

**БЛОК ЗАЩИТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ОГРАНИЧЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА БОЛЕЕ НИЗКОМ УРОВНЕ ПО СРАВНЕНИЮ С
ТРАДИЦИОННЫМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.**

Дмитрий Федорович Алферов*, Михаил Мустафарович Аталиков**,
Алексей Иванович Кокоулин**, Владимир Георгиевич Кучинский**,
Валерий Павлович Иванов*, Игорь Владимирович Саенко***,
Владимир Алексеевич Сидоров*

*) ФГУП ВЭИ, Москва,

**) ФГУП НИИЭФА НТЦ СИНТЕЗ, Санкт-Петербург,

***) НПФ «Магнетон Варистор», Санкт-Петербург

В настоящее время благодаря успехам в развитии полупроводниковой техники все более широкое применение находят ограничители перенапряжений (ОПН). В качестве активного элемента в них используются нелинейные резисторы на основе оксида цинка, имеющие высоко нелинейную вольт-амперную характеристику.

Обычно ОПН используются для защиты высоковольтного оборудования. Они обеспечивают ограничение коммутационных перенапряжений до уровня $U_m = 1,7 - 1,8 U_p$ и атмосферных перенапряжений до уровня $U_m = 2,0 - 2,4 U_p$, где U_m – остающееся напряжение ограничения ОПН, U_p – амплитуда рабочего напряжения сети. При снижении напряжения на ОПН с $2 U_m$ до U_m ток, протекающий через него, уменьшается на восемь порядков. Ток, протекающий через ОПН при U_p , невелик (доли миллиампера), и соответственно невелика мощность, выделяющаяся в нем.

В последнее время все большую актуальность приобретает защита мощного оборудования в локальных низковольтных сетях с напряжением менее 1 кВ. Защитные устройства для низковольтных локальных сетей по принципу работы не отличаются от традиционных ОПН, однако они должны быть способны многократно рассеивать энергию мощных длительных импульсов. Для этих целей разработан отдельный класс резисторов – энергопоглотители нелинейные (ЭПН) [1]. Система испытаний и аттестации ЭПН отличается от системы испытаний традиционных ОПН. Энергопоглотители должны многократно пропускать одиночные импульсы тока с амплитудой несколько десятков килоампер длительностью 0,5 – 3 мс. Для этого используются варисторы большой площади (диаметром до 120 мм), соединяемые параллельно (рис. 1).



Рис.1. Низковольтные энергопоглотители на 50 кА/1мс (слева) и 10 кА/2мс (справа).

ЭПН тем не менее сохраняют основной недостаток присущий всем ОПН. Их напряжение ограничения, U_m , при амплитуде импульса в несколько десятков кА не может быть меньше удвоенной максимальной амплитуды питающего напряжения. При $U_m < 2 U_p$ существенно увеличивается ток при рабочем напряжении и, следовательно, рассеиваемая ОПН при рабочем напряжении мощность.

Значительно уменьшить уровень ограничения перенапряжений до $U_m < 1,4U_p$ позволяет защитное устройство, состоящее из ОПН и соединенного последовательно с ним управляемого разрядника, способного быстро включаться за время менее единиц микросекунд и отключать ток на уровне нескольких ампер после воздействия перенапряжений. Такое устройство обеспечивает отключение рабочего тока ЭПН при напряжении питания U_p , что ограничивает уровень рассеиваемой в нем мощности, позволяя значительно уменьшить соотношение между напряжением ограничения и рабочим напряжением. Указанным выше требованиям, предъявляемым к управляемому разряднику, в полной мере удовлетворяет управляемый вакуумный разрядник (РВУ).

В данной работе предложена и испытана схема такого устройства на основе РВУ, предназначенного для защиты мощных электрофизических установок от воздействия импульсных коммутационных перенапряжений.

Управляемые вакуумные разрядники.

РВУ представляет собой безнакальный трехэлектродный герметизированный прибор с давлением остаточных газов, не превышающим 10^{-4} Па. Включение РВУ осуществляется подачей пускового импульса напряжения на управляющий электрод. Управляющий импульс напряжения вызывает пробой по поверхности диэлектрической вставки узла поджига и генерацию инициирующего искрового разряда. Плазма искрового разряда быстро заполняет основной вакуумный промежуток, разряд переходит из искровой стадии в дуговую и разрядник включается.

Металлическая плазма вакуумной дуги способна пропускать большие токи между основными электродами без их существенного разрушения. Вакуумный дуговой разряд сам себя поддерживает и погасает, когда ток в основной цепи спадает до некоторого конечного значения – тока среза. Ток среза зависит от материала электродов, амплитуды коммутируемого тока и скорости подхода тока к нулю. При сравнительно медленном спаде тока средняя величина тока среза составляет несколько ампер.

Вследствие быстрой деионизации плазмы и конденсации металлического пара на электродах, вакуумный промежуток характеризуется высокой скоростью восстановления электрической прочности.

РВУ способны выполнять операции включения с высоким быстродействием (время включения ед. микросекунд) и с высокой точностью (погрешность до 1 мкс).

В ВЭИ разработаны и освоено производство нескольких типов РВУ, предназначенных для коммутации мощных емкостных накопителей энергии в электрофизических установках, а также для электроразрядных и магнитно-импульсных технологий [2]. РВУ способны работать в широком диапазоне импульсных напряжений (1-50 кВ) и токов (0,1-300 кА). Во включенном состоянии падение напряжения на РВУ составляет 50-100 В, чем достигается низкий уровень рассеиваемой в разряднике энергии при коммутации больших токов.

В последние годы в связи с развитием электроразрядных технологий были разработаны малогабаритные разрядники типа РВУ-73С, способные многократно (10^5 - 10^6 срабатываний) коммутировать токи до десятков килоампер при напряжении до 15 кВ [2]. В этом разряднике используется стержневая электродная система, которая размещена в стеклянном корпусе. Фотография разрядника РВУ-73С представлена на рис. 1. Такие разрядники являются наиболее подходящим прибором для использования в устройствах защиты от перенапряжений мощного оборудования в низковольтных локальных сетях.



Рис. 2. Управляемый вакуумный разрядник RVU-73C.

Блок защиты от перенапряжений.

Блок защиты состоит из ЭПН (на основе ZnO варисторов), подключенного к входу питания защищаемого объекта через вакуумный разрядник RVU-73C (Рис.2). Такое подключение ЭПН позволяет использовать в ЭПН варисторы с классификационным напряжением U_k , существенно меньшем, чем максимальное рабочее напряжение питания объекта. В нормальном рабочем режиме блока защиты нагрев ЭПН исключается вследствие отсутствия тока утечки. Применение в данной схеме именно вакуумного разрядника RVU-73C обусловлено присущим ему сравнительно большим током среза (5 - 10 ампер).

При возникновении на шинах питания импульсных коммутационных перенапряжений, с амплитудой превышающей напряжение уставки, пороговое устройство запуска (УЗП) вырабатывает импульс управления, который подается на вход формирователя импульса поджига (ФИП). ФИП формирует импульс поджига в цепи управления RVU и происходит включение разрядника. В результате ЭПН оказывается подключенным непосредственно к шинам питания защищаемого объекта и напряжение на объекте ограничивается на заданном уровне.

После завершения воздействия перенапряжений, разрядник за доли микросекунды обрывает ток ЭПН на уровне нескольких единиц ампер. Энергоемкость ЭПН должна превышать максимальную величину энергии импульсных коммутационных перенапряжений.



Рис. 3 – Структурная схема блока защиты от перенапряжений.

В экспериментальном блоке защиты использовались два параллельно включенных ЭПН 0,4/20. Каждый ЭПН выдерживает максимально допустимую энергию 20 кДж,

Максимальное рабочее напряжение питания объекта достигало 520 В. При этом были отобраны ЭПН с одинаковым током при рабочем напряжении, равным 4,8 А. Этим самым гарантировался надежный обрыв тока в разряднике даже при максимальном рабочем напряжении.

Во время испытаний блок защиты был подключен параллельно входу питания мощной электроэнергетической установки (единицы МВт). Питание установки производилось от машины постоянного тока с напряжением 250 В. Индуктивность фидера питания составляла 200 мкГн. Входная емкость установки – 3000 мкФ. Рабочий ток, потребляемый установкой, составлял 6 кА. Для создания перенапряжения установка отключалась от источника питания с помощью транзисторных (IGBT) ключей, установленных за входными конденсаторами. Такое быстрое отключение установки приводило к нарастанию напряжения на конденсаторах. При достижении напряжения на конденсаторах величины напряжения уставки 820 В происходило срабатывание разрядника.

На рис.3 приведены начальные участки осциллограмм напряжений на ЭПН и разряднике при поглощении импульсного тока 6 кА. После включения разрядника ЭПН ограничивал напряжение на уровне около 600В и проводил ток в течение 2 мс. Ток в разряднике обрывался при напряжении 520 В. Полные осциллограммы напряжений на ЭПН и РВУ показаны на рис. 4. При больших значениях тока длительность процесса поглощения энергии увеличивалась.

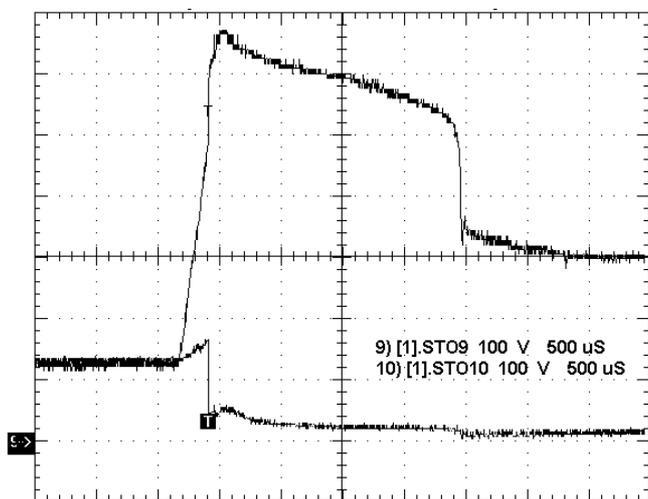


Рис. 3 – Осциллограммы напряжения на ЭПН (вверху) и напряжения на РВУ (внизу).

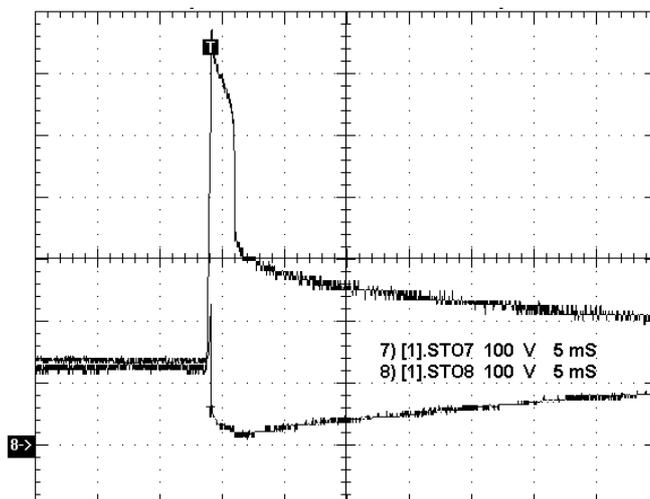


Рис. 4 - Осциллограммы напряжения на ЭПН (вверху) и напряжения на РВУ (внизу).

Список литературы.

1. Быстров Р.Ю., Горчаков В.Л., Опре В.М., Саенко И.В., Синельщикова Т.Ю., Фирсенков А.И. Защита от импульсных перенапряжений мощных низковольтных электропотребителей. Тезисы докладов на конференции «Энергетическая безопасность России». С-Пб.ЭКСПО, 2004, 10-13 мая, с. 16.
2. Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А., «Управляемые вакуумные разрядники: основные свойства и применение», ЭЛЕКТРО, 2002, №2, с. 31-37.