённый последовательно с контролируемым ОПН RU, выпрямитель и трансформатор, первичная обмотка которого своими выводами 2 и 3 соединена с клеммами источника переменного тока, а вторичная обмотка выводами своего начала 4 и конца 5 через конденсаторы 6 и 7 подключена к анодам первого 8 и второго 9 вентиля выпрямителя соответственно, катоды которых образуют положительную выходную клемму 10 выпрямителя для подключения заряжаемого емкостного накопителя энергии EN 11, причем отрицательную выходную клемму 12 этого выпрямителя образует отвод 13 от середины вторичной обмотки трансформатора.

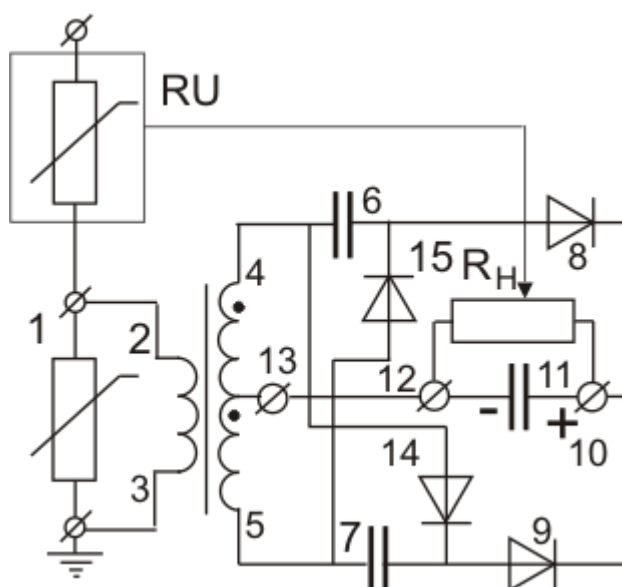


Рис.2. Схема ИВЭП по заявке № 2011116120

В отличие от известных устройств, оно снабжено дополнительными третьим 14 и четвертым 15 вентилями, а в качестве реактивных токоограничительных двухполюсников использованы конденсаторы 6 и 7, при этом вторичная обмотка трансформатора своим началом 4 и концом 5 соединена с анодами третьего 14 и четвертого 15 вентиля соответственно, катоды которых подключены к анодам соответственно второго 9 и первого 8 вентиля выпрямителя.

Введение в схему дополнительных вентилях и выполнение токоограничивающих двухполюсников на основе конденсаторов позволяет увеличить отбор энергии от источника ограниченной мощности за счёт увеличения угловой длительности импульсов тока источника.

В рассматриваемом способе заряда накопителя отбор энергии от источника и её передача в накопитель производится одновременно по нескольким каналам. Число работающих каналов в процессе заряда не остается постоянным, а изменяется - в зависимости от степени заряда ЕН. Это позволяет на определенном участке ВАХ источника осуществлять заряд накопителя практически постоянной мощностью, т.е. внешний вид ВАХ приближается к гиперболе.

При подаче напряжения на устройство заряда отбор и передача энергии в накопитель энергии происходит по 8 каналам, которые можно разделить на две группы. Каналы одной группы работают в первом и последующих нечетных полупериодах изменения напряжения, а другой - в четных. При этом в процессе заряда по мере увеличения напряжения на накопителе число работающих каналов уменьшается.

На первом и последующих нечётных периодах ток протекает по следующим каналам:

1. 4-6-8-10-11-12-13-4 (ток протекает под действием полуобмотки 4-13);
2. 4-14-7-5-4 (под действием обеих полуобмоток 4-13 и 13-5);
3. 4-14-9-10-11-12-13-4 (под действием напряжения полуобмотки 4-13);
4. 7-9-10-11-12-13-5-7 .

Во втором и следующих четных полупериодах ток протекает так же по четырем каналам, подобным рассмотренным выше:

1. 5-7-9-10-11-12-13-5;
2. 5-15-6-4-5;
3. 5-15-8-10-11-12-13-5;
4. 6-8-10-11-12-13-4-6.

В рассматриваемом зарядном устройстве конденсаторы 6\7, ограничивая ток заряда накопителя 11 через вентили 8\9 в одном такте заряда накопителя по первым каналам, запасают избыточную энергии источника, затем по вторым каналам через вентили 14\15 увеличивают запасаемую от смежных обмоток трансформатора энергию при их перезаряде до удвоенного амплитудного значения соответствующих обмоток. Эту энергию в следующем такте они через вентили 8\9 частично передают в накопитель по четвертым каналом, а затем - повторяя цикл -

через те же вентили 9\8 по первым же каналам, ограничивая ток заряда накопителя 11, запасают избыточную энергию источника и т.д. Это интенсифицирует отбор энергии от источника за счет увеличения угловой длительности тока в обмотках и позволяет увеличить зарядное напряжение на следующих этапах заряда ЕН.

Данный способ заряда может быть использован для заряда накопителей от m-фазных источников энергии.

Предложенные в [9] решения обеспечивают значительно улучшение технических показателей источников с первичным питанием от токов проводимости ограничителей перенапряжений. Это обеспечивает разработку автономных ИВЭП средств диагностики линейных ограничителей перенапряжения воздушных ЛЭП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования. СО 34.45 - 51.300 - 97; РД 34.45 - 51.300 - 97. - 6 изд., с изм. и доп. - М.: Изд. - во НЦ ЭНАС, 2006. - 256 с.
2. Положение о единой технической политике ОАО «ХОЛДИНГ МРСК» в распределительном сетевом комплексе (решение Совета директоров ОАО «Холдинг МРСК», протокол № 64 от «07» октября 2011 года).
3. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС», Москва, 2011г.
4. Устройство контроля ОПН в процессе эксплуатации. Компания Севзаппром. Продукция. ОПН. - <http://szp.spb.ru/html/modules.php?name=Pages&go>Showcat&cid=30>.
5. Регистратор срабатываний типа GLX. РК Таврида - Электрик. Продукция. ОПН/TEL.- <http://www.tavrida.ru/products/opn/?mode=glx>.
6. Система мониторинга EXCOUNT -I I. ABB - Россия. Продукция. - <http://www.abb.ru/product/seitp332/C1256ccb004e670dc1256a1700369fdb.aspx>.
7. Геворкян В. , Яшин И. Блок питания для измерительного устройства высокого напряжения //Новости Электротехники. - 2009. -1(55).
8. Патент РФ №2360346. Способ питания нагрузки постоянным током и устройства для его осуществления. Коршунов Г.А., Николаев А.Г., Быстров В.К., Любченко Ю.М., Кулиш А.Г., Жаржавский Ф.Д. 27.06.2009. Бюл. №9.
9. Решение о выдаче патента по заявке на изобретение № 2011116120 от 18.04.2011 Способ заряда емкостного накопителя электрической энергии и устройства для его осуществления (варианты). Коршунов Г.А., Николаев А.Г., Быстров В.К., Любченко Ю.М., Кузнецов А. С. 06.02.2012 .
10. Пожидаев В.М. Электрические машины и электропривод. Уч. пос. Л., ВИКИ им. Можайского, 1988, 284с., илл.
11. Справочник по полупроводниковой электронике. Под ред. Л.П. Хантера. Сокр. перевод с англ. под ред. д.т.н. С.Я. Шаца и к.т.н. И.И. Литвинова.