

Соответствие фильтров EMI производства компании VPT требованиям оборонной промышленности

Гленн СКОТТ (Glenn SCOTT)
Перевод: Сергей САМИЛИН
vpt@ptelectronics.ru

Проблема электромагнитных помех и пульсации напряжения в переходном процессе

Конструкторы оборонной и авиакосмической отрасли сталкиваются с различными проблемами, связанными с устранением электромагнитных помех и изменением напряжения в переходном процессе. Стандарты, разработанные различными оборонными организациями, являются более строгими по сравнению с аналогичными стандартами в коммерческой сфере, при этом между стандартами существуют некоторые расхождения по предельным условиям испытаний и методам. Цель стандарта EMI — предвидеть проблемы, которые могут возникнуть, если электронные помехи одного компонента оборудования будут оказывать негативное воздействие на работу другого оборудования. Недостаточный контроль при возникновении электромагнитных помех может привести к их наложению, например к возникновению нежелательных помех в коммуникационном и компьютерном оборудовании, а также к ложному срабатыванию и неправильным показаниям в цепях датчиков.

Дополнительно к сигналам, которые могут вызвать наложение помех, при нормальной работе оборудования могут возникать изменения напряжения, связанные с переходными процессами на входных клеммах оборудования. Изменения напряжения в переходном процессе определены в соответствующих отраслевых стандартах и рассчитываются

с учетом конкретных условий, в которых используются различные классы оборудования. Например, требования к наземному оборудованию отличаются от требований к летному бортовому оборудованию.

Одна из задач конструктора — это своевременная корректировка схемы для снижения электромагнитных помех и изменения напряжения в переходном процессе в разрабатываемом оборудовании, к которому предъявляются наиболее строгие требования, определяемые конечным пользователем. В статье рассматриваются основные требования к электромагнитным помехам и изменению напряжения при переходных процессах, которые предъявляются к системам специального назначения, использующим импульсные источники питания (SMPS). Особое внимание уделяется основным условиям при подавлении электромагнитных помех и переходных колебаний, а также методам по обеспечению соответствия измененным требованиям различных ведомств.

Электромагнитные помехи

Электромагнитные помехи подразделяются на четыре основные группы:

- индуктивные помехи;
- восприимчивость к индуктивным помехам;
- радиоизлучение;
- восприимчивость к радиоизлучению.

Индуктивные помехи передаются по проводам, соединяющим шину электропитания

на входе с оборудованием, при этом излучаемые помехи возникают в ходе непреднамеренной передачи или приема сигналов помех. В стандартах по электромагнитным помехам рассматриваются помехи, создаваемые оборудованием, при этом стандарты восприимчивости к индуктивным помехам определяют режим работы при наличии помех, в котором оборудование должно функционировать без сбоев.

С точки зрения конструктора индуктивные помехи подразделяются на помехи общего вида и помехи при дифференциальном включении. Индуктивные помехи при дифференциальном включении возникают из-за токов, поступающих на вход и снимаемых с выводных клемм, что является нормальным движением тока в цепи¹.

Синфазный ток, в свою очередь, направляется через заземление на массу и возвращается в том же направлении в сеть питания. Помехи при дифференциальном включении обычно связаны с током переключения в преобразователе, при этом помехи общего вида возникают в результате пульсирующего напряжения цепи.

Согласно нормативам по электромагнитным помехам система должна соответствовать стандартам по всем типам индуктивных и излучаемых помех. Обычно функция фильтра электромагнитных помех оценивается с учетом того, насколько эффективно фильтр

¹ По этой причине термины «помехи при дифференциальном включении» и «помехи нормального вида» часто используются как взаимозаменяемые.

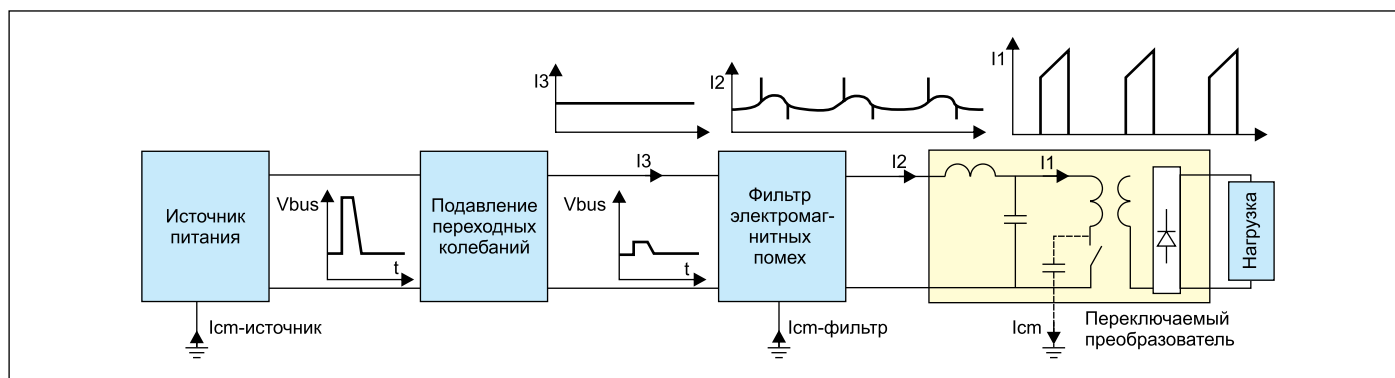


Рис. 1. Эффективность фильтров электромагнитных помех и функции подавителей переходных колебаний

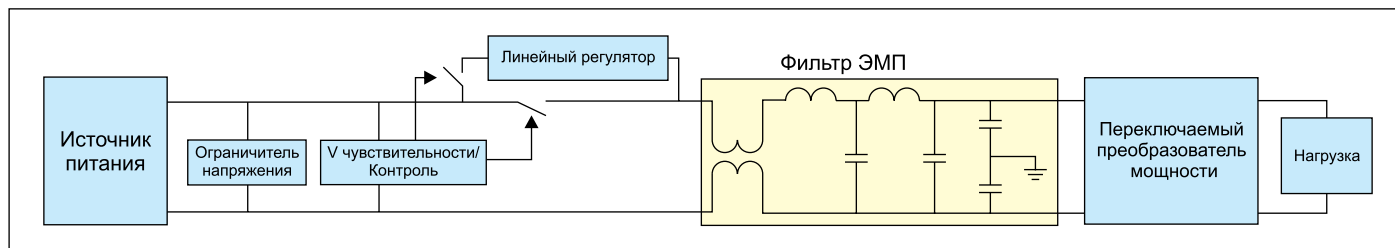


Рис. 2. Блок-схема дискретного решения, обеспечивающего защиту от переходных процессов и фильтрацию электромагнитных помех

предотвращает воздействие помех от оборудования на основную систему распределения питания. На рис. 1 представлен типичный импульсный источник питания в комплекте с внешним фильтром электромагнитных помех и цепью подавления помех переходных процессов. Переключающий ток импульсно-источника питания I_1 ослабляется за счет встроженных и внешних фильтров.

Входной ток импульсного источника питания I_2 является постоянным током с определенной составляющей. Составляющая пульсирующего тока, а также высокочастотные пики сглаживаются фильтрами электромагнитных помех таким образом, чтобы ток шины питания I_3 был преимущественно постоянным. Поскольку для I_3 характерна небольшая составляющая переменного тока, фильтр должен обеспечивать значение переменного тока ниже уровня, указанного в соответствующем стандарте. Такое выравнивание амплитуды тока до постоянного уровня является характеристикой эффективности фильтра при дифференциальном включении. Эффективность фильтра электромагнитных помех против помех общего вида определяется понижением помех общего вида (I_{cm}), которые проходят через источник питания (I_{cm} -источник). Эффективный фильтр электромагнитных помех должен гасить комбинированные помехи общего вида и помехи при дифференциальном включении в источнике питания до установленного уровня.

Подавление помех, вызванных переходными процессами

Фильтры электромагнитных помех используются для погашения помех, возникающих при нормальной работе электро-технического оборудования, а подавители переходных процессов воздействуют на нерегулярные импульсные помехи, которые возникают на шине питания. Такие помехи могут быть вызваны включением мощных приводов, запуском двигателей, переходными колебаниями нагрузки и т.д. Они подразделяются на три основные группы:

- Пульсации напряжения.
- Перенапряжение.
- Резкие скачки напряжения.

Пульсации напряжения связаны с отклонением входного напряжения от уровня

номинального постоянного входного тока. Перенапряжение возникает в связи с переходными колебаниями на шине питания и обычно длится от нескольких миллисекунд до 100 мс. Резкие скачки напряжения обычно вызваны переключением реактивных нагрузок, при которых возникают относительные высокочастотные, высоковольтные колебания, которые длятся не более 5 мс.

Назначение подавителей переходных процессов — защита фильтров электромагнитных помех. На рис. 1 показано напряжение на шине питания V_{bus} , с наложением импульса входного тока на номинальный уровень постоянного тока. Подавитель напряжений устанавливает входное напряжение на уровне, безопасном для фильтра электромагнитных помех и преобразователя выходного потока. Таким образом, функция подавителя переходных помех аналогична функции устойчивости фильтров электромагнитных помех: оба устройства защищают оборудование от импульсов, возникающих на шине питания.

Стандарты, регулирующие подавление электромагнитных помех и помех, вызванных переходными процессами

В отношении подавления электромагнитных помех и помех, вызванных переходными процессами, действует ряд стандартов, разработанных организациями в разных странах мира. К стандартам по электромагнитным помехам относятся: стандарт электромагнитных помех/электромагнитной совместимости MIL-STD-461 для Вооруженных Сил США, стандарт RTCA DO-160D для гражданских воздушных судов и стандарт DEF STAN 59-41 для Министерства обороны Великобритании. К стандартам, регулирующим изменение напряжения в переходном процессе и характеристики шины, относятся MIL-STD-704, MIL-STD-1275, DO-160 и DEF STAN 61-5.

Ввиду наличия большого количества различных стандартов, устанавливающих требования в отношении электромагнитных помех и подавления помех, вызванных переходными процессами, электроэнергетические системы рекомендуется разрабатывать с учетом наиболее строгих из существующих стандартов. Такой принцип («одна разработ-

ка — множество применений») позволяет максимально возместить затраты на разработку и создавать системы, имеющие более широкий спектр применения. Например, разработка, соответствующая требованиям стандарта MIL-STD-704A в отношении характеристик входного напряжения шины питания, как правило, соответствует требованиям всех стандартов, вплоть до MIL-STD-704E.

Стандартные дискретные системы подавления электромагнитных помех и помех, вызванных переходными процессами

Блок-схема, представленная на рис. 1, демонстрирует основу дискретной системы для подавления помех, вызванных переходными процессами, и фильтрации электромагнитных помех. Специальные требования, предусмотренные различными стандартами, необходимо учитывать при разработке каждой составляющей системы. На рис. 2 показано, каким образом функциональные блоки, представленные на рис. 1, можно применять в стандартной электроэнергетической системе.

Функция подавления помех, вызванных переходными процессами, использует линейное регулирование, которое включается в схему, когда входное напряжение превышает определенное установленное значение. Во время действия линейного регулятора выход схемы подавления помех, вызванных переходными процессами, фиксируется на регулируемом значении, а разность входного напряжения и напряжения фиксации измеряется, что дает возможность сделать процесс управляемым.

Поскольку энергия, получаемая от источника, рассматривается как постоянная величина, мощность рассеяния в линейном регуляторе может быть высокой, что ограничивает длительность изменения входного напряжения в переходном процессе, которое может быть заблокировано модулем защиты от переходных процессов. Для защиты самого модуля защиты от переходных процессов либо входное напряжение должно быть ограничено по времени и амплитуде, либо должна быть отключена нагрузка. Специальные эксплуатационные требования, предусмотренные техническими условиями изменения напряжения в переходном процессе, устанавливают быстроедействие и мощность

линейного регулятора изменения напряжения в переходном процессе. Ограничитель напряжения, установленный в начале схемы защиты от переходных процессов, защищает электрическую схему от кратковременных, ограниченных всплесков напряжения. Значение ограничителя напряжения должно быть низким настолько, чтобы обеспечивать надлежащую защиту от высоковольтных пиков, но не настолько низким, чтобы более длительные состояния перенапряжения могли оказать негативное влияние на сам ограничитель напряжения.

Фильтр электромагнитных помех (фильтр ЭМП), как правило, включает в себя несколько ступеней индуктивно-емкостной фильтрации, а также емкость от каждой шины к заземлению на массу. Ступени индуктивности/емкости обеспечивают фильтрацию помех при дифференциальном включении, тогда как входной дроссель и выходные конденсаторы синфазных помех определяют показатели фильтра в отношении фильтрации таких помех. Схема защиты от переходных процессов размещена перед фильтром электромагнитных помех. Таким образом обеспечивается защита компонентов фильтра электромагнитных помех от входных выбросов в переходном процессе, а сам фильтр электромагнитных помех можно проектировать для фильтрации при заданных удельных нагрузках.

Проектные решения для подавления электромагнитных помех, вызванных переходными процессами

Определите область применения вашей разработки

Одним из ключевых аспектов успешной разработки системы подавления электромагнитных помех и помех, вызванных переходными процессами, является проектирование системы в соответствии с конкретными условиями эксплуатации, в которых будет использоваться устройство. Разработка, предназначенная исключительно для рынка США, может значительно отличаться от разработки, предназначенной для Европы или Азии. Это, в частности, может быть связано с климатическими условиями. Несмотря на то, что стандарты, применимые к системам подавления электромагнитных помех, вызванных переходными процессами, в своей основе похожи, а некоторые во многих аспектах практически идентичны, намного целесообразнее разрабатывать систему в соответствии с техническими требованиями заказчика.

Также необходимо принять во внимание, что рынок продукции специального назначения отличается от коммерческого рынка тем, что определение конкретных рабочих характеристик зачастую оставляют на усмотрение разработчиков, в том числе разработ-

чиков ПО. Этот аспект создает дополнительную сложность, поскольку некоторые программы могут требовать, например, чтобы схема продолжала работать при определенных выбросах напряжения, тогда как другие программы предусматривают возможность отключения оборудования и его последующего возвращения в рабочий режим при таких же условиях на входе. Разработчик должен прояснить аспекты, касающиеся особых эксплуатационных требований, в самом начале процесса разработки.

Необходимо понимать принципы тестирования электромагнитных помех и напряжения переходного процесса

Одной из основных функций различных стандартов электромагнитных помех и напряжения переходного процесса является раз-

работка общей методики измерения и определения характеристик эксплуатационных показателей электромагнитных помех. Такие стандарты необходимы для обеспечения возможности воспроизведения характеристик электромагнитных помех в различных испытательных лабораториях. Однако, несмотря на то, что задаваемые условия испытаний имитируют среду эксплуатации, зачастую бывает трудно установить корреляцию между результатами лабораторных испытаний и испытаний в реальных условиях.

Еще одним осложняющим фактором при разработке требований к электромагнитным помехам является тот факт, что в разных стандартах могут применяться различные принципы измерения одних и тех же характеристик. Например, согласно стандарту MIL-STD-461C произведенные входные выбросы измеряются токовым зондом и указы-

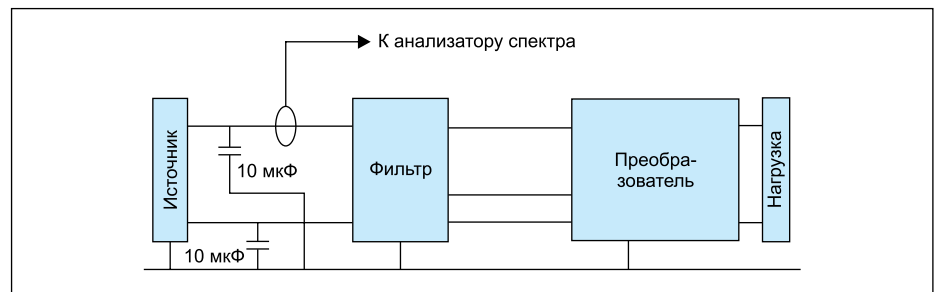


Рис. 3. Модель DV200-2812D с фильтром ЭМП DVMN28 согласно стандарту MIL-STD-461C

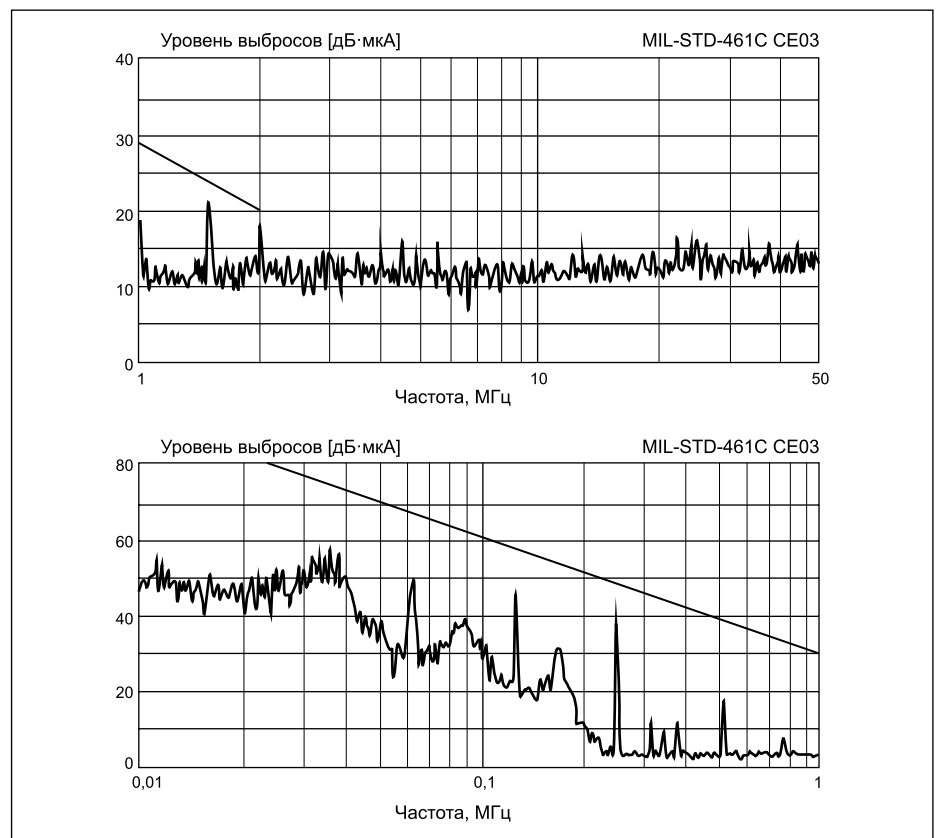


Рис. 4. Характеристики готового модуля DVMN28 для фильтрации ЭМП/подавления помех, вызванных переходными процессами, с преобразователем DV200-2812D в переходном процессе

ваются в дБмкА, тогда как стандарт MIL-STD-461E предусматривает использование входной схемы стабилизации полного сопротивления линии (LISN) и измерение шума в дБ-мкВ. В то же время стандарт DEF-STAN 59-41 предусматривает использование токового зонда и измерение уровней выбросов в дБ-мкА, как и стандарт 461C, однако предусматривает и использование входной LISN, аналогично стандарту 461E. По этой причине необходимо указывать метод испытаний, который применялся для определения уровней выбросов.

Используйте готовые решения, удовлетворяющие вашим требованиям

Обеспечение соблюдения требований подавления электромагнитных помех и помех, вызванных переходными процессами, предъявляемых различными организациями по всему миру, предусматривает большой объем работы. Задачу по разработке фильтра зачастую можно решить посредством применения дискретных фильтров и уникальных разработок. Однако готовые решения для фильтров, разработанные для систем с конкретными преобразователями мощности, могут значительно сократить время, требуемое для создания системы, соответствующей установленным требованиям. Кроме того, готовое решение для фильтров можно приобрести как единый блок, что означает уменьшение количества используемых деталей и упрощение процесса аттестации.

Эксплуатационные показатели готовых решений можно, как правило, установить заранее, что, в свою очередь, позволяет укрепить уверенность в том, что данное решение подойдет для конкретной сферы применения. На рис. 3 и 4 демонстрируются показатели DVMN-модуля фильтрации электромагнитных помех и подавления помех, вызванных переходными процессами, компании VPT. Информацию этого типа, как правило, предоставляют поставщики модулей для широкого спектра условий применения. Кроме того, доступны указания по применению и сведения по конкретным видам применения, что помогает при эксплуатации готовых фильтров-модулей в особых условиях, не предусмотренных в стандартном техническом описании. Произведенные выбросы по стандарту MIL-STD-461 показаны на рис. 5, 6.

Заключение

Фильтрация электромагнитных помех и подавление помех, вызванных переходными процессами, необходимы в системах специального назначения для того, чтобы:

- различные электрические составляющие не создавали чрезмерных электрических помех, способных оказать воздействие на другое оборудование;
- все электрические составляющие, подсоединенные к шине питания, могли выдерживать и/или продолжать функционирование при помехах в шине питания, типичных для данных условий эксплуатации.

Для обеспечения выполнения этих требований было разработано несколько различных наборов технических условий для электромагнитных помех и изменения напряжения в переходном процессе. В некоторых случаях стандарты, разработанные различными организациями, очень схожи, однако порой они значительно отличаются в плане методов, применяемых для тестирования оборудования на предмет соответствия требованиям, либо в плане фактических уровней сигналов помех.

Решения, удовлетворяющие максимально возможному количеству требований, предъявляемых в стандартах технических характеристик, обеспечивают создание аппаратных средств, которые можно использовать в разных странах мира. Тем не менее разработчик должен понимать, что системы для некоторых областей применения, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым множеством различных технических стандартов, отличаются, как правило, избыточной сложностью (и, следовательно, отличаются более высокой стоимостью, имеют более крупные размеры и более крупный вес).

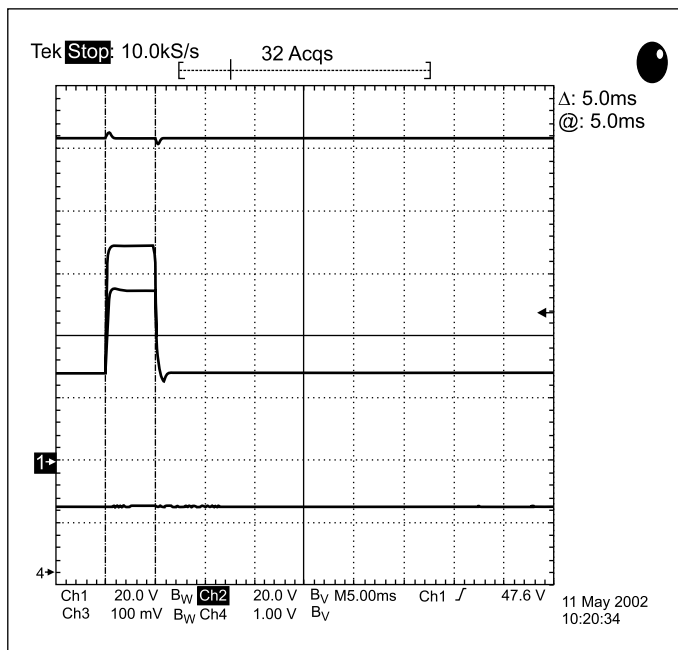


Рис. 5. Помехи на входе, вызванные переходными процессами: 70 В/5 мСм /0,5 Ом источник /максимальная нагрузка

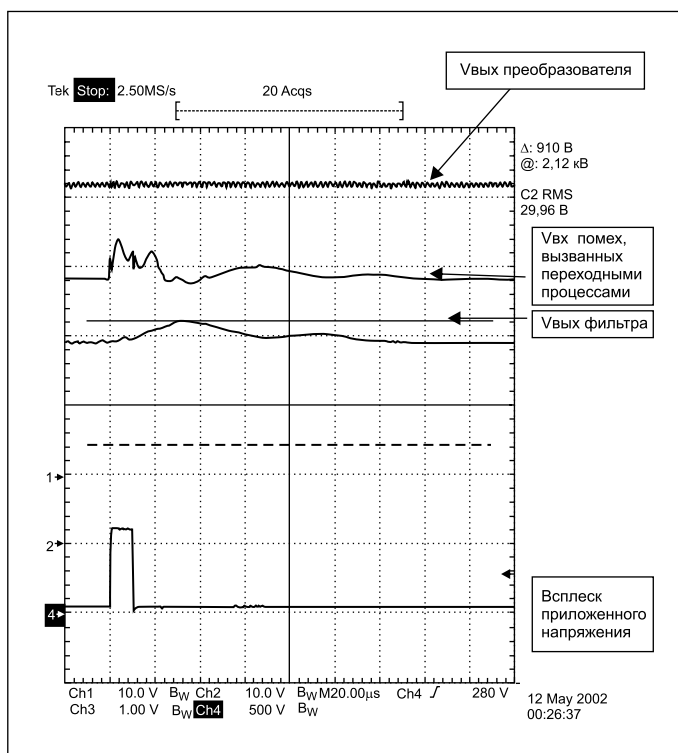


Рис. 6. Помехи на входе, вызванные переходными процессами: 600 В/10 мСм (максимальная мощность)

Поэтому необходимо стараться найти компромисс между общими рабочими характеристиками системы, специфическими особенностями каждой области применения и требованиями к проекту.

Готовые модули подавления электромагнитных помех и помех, вызванных переходными процессами, разработанные специально для DC/DC-преобразователей, могут значительно помочь при решении проблемы разнообразных требований, согласно которым необходима быстрая разработка системы, обеспечение широкого спектра ее конечного применения и эффективная компоновка.