Доклад на семинаре «Энергетическая безопасность России»
Санкт-Петербург, 11-13мая 2004 г.

ЗАЩИТА ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ МОЩНЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Быстров Р.Ю., Горчаков В.Л., Опре В.М., Саенко И.В., Синельщикова Т.Ю., Фирсенков А.И.
ОАО «Завод Магнетон», ЗАО «НПФ «Магнетон Варистор» Санкт-Петербург

Общеизвестно, что наилучшей защитой электропотребителей от импульсных перенапряжений являются ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) на основе оксидно-цинковых варисторов.

Варистор представляет собой объемный полупроводниковый прибор с высоконелинейной вольтамперной характеристикой. (рис. 1)

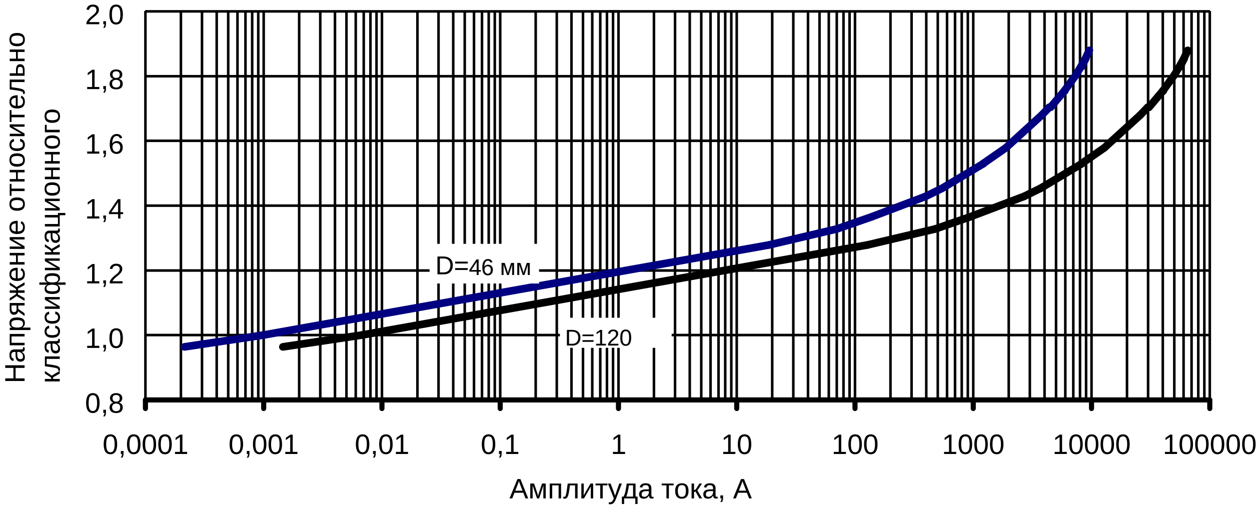

Рис.1.

Как видно из рисунка, сопротивление варистора уменьшается на 8 порядков при увеличении напряжения примерно в два раза. Оксидно-цинковая керамика, из которой изготавливают варистор, имеет зернистую структуру с размером зерен около десятка микрометров.(Рис.2)

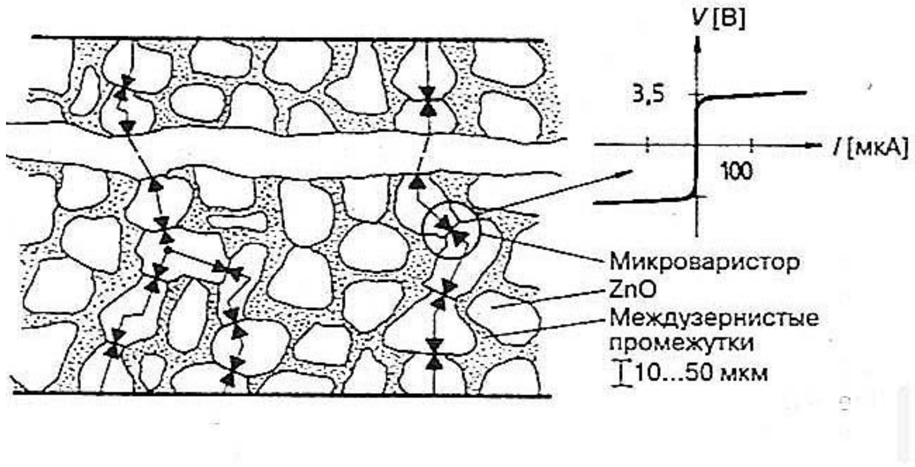

Рис. 2. Механизм проводимости варисторного элемента

В первом приближении каждый межзеренный контакт представляет собой единичный микродиод, а варистор - объемную сетку таких диодов. Благодаря такой структуре варистор способен рассеивать значительную энергию, выделяющуюся при прохождении тока. Обычно – это 100-150 Дж/см^3. Понятно, что увеличение толщины варистора поднимается напряжение его открытия и, соответственно, рабочее напряжение, а при увеличении диаметра или площади – максимальный ток, который может пропустить варистор. Энергоемкость варистора можно повысить увеличением размера зерен, что приводит к уменьшению напряжения открытия варистора, так называемого классификационного напряжения, при одинаковой толщине приборов. Эта характеристика называется градиентом классификационного напряжения прибора.

Традиционно варисторная защита устанавливается на высоковольтных объектах – подстанциях линий электропередач, трансформаторах и т. п. В этом случае импульсы рассеиваются на высоковольтной стороне сети, защищая низковольтную часть от грозовых и коммутационных перенапряжений. Наиболее мощные варисторы для этих целей должны иметь пропускную способность на 2 мс импульсах 1-2 кА, а уровень ограничения нормируется при коротких «грозовых» импульсах амплитудой 10-20 кА и составляет 2,2-2,4 к амплитуде рабочего напряжения.

В мощных локальных, например бортовых, низковольтных сетях с напряжениями менее 1 кВ также могут возникать перенапряжения. Как правило, это результат коммутации электропотребителей.

За последнее время значительно увеличилась мощность электропривода транспортных средств (суда, электровозы, большегрузные электромобили, подъемнотранспортные и горнодобывающие машины). Кроме того, в электроприводе стали применяться полупроводниковые преобразователи на мощных транзисторах, очень чувствительных к перенапряжениям. Защитные приборы для локальных сетей по принципу работы не отличаются от традиционных ОПН, однако приоритеты в оценке их пригодности существенно изменяются.

На первое место выдвигается способность рассеивать энергию мощных одиночных импульсов достаточное количество раз.

На второе - уровень ограничения напряжения при поглощении достаточно длительных импульсов. Ведь в данном случае речь идет не столько о защите изоляции, сколько о защите чувствительных полупроводниковых приборов.

Исходя из этого целесообразно, по нашему мнению, выделить подобные приборы в отдельный класс – энергопоглотители нелинейные (ЭПН).

Анализ современных систем электропривода показывает, что ЭПН должен поглощать импульсы с амплитудой несколько десятков килоампер, длительностью 0,5 – 3,0 мс и энергией 10 – 100 кДж при относительно невысоких рабочих напряжениях, часто постоянных. Для поглощения таких импульсов требуются варисторы большой площади с низким градиентом классификационного напряжения - 800-1000 В/см, а их аттестация должна проводиться на импульсах, приближенных к условиям работы по длительности и энергии.

Производство именно таких варисторов, диаметром до 120 мм, освоено в ОАО «Завод Магнетон» и ЗАО «Магнетон Варистор».(Рис.3)

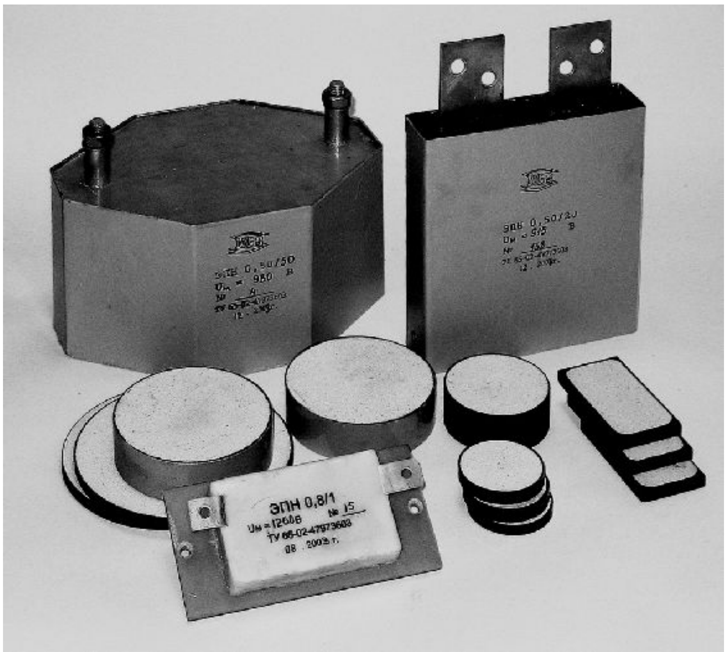

Рис.3.

Кроме того, здесь создан универсальный импульсный стенд для испытаний варисторов и приборов на их основе, позволяющий проводить испытания прямоугольными импульсами длительностью 0,5-6,0 мс с амплитудой тока до 50 кА.

Прецизионная подгонка параметров варисторов обеспечивает их эффективное параллельное соединение. Это позволяет увеличить энергоемкость прибора при низких напряжениях и существенно уменьшить уровень ограничения перенапряжений. (Рис.4)

Зависимость остающегося напряжение от амплитуды тока для параллельного соединения варисторов диаметром 120 мм

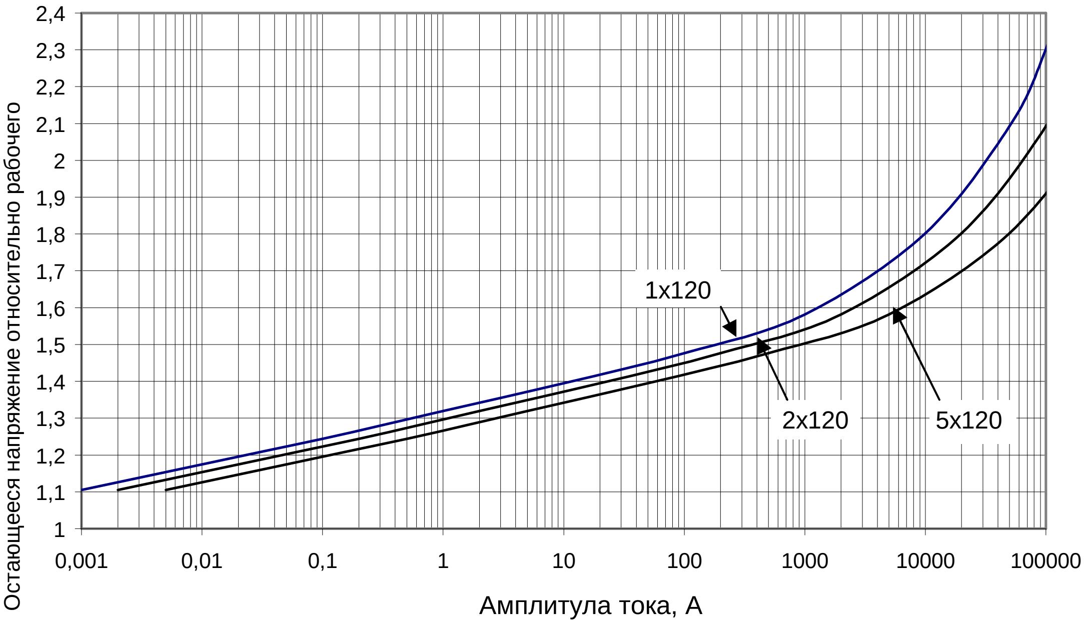

Рис. 4.

Исследования стойкости низкоградиентных варисторов к нагружению одиночными импульсами показали, что при поглощаемой удельной энергии 150 Дж/см^3, приборы уверенно выдерживают 10 импульсных воздействий и могут работать дальше, если ток при максимальном рабочем напряжении не превышает 0,1 мА/см^2. Как правило, кривая деградации варисторов при импульсном нагружении имеет несколько участков, отличающихся наклоном. Скорость деградации растет по мере наработки. Дальнейшее изучение этого процесса позволит, по нашему мнению, прогнозировать ресурс работы приборов.

Установлено, что степень деградации варистора при одинаковой поглощаемой энергии увеличивается с повышением длительности импульсов. Это приводит к некоторому уменьшению ресурса ЭПН.

В заключение приведем характеристики одного из наиболее мощных энергопоглотителей, разработанных нами.

ЭПН 0,5/50 на максимальное постоянное рабочее напряжение 500 В способен поглощать импульсы с величиной энергии 50 кДж, амплитуды 50 кА, длительности 1мс. При этом остающееся напряжение не превышает 1 кВ.