

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ПИТАНИЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И МОДУЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

М.Шейкин max.shaking@ya.ru

Современное радиоэлектронное устройство должно удовлетворять стандартам электромагнитной совместимости (ЭМС). Широко применяемые в самых различных изделиях импульсные источники вторичного питания (ИИВП) одновременно являются и источниками помех в цепях питания устройства. Для обеспечения ЭМС ИИВП и защиты их от выбросов напряжения в цепи первичного питания необходимы фильтры, не пропускающие помехи к источнику и в цепи питания устройства. Модульные фильтры и защитные устройства производства компании Mornsun соответствуют международным стандартам ЭМС и обеспечивают надежную защиту от помех.

**Э**лектромагнитная совместимость радиоэлектронного устройства складывается из двух одинаково важных свойств: уровня собственных помех (которые могут влиять на другие устройства) и помехозащищенности устройства, т.е. способности функционировать нормально при воздействии помех.

Важность обеспечения ЭМС возростала с усложнением электронных изделий и увеличением их количества. Современная тенденция к миниатюризации и интеграции изделий также приводит к повышению требований к ЭМС. Одним из источников электромагнитных помех в радиоэлектронных устройствах являются популярные сегодня ИИВП.

Проблема усугубляется еще и тем, что для повышения КПД источника и сокращения занимаемой им площади на плате применяются высокочастотные преобразователи, а в сложных изделиях могут присутствовать несколько источников, питающих отдельные узлы схемы (распределенные сети питания, принцип Point of load). При этом не стоит забывать, что основная функция источника – обеспечение качественного (т.е. стабильного, без помех и пульсаций) питания

узлов схемы. Таким образом, при проектировании электронного устройства крайне важно обеспечить ЭМС источников вторичного питания.

## СТАНДАРТЫ ЭМС

Стандарты ЭМС можно разделить на три условные группы. Стандарты первой (базовой) группы определяют основные нормы и факторы ЭМС без привязки к конкретным устройствам (табл.1). В стандартах второй группы (общей) оговариваются минимальные требования к продукции и системе измерений и испытаний для конкретных условий (табл.2). К третьей группе относятся специальные стандарты ЭМС для конкретных видов продукции (табл.3).

Базовые стандарты обычно формируются под влиянием общих и специальных. Если для определенного изделия нет специального стандарта, можно применять общий стандарт.

Разделы стандарта Международной электротехнической комиссии МЭК (IEC) 61000 регламентируют значения и методы измерений гармоник, фликера и других характеристик напряжения питания. Европейский комитет по стандартизации в области электротехники и электроники CENELEC принял аналогичные стандарты – они

Таблица 1. Базовые стандарты ЭМС

Международный стандарт	Европейский стандарт	ГОСТ	Описание
IEC 61000-4-1	EN 61000-4-1	ГОСТ Р 51317.4.1-2000	Общие замечания по испытаниям на помехоустойчивость
IEC 61000-4-2	EN 61000-4-2	ГОСТ Р 51317.4.2-99	Устойчивость к электростатическим разрядам
IEC 61000-4-3	EN 61000-4-3	ГОСТ Р 51317.4.3-99	Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю
IEC 61000-4-4	EN 61000-4-4	ГОСТ Р 51317.4.4-99	Устойчивость к наносекундным импульсным помехам
IEC 61000-4-5	EN 61000-4-5	ГОСТ Р 51317.4.5-99	Устойчивость к импульсным помехам большой энергии
IEC 61000-4-6	EN 61000-4-6	ГОСТ Р 51317.4.6-99	Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенных радиочастотными электромагнитными полями
IEC 61000-4-8	EN 61000-4-8	ГОСТ Р 50648-94	Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты
IEC 61000-4-9	EN 61000-4-9	ГОСТ Р 51317.4.2-99	Устойчивость к импульсному магнитному полю
IEC 61000-4-10	EN 61000-4-10	ГОСТ Р 51317.4.2-99	Устойчивость к затухающему колебательному магнитному полю
IEC 61000-4-11	EN 61000-4-11	ГОСТ Р 51317.4.11-99	Устойчивость к динамическим изменениям переменного напряжения питания (снижению, пербоям) в сетях переменного тока
IEC 61000-4-12	EN 61000-4-12	ГОСТ Р 51317.4.12-99	Устойчивость к колебательным затухающим помехам
IEC 61000-4-13	EN 61000-4-13	ГОСТ Р 51317.4.13-2006	Устойчивость к искажениям синусоидальности напряжения питания
IEC 61000-4-14	EN 61000-4-14	ГОСТ Р 51317.4.14-2000	Устойчивость к колебаниям напряжения питания
IEC 61000-4-16	EN 61000-4-16	ГОСТ Р 51317.4.16-2000	Устойчивость к кондуктивным помехам в диапазоне частот 0-150KHz
IEC 61000-4-17	EN 61000-4-17	ГОСТ Р 51317.4.17-2000	Устойчивость к пульсациям напряжения питания в сетях постоянного тока
IEC 61000-4-27	EN 61000-4-27	–	Устойчивость к несимметричному напряжению
IEC 61000-4-28	EN 61000-4-28	ГОСТ Р 51317.4.28-2000	Устойчивость к изменениям частоты питающего напряжения
IEC 61000-4-29	EN 61000-4-29	–	Устойчивость к динамическим изменениям напряжения питания в сетях постоянного тока

Таблица 2. Общие стандарты ЭМС

Международный стандарт	Европейский стандарт	ГОСТ	Описание
IEC61000-6-1	EN61000-6-1	ГОСТ Р 51317.6.1-2006	Устойчивость к электромагнитным помехам для технических средств, применяемых в жилой, торговой и промышленной средах
IEC61000-6-2	EN61000-6-2	ГОСТ Р 51317.6.2-2007	Устойчивость к электромагнитным помехам для технических средств, применяемых в промышленных зонах
IEC61000-6-3	EN61000-6-3	ГОСТ Р 51317.6.3-2009	Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в жилой, торговой и промышленной средах
IEC61000-6-4	EN61000-6-4	ГОСТ Р 51317.6.4-99	Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в промышленных зонах

имеют такой же номер, но отличаются префиксом EN. Российские стандарты ГОСТ также соответствуют международным (см. табл.1-3).

Для испытаний на устойчивость к колебаниям напряжения наиболее важны стандарты МЭК 61000-4-11 и МЭК 61000-4-13. Нормы ограничения воздействия собственных помех устройства заданы в стандартах МЭК 61000-3-2 и МЭК 61000-3-3. Спецификации МЭК постоянно обновляются и совершенствуются [1].

**ПОМЕХИ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**

Существуют три пути воздействия помех на источники вторичного питания:

- гальваническая связь через паразитные (нежелательные) цепи;
- индуктивная связь (трансформаторный эффект);
- излучение.

Гальваническая связь возникает при непосредственном контакте источника и приемника помех. Это могут быть как проводники, кабели и прочие линии передач, так и корпуса, и элементы конструкции устройства. На двух проводниках такие помехи могут быть и дифференциальными, и синфазными.

Дифференциальные помехи возникают из-за дифференциальных токов в паре проводов, когда ток покидает источник по одной линии и возвращается по другой (рис.1а). Дифференциальные токи протекают между ИИВП и его источником или нагрузкой через выводы питания.

На земляной шине дифференциальные токи отсутствуют. Частота помех этого рода обычно не превышает 5 МГц.

Синфазные помехи возникают, если шумовой ток течет вдоль обеих линий в одном и том же направлении и попадает через паразитные цепи на системную земляную шину (рис.1б). Во многих случаях синфазные помехи поступают через паразитные емкости в схеме. Синфазный ток течет в одном направлении от ИИВП через вход питания и возвращается обратно к источнику по земле. Кроме того, синфазные токи могут передаваться через емкость между корпусом и землей. Частота этих помех в большинстве случаев превышает 5 МГц.

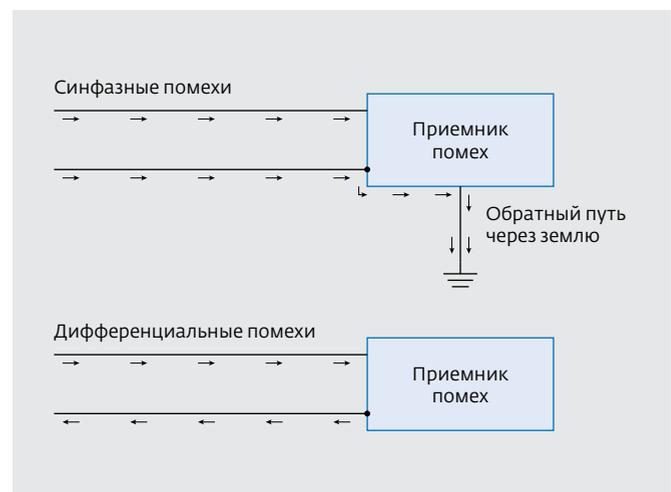


Рис.1. Дифференциальные (а) и синфазные (б) помехи



Таблица 3. Стандарты для конкретных видов продукции

Международный стандарт	Европейский стандарт	ГОСТ	Описание
CISPR 11	EN55011	ГОСТ Р 51318.11–2001	Радиопомехи от промышленных, научных, медицинских и бытовых высокочастотных устройств
CISPR 12	EN55012	ГОСТ Р 51318.12–2001	Радиопомехи от систем искрового зажигания двигателей внутреннего сгорания транспортных средств и судов
CISPR 13	EN55013	–	Радиопомехи от теле- и радиоприемников и связанного с ними оборудования
CISPR 14–1	EN55014–1	–	Требования к бытовым электроприборам, электроинструментам и аналогичным устройствам – излучение помех
CISPR 14–2	EN55014–2	–	Требования к бытовым электроприборам, электроинструментам и аналогичным устройствам – помехоустойчивость
CISPR 15	EN55015	–	Радиопомехи от осветительного и аналогичного электрического оборудования
CISPR 17	EN55017	–	Подавление помех фильтрующими пассивными устройствами для обеспечения ЭМС
CISPR 18	EN55018	–	Радиопомехи от воздушных линий электропередачи и силовых цепей
CISPR 20	EN55020	–	Помехоустойчивость радио- и телевизионных приемников и аналогичных устройств
CISPR 22	EN55022	–	Помехи от оборудования информационных технологий
CISPR 24	EN55024	–	Помехоустойчивость оборудования информационных технологий
CISPR 25	EN55025	–	Характеристики радиопомех для защиты приемных устройств, применяемых на автотранспорте, судах и т.д.

Индуктивная связь (в результате магнитной или электрической индукции) возникает там, где источник помех и приемник находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Если проводник создает переменное электрическое поле, вызывающее на соседнем проводнике изменение напряжения, возникает емкостная связь; если же проводник порождает переменное магнитное поле, вызывающее изменение напряжения на параллельном с ним проводнике, возникает магнитная связь. Индуктивная паразитная связь – наиболее редко встречающаяся причина

распространения помех. Если же источник помех работает как радиоантенна, излучая электромагнитную волну, которая распространяется в пространстве и воздействует на приемники помех, возникает связь посредством излучения [2].

#### ФИЛЬТРАЦИЯ ПОМЕХ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ

При проектировании цепей питания следует иметь в виду, что подходы к фильтрации синфазных и противофазных помех различны. Дифференциальные помехи в большинстве случаев устраняются включением шунтирующего



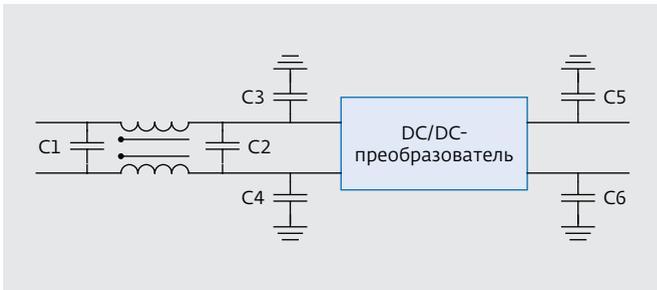


Рис.2. Типовая схема фильтрации для ИИВП

конденсатора во входную или выходную линию ИИВП. Для достижения максимальной эффективности фильтрации конденсаторы желательно располагать как можно ближе к источнику помех. Особенно это важно в случае высокочастотного дифференциального шума.

Для фильтрации дифференциальных помех на низковольтных выходах ИИВП подходят керамические конденсаторы емкостью до 22 мкФ. Однако на входах источников могут быть выбросы напряжения до 100 В, поэтому в этих случаях применяются электролитические конденсаторы с требуемым максимальным напряжением. Электролитические конденсаторы относительно большой емкости также применяются для ослабления низкочастотных помех вблизи основной частоты переключения преобразователя ИИВП. Таким образом, входные фильтры дифференциальных помех обычно

состоят из двух конденсаторов – электролитического и керамического, что позволяет ослаблять помехи и на низкой основной частоте переключения, и на более высоких гармониках. Для дополнительного ослабления помех в фильтруемую цепь включается индуктивность, которая вместе с конденсатором образует LC-фильтр низких частот.

Синфазные помехи эффективно подавляются с помощью конденсаторов, включенных между каждой силовой линией ИИВП и землей. Дополнительно синфазные помехи подавляются сдвоенными дросселями, включенными последовательно с входами ИИВП (рис.2). Высокий импеданс дросселей к синфазным токам преграждает путь помехам, передавая их через шунтирующие конденсаторы на землю. Выбирая сдвоенный дроссель, необходимо иметь в виду, что материал сердечника влияет на импеданс дросселя для различных частот. Даже при одинаковой номинальной индуктивности наибольшие значения сопротивления для дросселей с сердечниками из разных сплавов находятся в разных частотных диапазонах (рис.3).

Для предохранения ИИВП от мощных импульсных помех рекомендуется устанавливать на вход источника ограничитель импульсов напряжения – газоразрядные лампы, варисторы или супрессоры (полупроводниковые ограничители, или TVS-диоды). Ограничитель должен устанавливаться строго на входе фильтра, в противном случае при

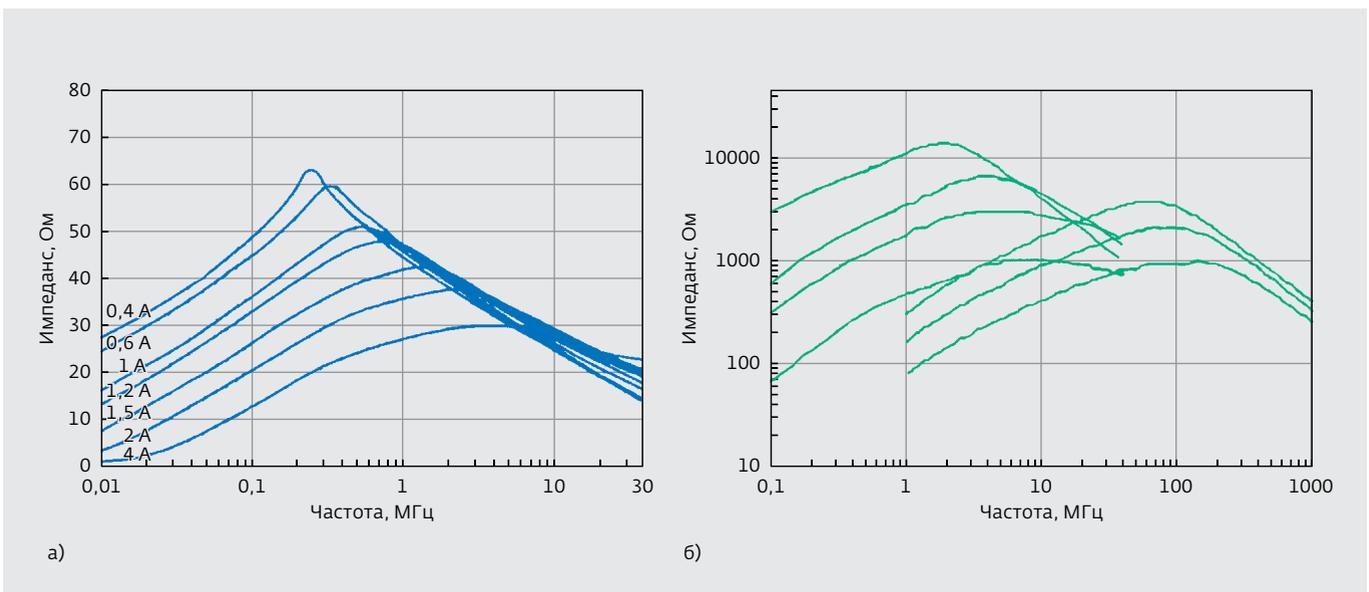
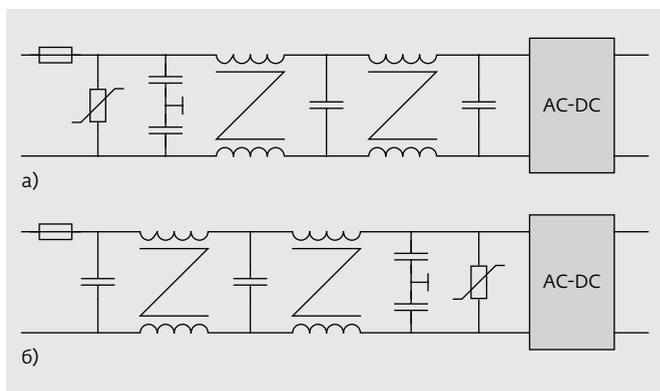


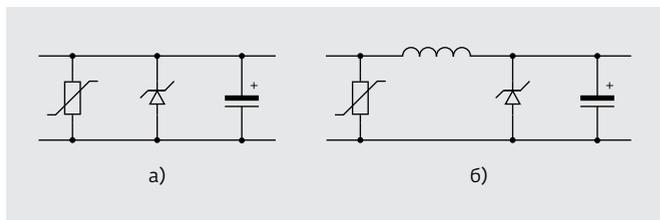
Рис.3. Зависимость сопротивления дросселей с сердечниками из марганец-цинкового (а) и никель-цинкового (б) сплавов от частоты



**Рис.4.** Правильное (а) и неправильное (б) размещение варистора в схеме

перенапряжении возможно повреждение элементов фильтра и печатной платы (рис.4-5).

Каждый из видов ограничителей имеет свои особенности и область применения (табл.4). При особых требованиях к емкости перехода применяют газоразрядные лампы. У супрессоров низкий ток утечки, однако они не рассчитаны на высокие напряжения. Варисторы обладают наиболее универсальными характеристиками, поэтому применяются чаще всего. Выбирая варистор, следует иметь в виду, что под действием рабочего напряжения они подвержены деградации



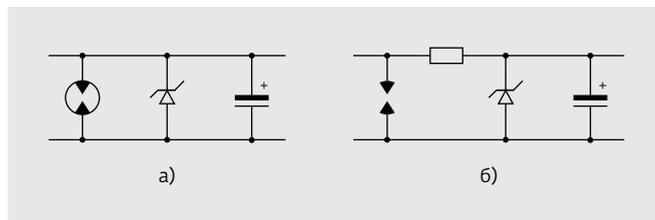
**Рис.6.** Схемы ограничителя с варистором и супрессором: неправильная (а); правильная (б)



**Рис.5.** Повреждение платы в результате перенапряжения из-за ошибки в схеме

("старению"), поэтому следует предусмотреть как минимум трехкратный запас по току.

У разработчика может возникнуть соблазн применить в защищаемой схеме параллельно включенные варистор и супрессор, получив тем самым двойное преимущество – по максимальному току и скорости срабатывания. Однако в схеме на рис.6а при появлении помехи всегда будет срабатывать только супрессор. Открываясь и поглощая помеху, он не будет позволять срабатывать варистору. Правильное решение показано на рис.6б: между варистором и супрессором



**Рис.7.** Схема ограничителя с газоразрядной лампой и супрессором

**Таблица 4.** Характеристики различных ограничителей напряжения

Параметр	Газоразрядная лампа	Варистор	Супрессор
Ток утечки	Минимум (пикоамперы)	Небольшой (микроамперы)	
Остаточное напряжение	Высокое при зажигании, низкое при ограничении	Низкое/среднее	Низкое
Ток	Большой (десятки килоампер)	Большой (порядка 10 кА)	Низкий (порядка 100 А)
Время отклика	Среднее/медленное (0,1–1мкс)	Относительно быстрое (<25 нс)	Быстрое (<1 нс)
Сопровождающий ток	Есть	Нет	
Пропускная емкость	Низкая (1 пФ)	Средняя/высокая (500 пФ)	Высокая (1000 пФ)
Характер потери свойств	Незамкнутая цепь	Короткое замыкание	

должна находиться индуктивность. В этом случае при появлении помех сначала срабатывает супрессор. Индуктивность не позволяет резко возрасти току, проходящему через него, поэтому напряжение на варисторе остается достаточно высоким для его срабатывания в течение необходимого для этого времени. Основная энергия помехи ограничивается, таким образом, варистором. Аналогично строится ограничитель с газоразрядной лампой и супрессором, но вместо индуктивности необходимо установить резистор (рис.7).

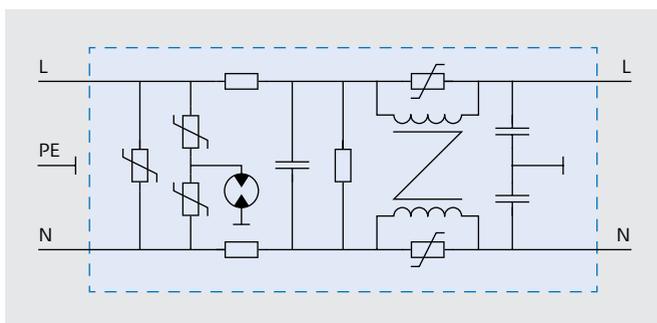
**ПОДАВЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ПОМЕХ ИИВП**

Для подавления помех, генерируемых самим источником, подходят решения, аналогичные уже описанным (см. рис.2). Стоит помнить общее

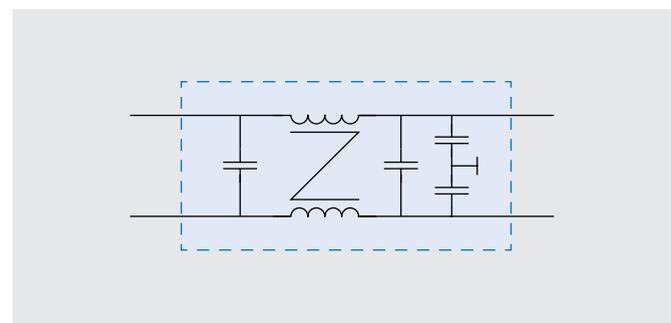
правило фильтрации помех: конденсаторы необходимо устанавливать как можно ближе к источнику помех, в данном случае – к выходу ИИВП. Для снижения индуктивного влияния линий питания на сигнальные цепи необходимо стремиться к уменьшению длин печатных проводников и располагать их как можно дальше друг от друга. Емкостная связь минимизируется при перпендикулярном размещении проводников в смежных слоях платы.

Гальваническая связь может возникнуть через внутренние сопротивления сетевых линий и системы обратных (заземленных) проводников. Минимизировать эту связь можно следующими мерами:

- уменьшением длин проводников и увеличением площади их сечения;



**Рис.8.** Устройство защиты от перенапряжения серии FC-L



**Рис.9.** Фильтр помех от ИИВП серии FI-B



**ТОЧНОСТЬ  
РЕШАЕТ ВСЁ**

**15:00**

**15 лет на рынке**

Инерциальные датчики  
Электронные компоненты  
Импульсные источники питания  
Прецизионные электроприводы

**(812) 702-10-01**

[sales@aviton.spb.ru](mailto:sales@aviton.spb.ru)

**[www.aviton.spb.ru](http://www.aviton.spb.ru)**

[авитон-спб.рф](mailto:авитон-спб.рф)



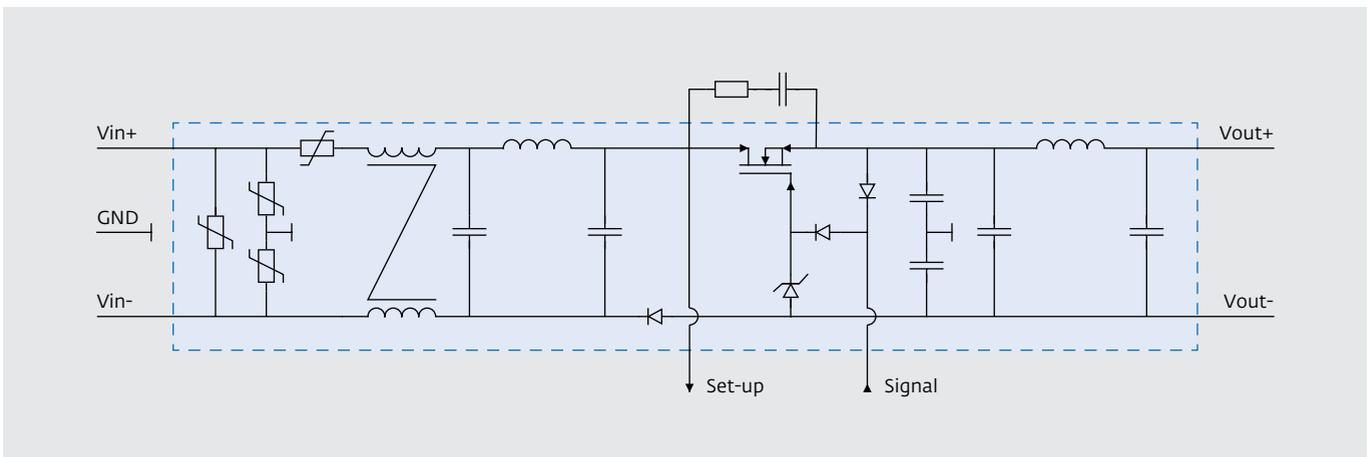


Рис.10. Защитный фильтр серии FC-A

- отказом от общих для нескольких питаемых устройств обратных проводников;
- устранением любых гальванических контактов между контурами, которые связаны функционально, но не обмениваются данными [3].

Для снижения индуктивности шины питания могут иметь вид решетчатых структур, покрывающих максимально возможную площадь платы. Подключение внешних шин питания и земли через разъемы должно выполняться через несколько контактов, расположенных равномерно по длине разъема таким образом, чтобы вход в шины питания осуществлялся сразу в нескольких точках [4].

Помехи может излучать антенный контур, состоящий из силовой и земляной шин. Чтобы снизить это излучение, следует стремиться к минимизации площади петли, прокладывая шины как можно ближе друг к другу, либо же размещать шины на соседних слоях платы одну под другой. Земляные полигоны, расположенные на свободных местах печатной платы, значительно уменьшают излучаемые электромагнитные помехи.

### МОДУЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Производители электронных компонентов предлагают различные интегрированные решения для обеспечения ЭМС. В ассортименте продукции компании Mornsun, которая известна в первую очередь как производитель модульных источников питания, имеются компоненты для обеспечения ЭМС, объединяющие описанные в предыдущем разделе решения. Серия фильтров Mornsun FC-L01D (рис.8) предназначена для защиты AC/DC-преобразователей

от перенапряжения. Эти фильтры выпускаются в исполнениях для монтажа на печатные платы, корпуса и DIN-рейки. Самые мощные приборы из этой серии предохраняют от превышения напряжения до 4–6 кВ.

Фильтры FC-C(X)01D соответствуют требованиям стандартов IEC/EN61000-4 и CISPR22/EN55022, а также стандартам железнодорожной промышленности RIA 12, IEC 571, EN50155 и TB/T3021-2001. Эти фильтры имеют защиту от обратной полярности. Модульный фильтр FI-B03D (рис.9) предназначен для подавления помех от ИИВП мощностью до 20 Вт. Устройства FC-A01D (рис.10) предохраняют ИИВП от высокочастотных импульсов и мощных помех во входной сети. Максимально возможное подавление помех – до 30 дБ [5].

Применение модульных защитных устройств и фильтров существенно упрощает проектирование и сборку устройства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Тернер Э., Подолько А.** Испытания на ЭМС: стандарты и их применение. – Электроника: НТБ, 2011, №4, с.88.
2. **Don Li, Jeff Schnabel.** Electromagnetic Compatibility Considerations for Switched Mode Power Supplies. Characterization of the EMI problem requires understanding the interference source. – www.cui.com/catalog/resource/1343
3. Учебник по электромагнитным помехам. – dfe3300.karelia.ru/koi/posob/electro/part4.htm
4. **Шевкопляс Б.В.** Микропроцессорные структуры. Инженерные решения. – М.: Радио, 1990.
5. Product catalogue 2013. – Mornsun Guangzhou Science & technology Co., Ltd, www.mornsun-power.com