

Сравнительные испытания ограничителей импульсных напряжений для защиты электронного оборудования энергосистем от электромагнитного импульса высотного ЯВ

Владимир Гуревич (vladimir.gurevich@gmail.com)

Различные типы ограничителей импульсных напряжений (ОИН), имеющиеся на рынке, существенно отличаются друг от друга как по техническим характеристикам, так и по стоимости. Наряду с экранированием монтажных шкафов с электронной аппаратурой и кабелей, эти элементы являются одним из основных средств защиты от электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва. При этом предполагается применение десятков этих элементов для защиты различных цепей внутри одного монтажного шкафа. Таким образом, вопрос о выборе для практического применения тех или иных видов ОИН (отличающихся по стоимости в сотни раз) является очень актуальным.

Введение

Ограничители импульсных напряжений являются одним из основных средств защиты электронного оборудования от таких мощных и опасных воздействий, как разряд молнии и электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ). На рынке широко представлены три основных вида таких ограничителей: газовые раз-

рядники, оксидно-цинковые варисторы и TVS-диоды. Все эти виды ограничителей импульсных напряжений хорошо зарекомендовали себя в качестве средств защиты от грозовых разрядов и коммутационных перенапряжений и широко применяются на практике. Однако что касается защиты от ЭМИ ЯВ, то здесь ситуация несколько сложнее в связи с тем, что стандартный компонент

Е1 ЭМИ ЯВ очень короткий – 2,5...25 нс, в отличие от стандартного грозового импульса 1,2...50 мкс. То есть ЭМИ ЯВ примерно в 1000 раз короче грозового импульса, и поэтому к ограничителям импульсных напряжений, предназначенным для защиты от ЭМИ ЯВ, предъявляются особые требования по быстродействию. Среди специалистов существует консенсус относительно непригодности газовых разрядников для защиты от ЭМИ ЯВ из-за их недостаточного быстродействия и резкого возрастания напряжения пробоя с увеличением скорости нарастания приложенного напряжения (т.е. крутизны переднего фронта импульса) [1]. Однако что касается варисторов и TVS-диодов, то здесь нет однозначного мнения. Многими специалистами высказывается мнение о том, что обычные варисторы имеют недостаточное быстродействие для защиты от ЭМИ ЯВ, и только TVS-диоды обладают требуемыми характеристиками. Действительно, современные мощные TVS-диоды, способные пропускать импульсные токи от 3 до 10 кА, по ряду параметров превосходят аналогичные по мощности варисторы. К сожалению, это превосходство не ограничивается лишь техническими параметрами. TVS-диоды более чем в 200 раз превосходят по стоимости варисторы такой же мощности и класса по напряжению. Когда речь идёт о нескольких десятках ограничителей импульсных напряжений, необходимых для защиты лишь одного стандартного шкафа с электронной аппаратурой [1], то такая серьёзная разница в стоимости является весьма существенным фактором, влияющим на выбор того или иного средства защиты от ЭМИ ЯВ. В связи с чем возникает вопрос о том, насколько существенна разница в быстродействии варисторов и TVS-диодов, и оправдывает ли она такую огромную разницу в стоимости. При этом следует иметь в виду, что измерение быстродействия варисторов и TVS-диодов всегда производилось различными авторами в сте-

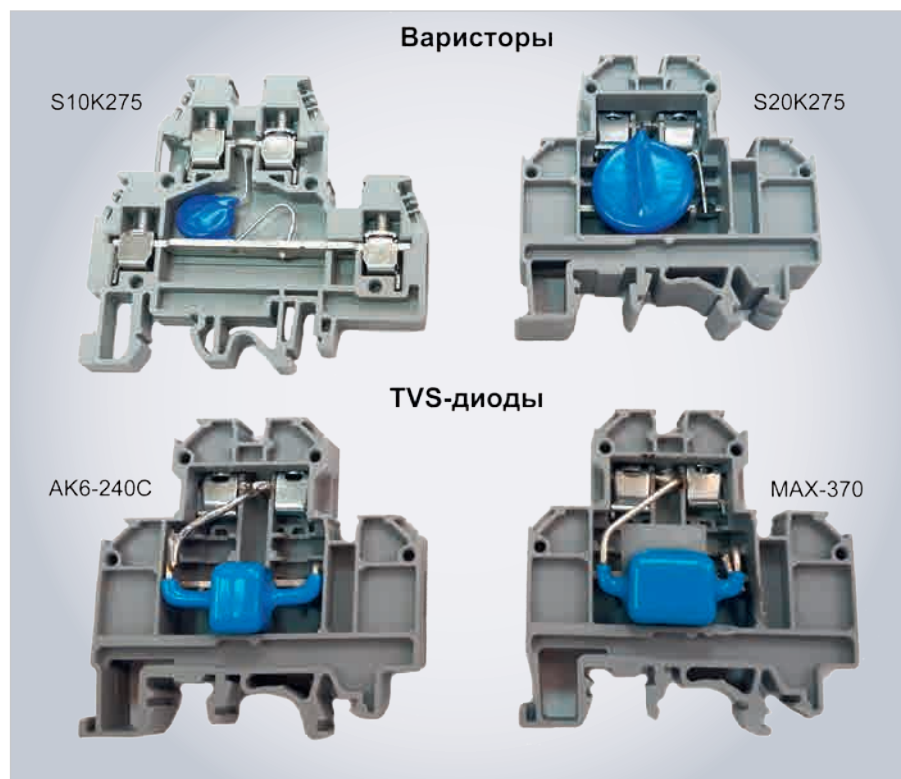


Рис. 1. Два типа варисторов (вверху) и два типа TVS-диодов (внизу) с аналогичными характеристиками, выбранные для исследования

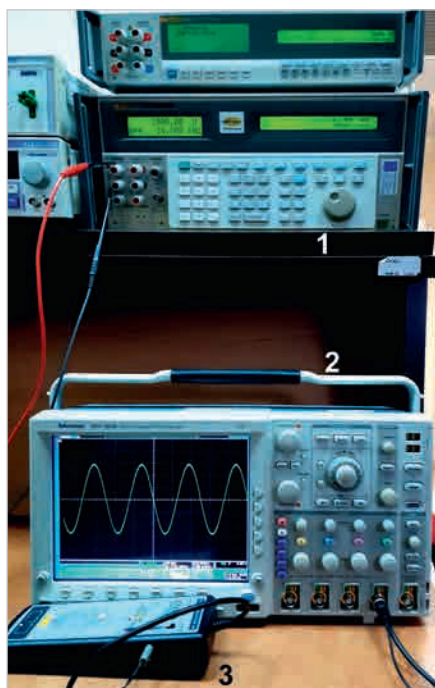


Рис. 2. Калибровка активного дифференциального делителя напряжения (3) для осциллографа (2) с помощью калибратора FLUKE 5520A (1)

рильных лабораторных условиях при соблюдении всех особенностей высоко-частотных цепей и методик испытаний таких цепей. В принципе, это правильно, когда мы хотим получить точную информацию о быстродействии самих элементов: варисторов и TVS-диодов, но правильно ли это, когда мы хотим узнать об эффективности работы этих элементов в конкретных условиях эксплуатации (в электрических монтажных шкафах), весьма далёких от лабораторных, в цепях, не имеющих никакого отношения к высокочастотным. К таким шкафам подходят извне длинные провода и кабели, монтаж внутри шкафов выполнен обычными неэкранированными монтажными проводами, уложенными параллельно в пластмассовых кабельных каналах... То есть реальные условия эксплуатации варисторов и TVS-диодов не имеют ничего общего с условиями их лабораторных испытаний, и это вызывает серьёзные сомнения в применимости полученных ранее выводов об их быстродействии к реальным условиям эксплуатации. По этой причине нами ранее уже была исследована эта проблема [1] и получены результаты, показывающие возможность использования в реальных условиях дешёвых варисторов в качестве основных средств защиты от ЭМИ ЯВ. Однако в этих исследованиях использовалась низковольтная аппаратура и

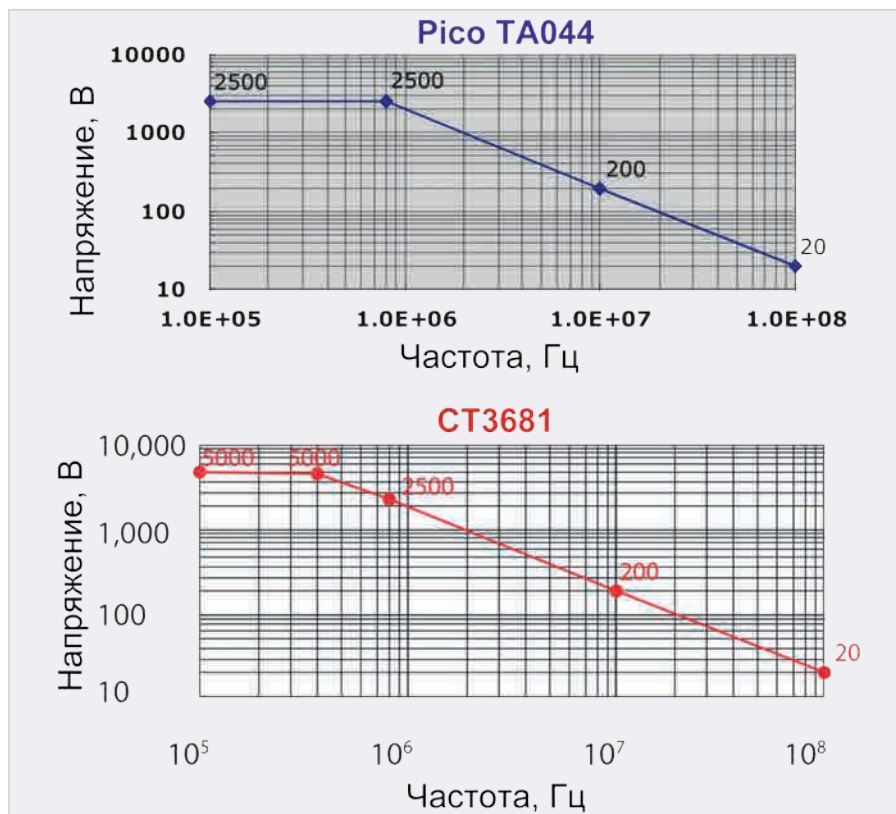


Рис. 3. Типичные амплитудно-частотные характеристики активных высоковольтных дифференциальных делителей напряжения для осциллографов (на примере делителей типов Pico TA044 и CT3681)

исследовались низковольтные ограничители импульсных напряжений.

Целью данной работы является сравнение реакций мощных варисторов и TVS-диодов на одинаковые высоковольтные импульсные воздействия, импульсные воздействия, близкие по параметрам к реальным ЭМИ ЯВ, в условиях, соответствующих реальным условиям эксплуатации в шкафах с электронной аппаратурой.

Метод, объект исследования и аппаратура

Для исследования были выбраны два типа варисторов и два типа TVS-диодов с близкими характеристиками, смонтированные в стандартных клеммниках для DIN-рейки (см. рис. 1), поскольку именно в таком виде они могут быть применены для монтажа в шкафах с аппаратурой. В испытаниях использовалась следующая аппаратура:

- генератор высоковольтных коротких импульсов Emtest EFT 500N с выходным напряжением до 7 кВ;
- активный дифференциальный высоковольтный высокочастотный делитель напряжения Pico Technology TA044;
- осциллограф Tektronix MSO 4034.

Перед началом испытаний делитель напряжения TA044 был отка-

лирован на калибраторе высокого класса FLUKE 5520A при синусоидальном напряжении до 1000 В и частоте до 10 кГц (см. рис. 2).

Генератор EFT 500N с выходным напряжением до 7 кВ предназначен для испытаний устойчивости аппаратуры на воздействие высоковольтного быстрого импульса (Electrical Fast Transient) стандартной формы [2]. Это несинусоидальный импульс сложной формы, который при разложении в ряд Фурье даст, естественно, большой набор гармоник, то есть набор сигналов разных частот. Это представляет определённую проблему, поскольку активные дифференциальные делители напряжения обладают далеко не идеальной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) в требуемом диапазоне частот (0,1...100 МГц, см. рис. 3). Поэтому степени затухания в этом делителе различных гармонических составляющих выходного сигнала генератора тестовых импульсов будут существенно отличаться между собой. В результате этого несинусоидальный сигнал сложной формы, поступающий с делителя на осциллограф, будет иметь существенно искажённую, мало чем напоминающую реальную, форму данного импульса. К тому же индуктивность и ёмкость монтажных проводов и соб-

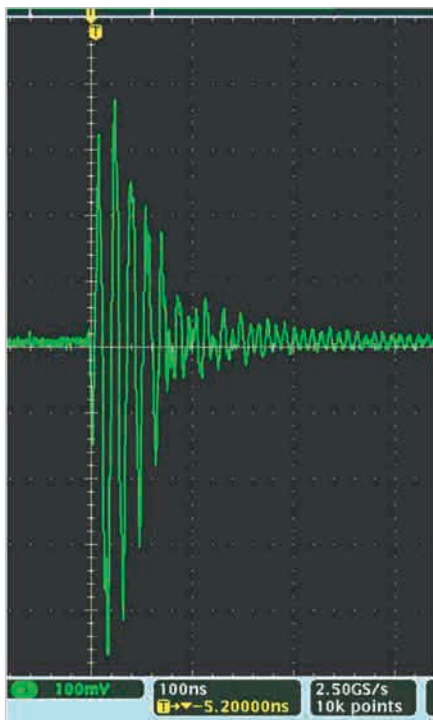


Рис. 4. Так выглядит на экране осциллографа тестовый импульс генератора, пропущенный через активный дифференциальный делитель напряжения

ственных выводов этого делителя приводят к возникновению колебательно-го процесса (см. рис. 4).

Поскольку целью нашего исследования является не точное измерение времени реакции варисторов и TVS-диодов на стандартный импульс, а лишь сравнительные испытания этих двух типов ограничителей импульсных напряжений при прочих равных условиях, то использование такого искажённого (на экране осциллографа, а не в реальности) импульса считается вполне допустимым.

Результаты испытаний

На первом этапе были проведены сравнительные испытания двух варисторов разных типов попарно и двух TVS-диодов разных типов (см. рис. 5). Результаты испытаний (см. рис. 6) показали отсутствие существенной разницы в реакции на тестовый импульс между двумя типами варисторов и между двумя типами TVS-диодов, поэтому в дальнейших исследованиях был использован лишь один тип варисторов и один тип TVS-диодов. Аналогичным образом исследовалось влияние длины монтажных проводов (0,5 и 2,0 м), соединяющих генератор тестовых импульсов с варистором или TVS-диодом. При этом также не было обнаружено сколько-нибудь существенного

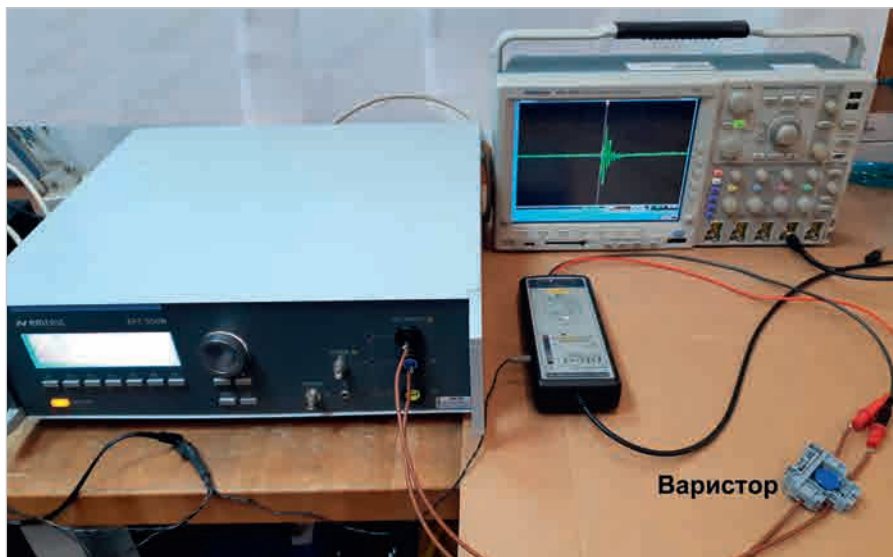


Рис. 5. Испытание варисторов

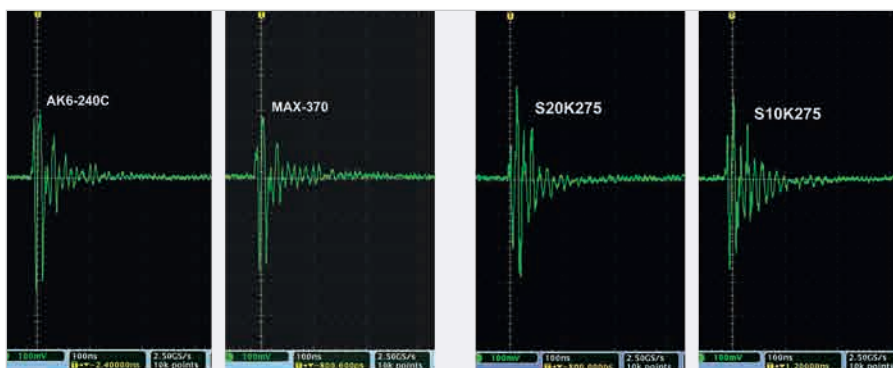


Рис. 6. Осциллограммы остаточного напряжения на TVS-диодах двух разных типов (слева) и двух разных варисторах (справа)

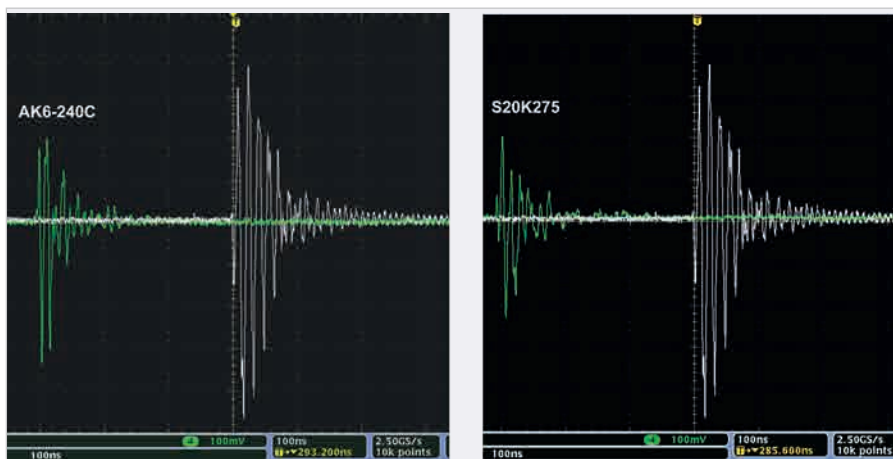


Рис. 7. Остаточное напряжение на TVS-диоде AK6-240C и варисторе S20K275 при воздействии одинакового тестового импульса генератора (на обеих осциллограммах этот импульс справа)

влияния длины этих проводов на остаточное напряжение на TVS-диодах и варисторах. Поэтому в дальнейших исследованиях были использованы монтажные провода длиной 0,5 м.

Результаты исследования влияния TVS-диода и варистора на тестовый импульс (см. рис. 7) показывают, что оба вида ограничителей импульс-

ных напряжений снижают амплитуду импульса и способствуют его более быстрому затуханию, причём варистор S20K275 выполняет свои функции ничуть не хуже TVS-диода AK6-240C.

На этом сформулированную цель можно было бы считать достигнутой и остановиться на полученном результате, который можно сформулировать

так: в условиях, приближённых к реальным, варистор может работать ничуть не хуже TVS-диода в качестве средства защиты от ЭМИ ЯВ. Однако исследования были продолжены с целью выяснения влияния различных дополнительных элементов в комбинации с варистором на эффективность ослабления тестового сигнала. Например, комбинация с дросселем, включённым в защищаемую цепь перед варистором, считается одной из мер, повышающей эффективность работы варистора. Некоторые компании даже выпускают такие дроссели в корпусе, предназначенном для установки на DIN-рейку, специально для комплектации ими варисторов, например дроссели типа DSH 2x16 компании CITEL.

Несмотря на распространённое мнение об эффективности такого технического решения, автором был проведён эксперимент (см. рис. 8) с дросселем типа ЕЕК55246-221М-50А, специально предназначенным для подавления электромагнитных помех и включённым в разрыв провода, соединяющего генератор тестовых импульсов с варистором. Результат, представленный на рисунке 8, оказался неожиданным. В связи с этим дополнительно была снята частотная характеристика этого дросселя (см. рис. 9), которая показала, что для диапазона частот ЭМИ ЯВ (0,1–100 МГц) его использование малоэффективно, что можно объяснить большой собственной проходной ёмкостью такого дросселя, имеющего геликоидальную намотку.

При этом обратный эффект от использования дросселя совместно с варистором (т.е. существенное увеличение амплитуды и длительности остаточного напряжения вместо их снижения, см. рис. 8) можно объяснить возникновением резонанса в колебательном контуре, образованном ёмкостями дросселя, варистора, соединительных проводов и индуктивностью дросселя. Совершенно очевидно, что на высоких частотах полученный результат справедлив лишь для конкретных условий эксперимента, и с изменением этих условий результат будет иной. Однако сам по себе факт существования такой возможности должен настораживать, так как в реальных условиях эксплуатации высокочастотные свойства электрических монтажных шкафов имеют очень большой разброс и являются непредсказуемыми. То есть в реаль-

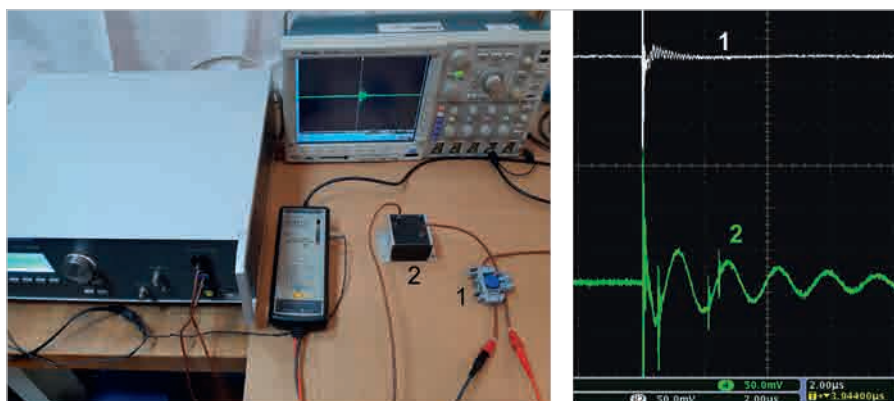


Рис. 8. Исследование эффективности работы варистора (1) с включенным перед ним дросселем (2) и полученная осциллограмма, на которой представлено остаточное напряжение на варисторе (1) и на том же варисторе с включенным перед ним дросселем (2)

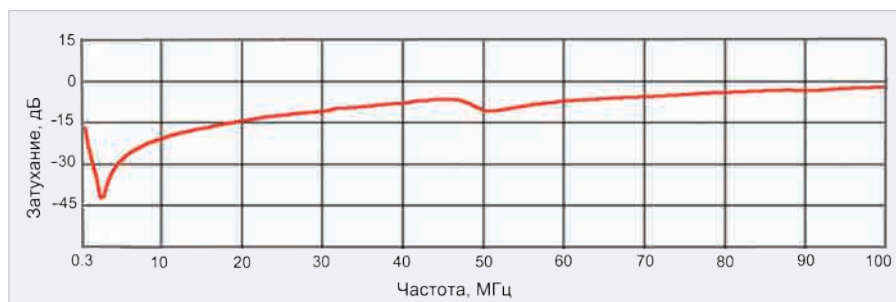


Рис. 9. Частотная характеристика дросселя типа ЕЕК55246-221М-50А

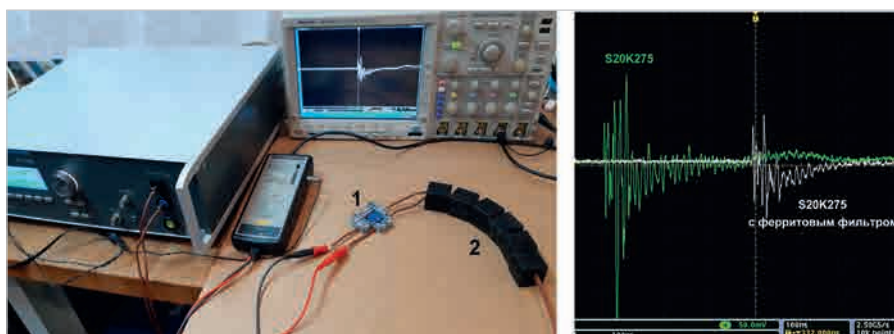


Рис. 10. Исследование эффективности работы варистора типа S20K275 (1) с набором из шести ферритовых колец в пластмассовой арматуре типа М93RS, 26 × 13 × 29, G – ОВЗ (2), надетых на провода перед варистором

ных условиях существует опасность возникновения режима с резким усилением отрицательного воздействия ЭМИ ЯВ на электронную аппаратуру, размещённую в монтажных шкафах, вместо ожидаемого ослабления. Это означает, что с учётом довольно низкого затухания, вносимого таким дросселем (а он был выбран не произвольным образом, а с учётом требуемых характеристик), целесообразность его применения в качестве вспомогательного средства защиты от ЭМИ ЯВ весьма сомнительна.

В отличие от дросселя, включаемого в разрыв провода, использование ферритовых фильтров, выполненных в виде полуколец, надеваемых на сое-

динительные провода перед варистором, даёт совершенно иной результат (см. рис. 10). На осциллограмме для сравнения представлены остаточные напряжения на отдельном варисторе (слева) и на том же варисторе с ферритовым фильтром (справа). Как можно видеть из полученных осциллограмм, ферритовый фильтр подавляет как амплитуду, так и длительность воздействующего импульса и повышает эффективность работы варистора.

Не менее эффективным оказалось совместное применение варистора с LC-фильтром, включённым после него. Такое изменение схемы включения потребовалось по той причине, что подобные фильтры не предназначены для прямой

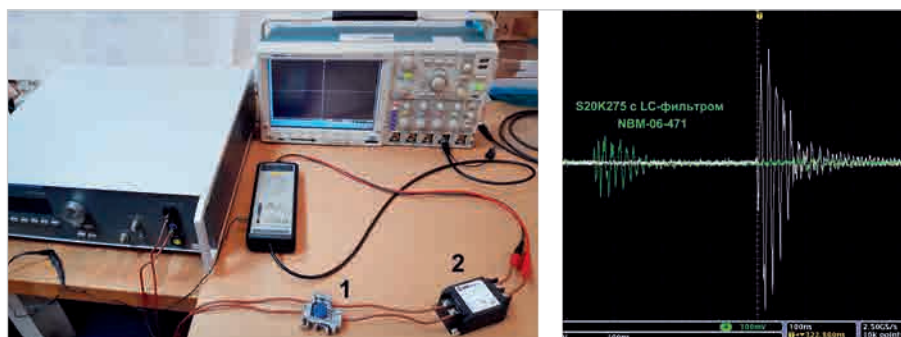


Рис. 11. Исследование эффективности работы варистора типа S20K275 (1) с LC-фильтром типа NMB-06-471 (2), включённым после варистора

подачи на них высокого напряжения и требуют включения ограничителей импульсных напряжений на входе (см. рис. 11). На осциллограмме для сравнения представлены тестовый импульс генератора (справа) и остаточное напряжение на варисторе с LC-фильтром (слева).

Выводы

1. Дешёвые варисторы могут быть использованы в качестве основных средств защиты электронного оборудования, смонтированного в шкафах, от ЭМИ ЯВ не менее эффективно, чем дорогостоящие TVS-диоды.

2. Эффективность защиты может быть существенно повышена при совместном использовании варисторов и LC- или ферритовых фильтров.
3. Следует воздержаться от применения варисторов совместно с дросселями, включёнными в разрыв проводов, заходящих в шкафы с электронной аппаратурой.

Литература

1. Гуревич В. И. Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и защита электрооборудования от него. М. Инфра-Инженерия, 2019. С. 516.
2. IEC 61000-4-4 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-4. Testing and measurement techniques. Electrical fast transient/burst immunity test. 2012.



НОВОСТИ МИРА

MICRO CRYSTAL ВЫПУСКАЕТ САМЫЙ ТОЧНЫЙ В МИРЕ ТЕРМОКОМПЕНСИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ЧАСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

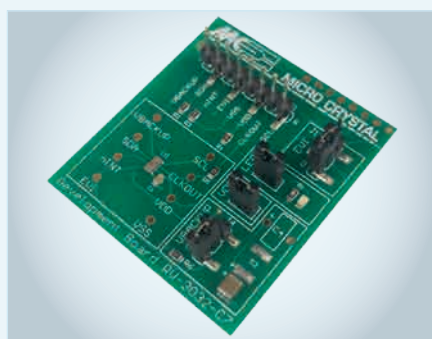
Швейцарская компания Micro Crystal представляет новый модуль часов реального времени (RTC) RV-3032-C7, обеспечивающий лучшую в мире точность в промышленном диапазоне температур при сверхнизком потреблении тока.

Высокоэффективный сверхкомпактный модуль RTC, содержащий заказную микросхему и интегрированный кварцевый резонатор, устанавливает новые стандарты размеров (половина площади корпуса μ SOP-8, дополнительные внешние компоненты не требуются) точности (± 0.26 с/день при рабочей температуре от -40 °C до 85 °C) и тока потребления (160 нА в режиме измерения времени) при уникальных возможностях управления питанием.

RV-3032-C7 идеально подходит для приложений, требующих постоянно включённых функций измерения времени при сохранении высокой долгосрочной точности, работы в широком диапазоне температур и длительного срока службы батареи. Прибор разрабатывался для интеллектуальных измерений и аналогичных промышленных и потребительских приложений, таких как носимые устройства и Интернет вещей.

Благодаря широкому диапазону напряжений питания (от 1,2 до 5,5 В), чрезвычайно низкому энергопотреблению и функциям управления питанием, включая

автоматическое переключение на резервный источник, универсальный зарядовый насос и программируемую схему капельной подзарядки, новое устройство может работать в системе с миниатюрным аккумулятором малой ёмкости или с недорогим элементом питания типа «таблетка». Это уменьшает общие размеры и стоимость изготовления конечного продукта и одновременно оптимизирует срок службы батареи.



«Новый модуль часов реального времени RV-3032-C7, содержащий запатентованный нами кварцевый генератор с цифровой компенсацией температуры, является самым инновационным устройством в продуктовой линейке Micro Crystal, устанавливающим новые мировые стандарты в отношении точности измерений в диапазоне температур, низкого энергопотребления и компактных размеров. Команда конструкторов использовала свой 40-летний опыт управления частотой, чтобы разработать и произвести это впечатляющее, лучшее в своем классе устройство, где были определены и тщательно проанализированы все требования клиентов. По-

мимо всех стандартных функций RTC, прибор имеет множество дополнительных, таких как защита данных с помощью пароля и формирование выходного сигнала мегагерцового диапазона, которые впервые стали доступны на рынке в таком крошечном устройстве», – сказал Ханс-Рудольф Готтье (Hans-Rudolf Gottier), генеральный директор Micro Crystal AG.

«Предлагая решение критических проблем конструктивных ограничений, связанных с точностью, питанием, размерами и временем автономной работы, RTC RV-3032-C7 определённо поможет инженерам в разработке интеллектуальных продуктов следующего поколения», – сказал Роланд Хэни (Roland Haeni), руководитель отдела прикладной инженерии компании Micro Crystal AG. – Наличие программируемого высокочастотного тактового выхода для синхронизации центрального микроконтроллера и доступ к термометру высокого разрешения, используемому для точной термокомпенсации и установки пороговых значений температуры с функцией прерывания, смогут поддержать множество уникальных и новых приложений».

Модуль упаковывается в герметичный керамический корпус DFN с размерами $3,2 \text{ мм} \times 1,5 \text{ мм} \times 0,8 \text{ мм}$, рассчитанный на пайку оплавлением припоя. Внедрение новых устройств упрощается их соответствием требованиям директивы RoHS, отсутствием свинца и сертификацией по стандарту AEC-Q200.

РадиоЛоцман