

Применение LC-фильтров для защиты оборудования от электромагнитного импульса: реальная необходимость или инерция мышления?

Применение специальных LC-фильтров для защиты электрического и электронного оборудования в промышленности и электроэнергетике от разрушительного воздействия электромагнитного импульса считается общепризнанным основным средством защиты, описанным в стандартах, отчетах, статьях. В данной публикации высказывается сомнение в обоснованности такого общепринятого подхода и предлагается использовать в качестве основного средства защиты варисторы и супрессоры, что позволит значительно упростить и удешевить защиту промышленного оборудования.

Владимир ГУРЕВИЧ

Введение

Защита электротехнического и электронного оборудования от воздействия электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ) и преднамеренных деструктивных электромагнитных воздействий (ПЭДВ) стала актуальной задачей современности в связи с расширяющимся применением микроэлектроники в базовых областях техники, таких как электроэнергетика, водоснабжение, связь, составляющих основу инфраструктуры страны, — с одной

стороны, и успехами в развитии технологий воспроизведения сверхмощных электромагнитных полей — с другой [1].

Базовые средства защиты электрооборудования от ЭМИ ЯВ, создающего у поверхности земли электрическое поле с напряженностью 50 кВ/м, хорошо известны и давно применяются в системах военного назначения. Такие средства содержат фильтры, экранированные кабели, металлические экранные оболочки (клетки Фарадея), ограничители импульсных перенапряжений. Эти же средства, в большинстве случаев, рекомендуются и для защи-

ты критического промышленного и электроэнергетического оборудования [2, 3].

LC-фильтры — основное средство защиты оборудования от ЭМИ ЯВ

Среди отмеченных защитных средств особое место занимают электромагнитные LC-фильтры, препятствующие проникновению ЭМИ в аппаратуру. Они считаются основным средством защиты и поэтому даже отдельно рассматриваются в стандартах. Например, в стандарте MIL-STD-188-125

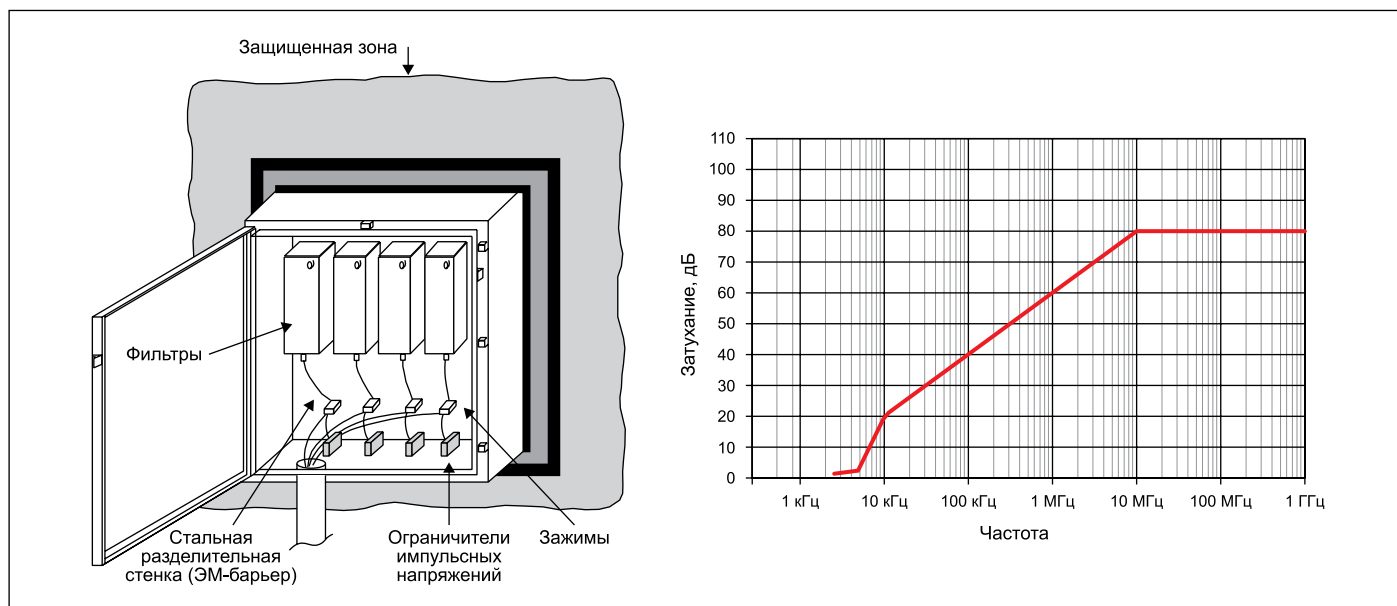


Рис. 1. Стандартный способ подключения внешних кабелей к защищенной аппаратуре через фильтры и требуемая характеристика таких фильтров

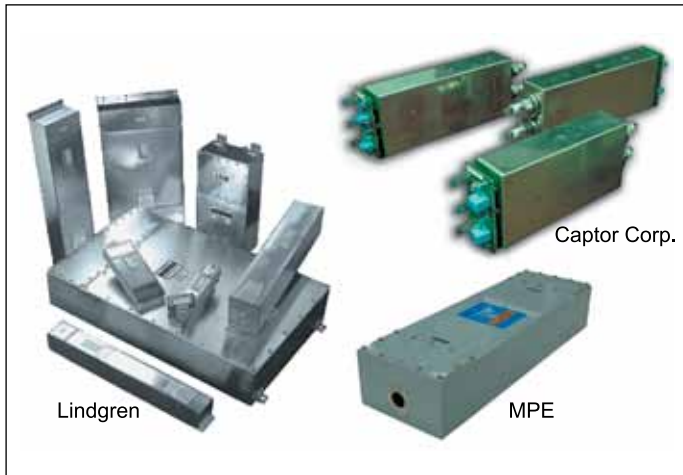


Рис. 2. Некоторые типы фильтров ЭМИ, выпускаемых различными компаниями

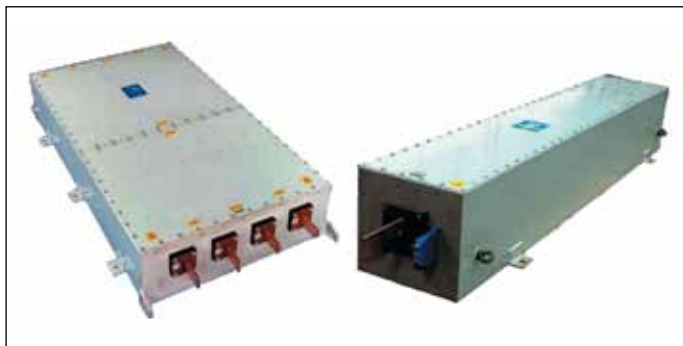


Рис. 3. Мощные ЭМИ-фильтры для силовых цепей на токи 800 и 1200 А

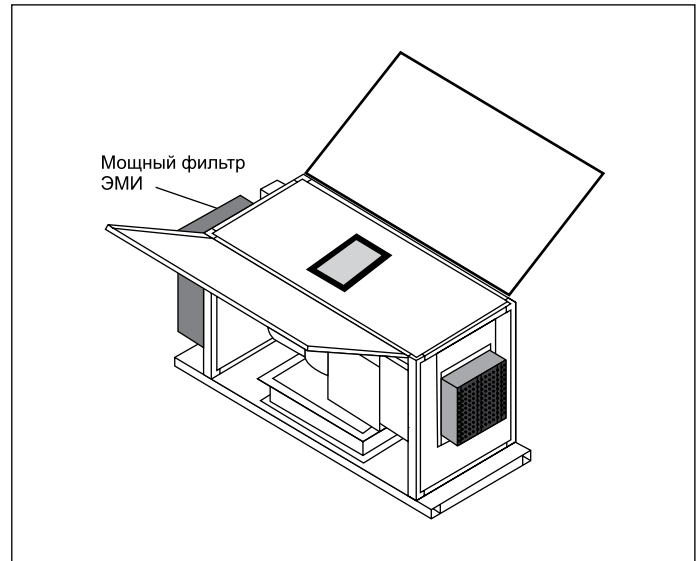


Рис. 4. Дизель-генератор компании EMP Engineering, снабженный мощным ЭМИ-фильтром

Общая практика широкого распространения фильтров во всех видах оборудования, подлежащего защите от ЭМИ, и наличие на рынке фильтров на любой вкус, включая и фильтры, выполненные в виде проходного изолятора, фильтры, встроенные в многоконтактные разъемы, и другие, обычно не оставляет сомнения у разработчика защищенной аппаратуры в необходимости применения подобного вида защиты. А потому на рынке появляются даже дизель-генераторы, снабженные фильтрами ЭМИ (рис. 4).

Параметры ЭМИ ЯВ, влияющие на выбор средств защиты

Каким же образом такие фильтры обеспечивают защиту оборудования от ЭМИ? Для того чтобы разобраться в этом вопросе, нужно четко понимать, что представляет собой ЭМИ ЯВ (рис. 5).

Из анализа характеристик, показанных на рис. 5, можно видеть, что ЭМИ ЯВ представляет собой комбинацию помеху, воздействующую на аппаратуру высоким напряжением и высокой частотой. Из этого следует, что фильтры ЭМИ должны защищать аппаратуру и от импульсного перенапряжения, и от воздействия высокочастотной помехи. Однако большинство фильтров ЭМИ имеют очень ограниченное рабочее напряжение, не превышающее нескольких сотен вольт, тогда как амплитуда напряжения ЭМИ достигает 50 кВ.

[4] показано, как именно нужно выполнять подключение внешних кабелей к защищенной аппаратуре (рис. 1). Использование специальных LC-фильтров считается сегодня настолько обычным, основным и обязательным средством защиты всех типов электрического и электронного оборудования от ЭМИ ЯВ и ПЭДВ, что ни у кого не возникает и тени сомнения в обоснованности применения таких фильтров. В настоящее время десятки промышленных предприятий выпускают сотни типов подобных фильтров (рис. 2).

Кстати, рекомендуемая область применения таких фильтров не ограничивается лишь электронной аппаратурой связи, управления и контроля, а распространяется и на силовое электрооборудование (рис. 3).

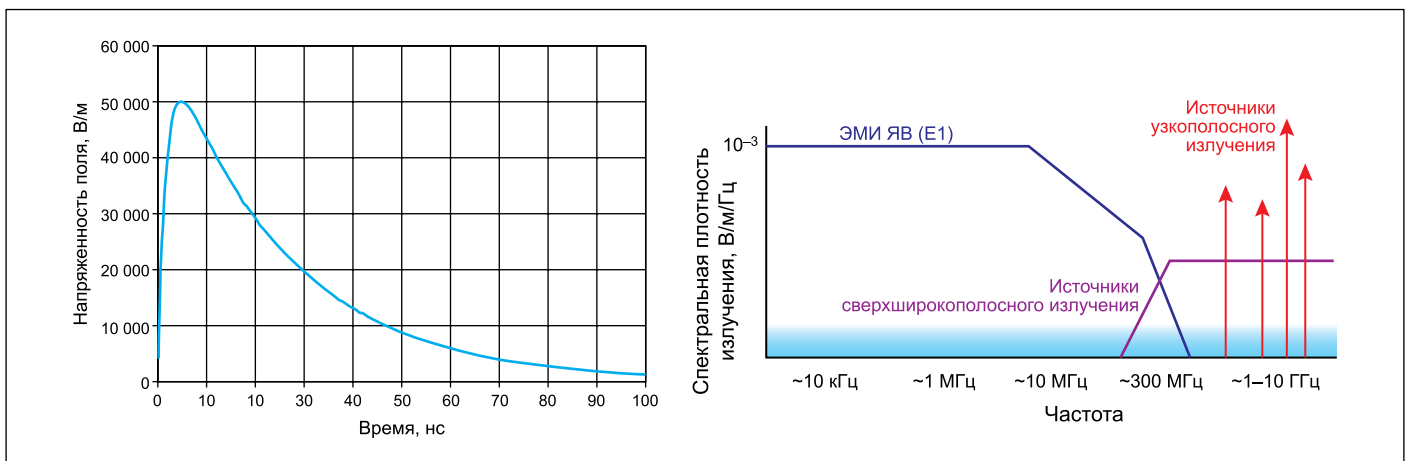


Рис. 5. Параметры импульса ЭМИ ЯВ (его компонента E1) в соответствии со стандартами IEC 61000-2-9, IEC 61000-2-10, IEC 61000-2-11, IEC 61000-2-13 и MIL-STD-461F



Рис. 6. Некоторые типы фильтров ЭМИ, снабженных элементами защиты от импульсных перенапряжений

Поэтому сами фильтры будут неизбежно повреждены, если их напрямую включить в электрическую цепь, подвергнутую воздействию ЭМИ. По этой причине фильтры должны снабжаться дополнительной защитой от импульсного перенапряжения большой амплитуды. Стандарт MIL-STD-188-125 предусматривает применение таких защитных элементов совместно с фильтрами (рис. 1). Более того, некоторые типы фильтров оснащены такими защитными элементами, установленными внутри или снаружи корпуса (рис. 6).

Такие же защитные элементы можно заметить и на фильтрах, производимых компанией Saptor Corp. (рис. 2).

Казалось бы, все вышесказанное вполне логично и лишь подтверждает общепризнанный подход к защите аппаратуры от воздействия ЭМИ ЯВ, основанный на повсеместном использовании фильтров. Однако если учесть, что импульсные перенапряжения и высокочастотные помехи — это два совершенно разных по своим физическим свойствам воздействия, защита от которых осуществляется совершенно разными техническими средствами, то возникает серьезное сомнение в обоснованности широко распространенного мнения в необходимости повсеместного применения фильтров как основного средства защиты оборудования от ЭМИ. Рассмотрим оба аспекта отдельно друг от друга.

Защита аппаратуры от высокочастотных помех, инициируемых ЭМИ ЯВ

Известно, что все современное промышленное и энергетическое оборудование проходит проверку на соответствие требованиям стандартов по электромагнитной совместимости (ЭМС). И эти стандарты предусматривают проверку устойчивости аппаратуры к воздействию высокочастотного излучения, а также высокочастотного напряжения, прикладываемого к входам аппаратуры (между различными входами и между объединенными входами и корпусом). Например, стан-

дарт IEC 61000-4-12 предполагает проверку аппаратуры приложением высокочастотного напряжения частотой 1 МГц и амплитудой 2,5 кВ. Стандарты IEC 61000-4-4 и IEC 61000-4-5 предусматривают приложение к цепям проверяемой аппаратуры коротких импульсов (то есть высокочастотного сигнала) с амплитудой до 4 кВ. Стандарт IEC 61000-4-3 определяет проверку устойчивости аппаратуры на воздействие радиочастотного излучения в диапазоне частот вплоть до 2 ГГц. Словом, что касается высокочастотных помех, стандартные требования к аппаратуре должны обеспечивать ее устойчивость к таким помехам, в том числе к помехам, вызванным ЭМИ ЯВ. Некоторые параметры импульсной помехи, производимой ЭМИ, отличаются от параметров помех, которые симулируются во время испытания на соответствие нормам стандартов ЭМС, в частности, речь идет о значительно более коротком импульсе помехи ЭМИ по сравнению с длительностью стандартного импульса, используемого при обычных испытаниях ЭМС. Однако вероятность того, что обычная аппаратура релейной защиты, контроля и управления, применяемая в промышленности и в электроэнергетике, успешно прошедшая испытания на помехоустойчивость по стандартам ЭМС, откажет в работе при воздействии помехи от очень короткого импульса ЭМИ, — ничтожно мала. Тем более что параметры испытательных воздействий на устойчивость к самому проблематичному «быстрому импульсу» ЭМИ — EFT (Electrical Fast Transient) отличаются от параметров EFT при обычных испытаниях на ЭМС лишь большей амплитудой тестовых импульсов.

Исходя из изложенного возникает сильное сомнение в целесообразности использования специальных фильтров для защиты аппаратуры от высокочастотной помехи, инициируемой ЭМИ ЯВ.

Защита аппаратуры от импульсных перенапряжений, создаваемых ЭМИ ЯВ

Совершенно иная ситуация наблюдается с защитой от импульсного напряжения значительной амплитуды, прикладываемого к цепям аппаратуры при воздействии ЭМИ ЯВ. Действующие требования по ЭМС и методы проверки на соответствие этим требованиям не имеют даже близкого отношения к реальным уровням перенапряжений, которым будет подвергнута аппаратура при воздействии ЭМИ. Однако для защиты от импульсных перенапряжений существуют давным-давно известные и широко распространенные методы и технические средства для их реализации. Например, такие как оксидно-цинковые варисторы (рис. 7).

Некоторое преимущество перед варисторами в части быстродействия (что важно в случае короткого импульса ЭМИ) имеют так называемые супрессоры (TVS — transient voltage suppressor) на основе лавинных диодов (avalanche diodes), показанные на рис. 8.

Варисторы и супрессоры характеризуются так называемым остаточным напряжением (clamping voltage), то есть напряжением, которое остается на варисторе и на присоединенном к нему параллельно защищаемому объекту после срабатывания варистора. С учетом того, что обычные стандарты ЭМС требуют от промышленной аппаратуры устойчивости к воздействию импульсных перенапряжений



Рис. 7. Некоторые типы мощных варисторов для защиты от импульсных перенапряжений цепей переменного и постоянного тока



Рис. 8. Некоторые типы особо мощных супрессоров

с амплитудой 2,5–4 кВ, мощные варисторы (супрессоры) с остающимся напряжением 500–600 В обеспечат надежную защиту аппаратуры от воздействия ЭМИ ЯВ и без применения фильтров ЭМИ. Почему это так важно?

Потому что:

- фильтры ЭМИ имеют высокую стоимость, особенно силовые фильтры, рассчитанные на большие токи;
- для большого количества цепей, требующих защиты, при стандартном подходе понадобится и большое количество фильтров ЭМИ, которые занимают большой объем, далеко не всегда имеющийся в наличии;
- фильтры ЭМИ включаются в разрез контрольных и силовых кабелей, что при наличии большого количества цепей существенно затрудняет установку фильтров и делает эту работу дорогой и сложной.

Использование маленьких, недорогих варисторов, подключаемых не в разрез, а параллельно защищаемым объектам для защиты контрольных и силовых цепей от воздействия ЭМИ, существенно упрощает и удешевляет такую защиту.

В отдельных случаях, при использовании особо чувствительной к помехам электронной аппаратуры, возможно применение разборных ферритовых колец (цилиндров), надеваемых снаружи на защищаемый кабель, как показано на рис. 9 [5].

Проблема может возникнуть лишь в случае, когда защищаемый объект имеет очень низкое внутреннее сопротивление, — например, батарея аккумуляторов. При приложении к такому объекту импульса напряжения, инициированного ЭМИ ЯВ, падение напряжения на самом объекте может оказаться недостаточным для срабатывания варистора, однако ток, протекающий через объект, способен оказать весьма значительным из-за низкого внутреннего сопротивления. В этой ситуации последовательно с защищаемым объектом необходимо включить дроссель, сопротивление которого пренебрежимо мало на постоянном токе, но велико для высокочастотного сигнала (для короткого импульса).

Выводы

Из всего сказанного следует, что, вопреки распространенной практике, для защиты электрической и электронной аппаратуры в промышленности и в электроэнергетике от ЭМИ ЯВ нет необходимости применять специальные дорогостоящие фильтры в качестве одного

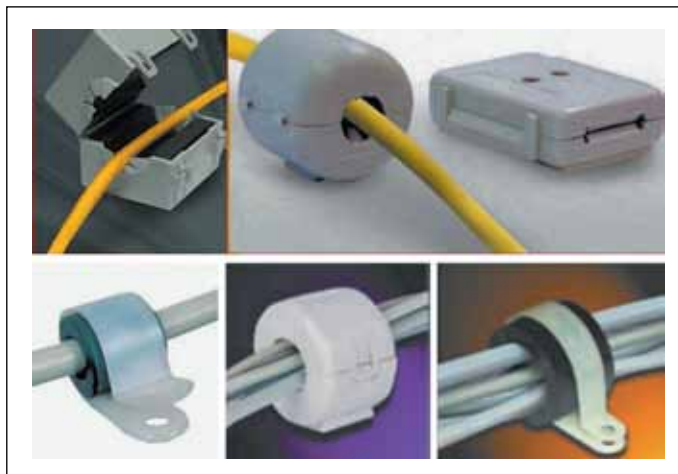


Рис. 9. Разборные ферритовые кольца, надеваемые на кабель для дополнительной защиты от электромагнитных помех особо чувствительной электронной аппаратуры

из базовых средств — достаточно использовать обычные элементы для защиты от импульсных перенапряжений, например варисторы или супрессоры, что в совокупности с другими известными средствами и методами позволит значительно упростить и удешевить защиту оборудования от ЭМИ ЯВ.

Литература

1. Гуревич В. И. Преднамеренные электромагнитные деструктивные воздействия — угроза национальной безопасности страны // Проблемы анализа риска. 2016. Т. 13. № 5.
2. Гуревич В. И. Основные средства защиты подстанций от ЭМИ ЯВ: краткое руководство // Энергетика и электрооборудование. 2017. № 4.
3. Гуревич В. И. ЭМИ ЯВ и его воздействие на электроэнергетические системы: стандарты и отчеты // Проблемы энергетики. 2016. № 7, 8.
4. MIL-STD-188-125-1 High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Environmental Protection for Ground Based C41 Facilities Performing Critical Time-Urgent Mission. Part 1 Fixed Facilities, 2005.
5. Гуревич В. И. Ферритовые фильтры // Компоненты и технологии. 2015. № 10.