

Обеспечение качества энергоснабжения импульсных нагрузок. Практические решения

Олег Негреба (г. Воронеж)

В статье освещена проблематика качественного энергоснабжения импульсных нагрузок и приведены практические примеры использования для этих целей унифицированных модульных источников электропитания радиоэлектронной аппаратуры с быстродействующей обратной связью.

Ряд областей применения современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) характеризуется ярко выраженным импульсным энергопотреблением. Так, например, энергопотребление современных высокопроизводитель-



Рис. 1. Внешний вид модулей «КМС»

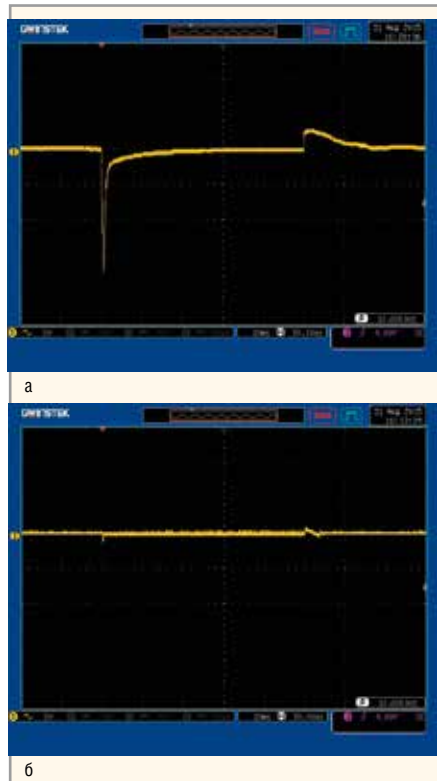


Рис. 2. Осциллограммы переходного отклонения выходного напряжения неспециализированного модуля (а) и модуля «КМС» (б) с выходным напряжением 50 В при воздействии скачкообразного сброса/наброса мощности нагрузки в диапазоне от нуля до 100%

ных процессорных устройств напрямую зависит от динамической загрузки процессора и может меняться в очень широком диапазоне за короткие промежутки времени. Также и приёмопередающая аппаратура в режиме передачи потребляет максимальную мощность, тогда как в режиме приёма её энергопотребление стремится к холостому ходу.

Такая динамика нагрузки предъявляет к источникам электропитания достаточно жёсткие требования по качеству их выходного напряжения при скачкообразном изменении выходного тока. Ограниченное быстродействие обратной связи по напряжению у источников электропитания требует установки между ними и динамической нагрузкой ёмкостных накопителей энергии [1]. При этом наблюдается однозначная зависимость между динамическими характеристиками источника и величиной необходимого ёмкостного накопителя. Очевидно, что медленная обратная связь требует большего ёмкостного накопителя и увеличивает массогабаритные показатели всей системы электропитания.

Тенденция к миниатюризации РЭА обуславливает необходимость повышения быстродействия источников электропитания, чтобы максимально снизить объём ёмкостных накопителей энергии при сохранении высокого качества энергоснабжения нагрузки.

Для решения этих вопросов компанией ООО «КВ Системы» [2] были разработаны и освоены в серийном производстве модульные изолированные источники электропитания «КМС» [3] (далее – модули), позволяющие за счёт очень высокого быстродействия обратной связи по напряжению уменьшить количество, а во многих случаях и полностью исключить накопители энергии, улучшив при этом массогабаритные показатели системы электропитания.

Внешний вид модулей «КМС» представлен на рисунке 1.

Основные характеристики модулей «КМС»:

- категория качества «ВП» (приёмка «5»);
- 20 лет гарантии;
- выходная мощность 170 Вт, 340 Вт, 500 Вт;
- выходное напряжение от 8 до 68 В;
- выходной ток до 30 А;
- входное напряжение – 10,5...13,5 В, 22...33 В, 44...66 В, 99...121 В, 270...330 В, 342...418 В;
- частота преобразования 470...530 кГц, внешняя синхронизация;
- типовой КПД 90...92%;
- рабочая температура корпуса –60...+125°C;
- габаритные размеры без учёта фланцев и выводов 105,1 × 38,0 × 12,85 мм.

Качество выходного напряжения модулей «КМС» при работе на импульсную нагрузку можно наглядно оценить по осциллограммам переходного отклонения выходного напряжения при воздействии скачкообразного изменения мощности нагрузки.

На рисунке 2 приведены осциллограммы выходного напряжения неспециализированного модульного источника электропитания (а) в сравнении с аналогичным модулем КМС340Ф50 (б) в моменты сброса/наброса мощности нагрузки в диапазоне от нуля до максимума. (Масштаб: по вертикали 5 В/дел, по горизонтали – 10 мс/дел. Переходное отклонение выходного напряжения неспециализированного модуля: +5% / –35%. Переходное отклонение выходного напряжения модуля КМС340Ф50: ±2,4%.)

Приведённые осциллограммы показывают, что в одних и тех же условиях величина переходного отклонения выходного напряжения при набросе мощности нагрузки у 340-ваттного модуля КМС340Ф50 примерно в пятнадцать раз меньше, чем у аналогичного неспециализированного модуля, поскольку время отклика обратной связи по напряжению модулей «КМС» составляет менее 100 мкс (см. рис. 3). (Масштаб на рисунке 3: по вертикали 0,5 В/дел, по горизонтали – 100 мкс/дел.)

МИНИАТЮРНЫЕ ИЗОЛИРОВАННЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЕРИИ КМН

- ◀ Выходная мощность 2, 3, 5, 10 Вт
- ◀ Выходной ток до 2 А
- ◀ Входное напряжение 4,5...9 В; 9...18 В; 18...36 В; 36...75 В
- ◀ Рабочий температурный диапазон среды -60°C... +85°C
- ◀ Компактный размер в форм-факторе SIP

**ООО «КВ Системы», Россия, г. Воронеж, ул. Дружинников, 5Б
Тел.: +7 (473) 200-87-75, kwsystems.ru, info@kwsystems.ru**

21-23 октября ждем Вас на выставке «РАДЭЛ»
Санкт-Петербург, Петербургский СКК, стенд E2.4

Для бесплатного посещения выставки предлагаем зарегистрироваться
на сайте www.farexpo.ru/radel/exhibition/about/ или считать QR-код



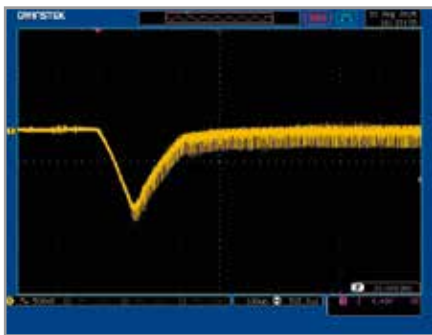


Рис. 3. Осциллограмма переходного отклонения выходного напряжения модуля КМС340Ф50 при набросе мощности нагрузки в диапазоне от нуля до 340 Вт

Первоначально модули «КМС» создавались для энергоснабжения приёмопередающих модулей (ППМ) активных фазированных антенных решёток (АФАР), однако достигнутые характеристики сделали их востребованными и для других систем электропитания с импульсным характером нагрузки.

Модули «КМС» оптимизированы для применения в полностью децентрализованных системах электропитания, пример структуры которых приведён на рисунке 4.

Децентрализация энергоснабжения, когда электропитание каждого потребителя осуществляется от своего относительно маломощного источника питания, который, в свою очередь, питается непосредственно от бортсети, генератора или другого источника входного напряжения, обеспечивает наибольшую надёжность системы в целом [4, 5]. Если на входе каждого модуля «КМС» установить плавкий предохранитель, то неисправная ячейка будет автоматически отключена от входной сети в случае её выхода из строя. Таким образом, выход из строя одной ячейки или её источника питания никак не отразится на работоспособности других потребителей и не приведёт к выходу из строя всей системы [4]. За счёт такой децентрализации РЭА приобретает максимальную неуязвимость, в отличие от централизованной системы, в которой надёжность всей системы связана с надёжностью одного мощного источника, питающего всех потребителей.

Кроме того, централизация энергоснабжения обычно приводит к большому падению напряжения на соединительных цепях, связанному с передачей большей мощности по входу и с большей удалённостью потребителей по выходу, что обуславливает необходи-

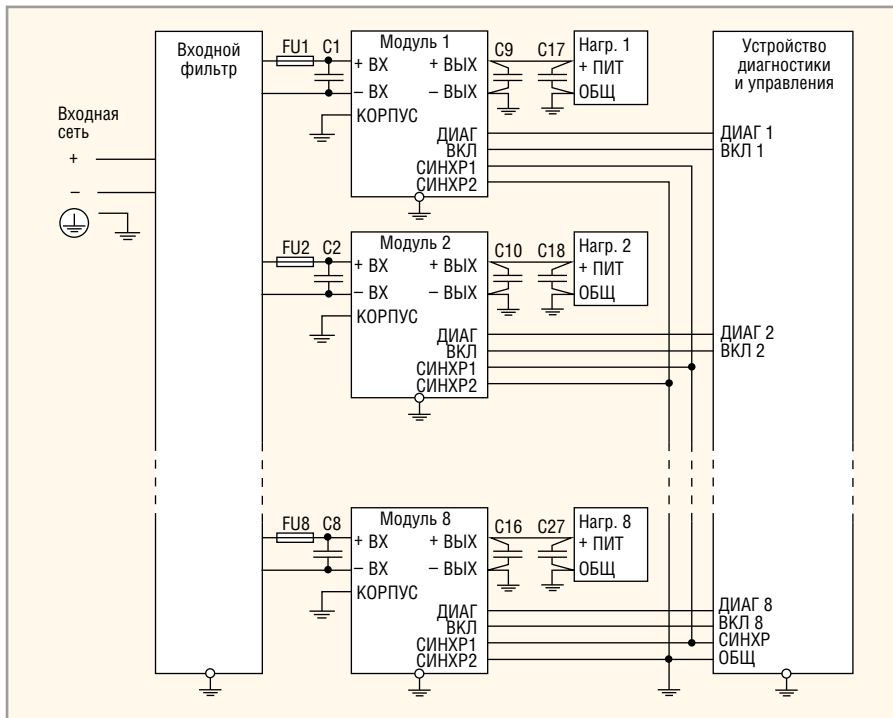


Рис. 4. Пример реализации децентрализованной системы электропитания с гальванически связанными выходными напряжениями

мость использования цепей питания большего сечения.

В децентрализованной системе питания передаются меньшие мощности, а сами источники питания могут быть размещены на близком расстоянии от своих потребителей, минимизируя динамические нестабильности напряжения.

Другим преимуществом источников питания для построения децентрализованных систем является их унификация – возможность применения в системах электропитания другой аппаратуры, что отличает их от мощных источников, которые обычно уникальны и пригодны только для одного конкретного исполнения аппаратуры.

Модули «КМС» разработаны с учётом того, что их номинальный выходной ток будет превышать импульсный ток питаемой нагрузки, и обеспечит её полноценное энергоснабжение в течение всего рабочего импульса. В этом случае характерный «скол» выходного напряжения к концу рабочего импульса полностью отсутствует.

Это качество, во-первых, позволяет отказаться от громоздких ёмкостных накопителей энергии для питания нагрузки в течение всего импульса энергопотребления, оставив лишь минимальную ёмкость для обеспечения требуемого качества напряжения во время переходного процесса на фронте и спаде импульса нагрузки.

Во-вторых, поскольку режим номинальной мощности преобразователя соответствует его максимальному КПД, минимизируются тепловые потери всей системы электропитания.

В-третьих, в случае использования модулей для электропитания ППМ АФАР, у которых типовая скважность импульсов обычно составляет не менее 5, обеспечивается комфортный тепловой режим самого модуля.

Наличие гальванически развязанного дифференциального входа синхронизации позволяет синхронизировать частоту преобразования нескольких совместно работающих модулей и обеспечить надёжную аппаратную или программную фильтрацию электромагнитных помех преобразователей.

Модули «КМС» способны работать на частоте преобразования 470-530 кГц. Высокая частота преобразования не только положительно сказывается на массогабаритных характеристиках модуля, но и позволяет развести по разным диапазонам рабочую частотную область аппаратуры ППМ АФАР и коммутационных помех модуля.

При небольших габаритах выходная мощность модулей достигает 500 Вт, они сохраняют работоспособность в диапазоне температур корпуса –60...+125°С.

Модули имеют функцию выключения по команде и обладают комплексом защит от перегрузки по току,

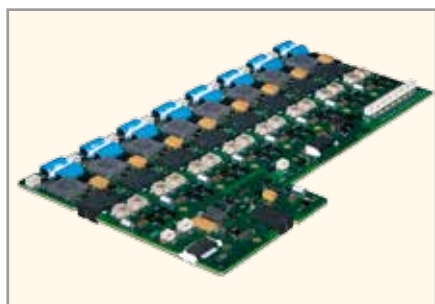


Рис. 5. Система электропитания, построенная на основе модулей «КМС»

короткого замыкания, перенапряжения по выходу, а также имеют сервисную функцию диагностики выходного напряжения.

Полимерная герметизирующая заливка обеспечивает надёжную защиту от внешних воздействующих факторов и исключает повреждение модуля в условиях вибрации или попадания грязи, влаги или соляного тумана.

Модули могут поставляться с различными вариантами реализации входных, выходных и сервисных контактов, например, с аксиальным или радиальным расположением штыревых выводов, с ножевыми контактами, гибкими монтажными выводами, клеммными колодками.

По индивидуальному заказу унифицированные модули «КМС» могут быть реализованы на одной печатной плате совместно со схемой диагностики и управления в необходимом потребителю конструктиве. На рисунке 5 приведён пример такой многоканальной системы электропитания суммарной мощностью каналов почти 1500 Вт.

Надёжность работы модулей «КМС» в условиях воздействия неблагоприятных внешних факторов обеспечена использованием в их конструкции электронных компонентов с высокими значениями времени минимальной наработки, а также применением эффективной запатентованной системы отвода тепла.

В связи с тем, что модули «КМС» обеспечивают полноценное энергоснабжение нагрузки в течение всего рабочего импульса и не требуют для своей работы существенных накопителей энергии, потребляемый ими из сети ток носит явно выраженный импульсный характер, что допустимо не для всех приложений.

В качестве примера на рисунке 6 показано, что в рассматриваемом случае входная сеть должна быть рассчитана минимум на полтора киловатта

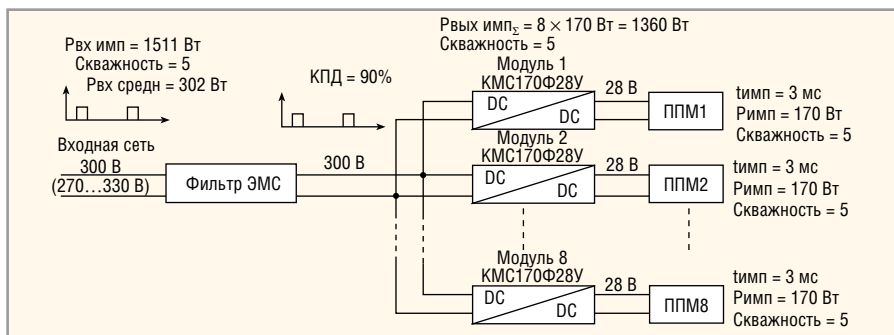


Рис. 6. Характер мощности, потребляемой модулями «КМС» от входной сети

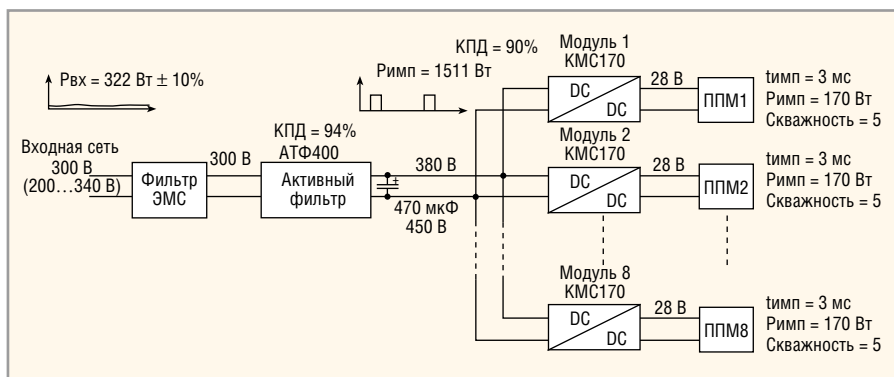


Рис. 7. Активная фильтрация импульсного тока

мощности, тогда как средняя потребляемая от неё мощность составляет около 300 Вт.

Конечно, если входная сеть обладает таким потенциалом, то проблем обычно не возникает, но если её мощность ограничена и не позволяет питать нагрузку полноценной импульсной мощностью, то в этом случае приходится применять специальные меры по приведению импульсного потребляемого тока к постоянному с некоторой допустимой пульсацией.

Во время импульса нагрузки такое устройство должно ограничивать потребляемый из входной сети ток, но в то же время питать нагрузку требуемой импульсной мощностью, а во время паузы должно восполнять от сети разницу между отданной и потреблённой мощностью. Очевидно, что это устройство, функционально представляющее собой фильтр тока, должно являться накопителем энергии.

Применение пассивных индуктивных или ёмкостных накопителей энергии почти всегда сопряжено с неприемлемыми массогабаритными и стоимостными показателями, поэтому наиболее оптимальным вариантом является использование в качестве токового фильтра высокочастотного преобразователя напряжения без гальванической развязки с фильтрующим конденсатором на выхо-

де. Причём рациональнее использовать повышающие, а не понижающие преобразователи, поскольку обычно энергетически выгоднее накапливать энергию при более высоком напряжении, так как накапливаемая в конденсаторе энергия пропорциональна квадрату напряжения ($E = CU^2 / 2$). Таким образом, требование по приведению импульсной мощности нагрузки к средней мощности, потребляемой от входной сети, приводит к системе электропитания, схема которой показана на рисунке 7.

В рассмотренном типе систем электропитания предлагается использовать 200-ваттные и 400-ваттные активные токовые фильтры серии «АТФ» [6]. Данные фильтры реализованы в том же конструктиве, что и модули «КМС» и гармонично с ними сопрягаются. Краткие характеристики активных токовых фильтров «АТФ»:

- мощностной ряд: 200 Вт, 400 Вт;
- диапазон входного напряжения: 9...18 В, 18...36 В, 36...72 В, 200...340 В;
- выходное напряжение: 24 В, 60 В, 96 В, 380 В;
- температурный диапазон: -60...+125°C;
- частота преобразования: 470...530 кГц;
- габаритные размеры без учёта фланцев и выводов 105,1 × 38 × 12,85 мм.

В фильтрах «АТФ» также реализована возможность внешней синхронизации частотой от 470 до 530 кГц, что

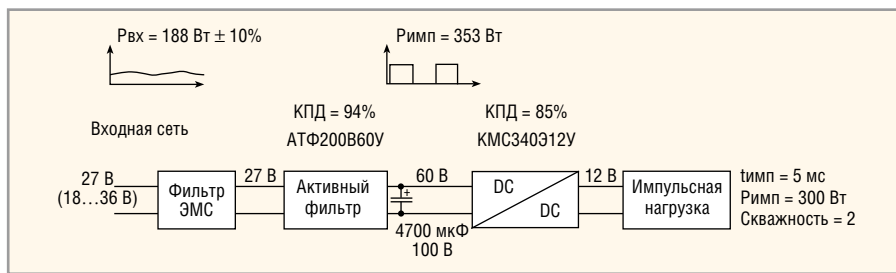


Рис. 8. Электропитание произвольного 12-вольтового импульсного потребителя от бортовой сети 27 В без существенной импульсной нагрузки на входную сеть

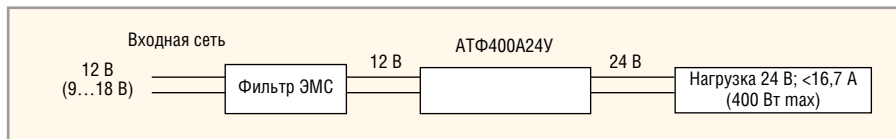


Рис. 9. Использование фильтра «АТФ» в качестве обычного повышающего преобразователя без гальванической развязки

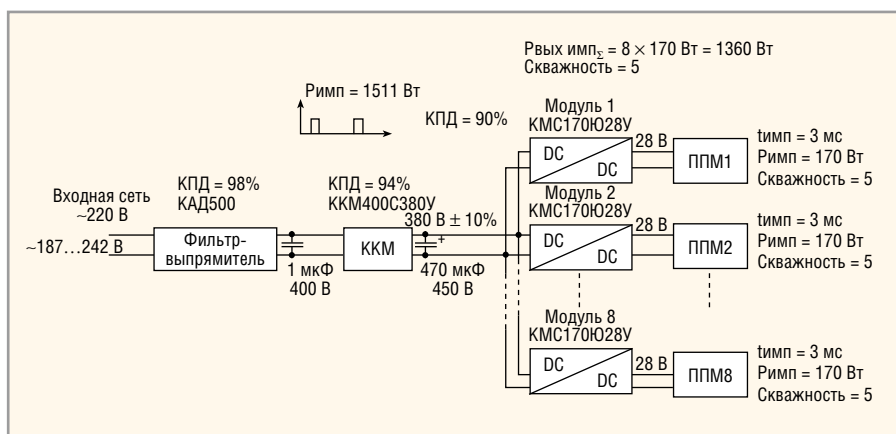


Рис. 10. Система электропитания восьми ППМ АФАР от сети переменного тока без импульсной нагрузки на входную сеть

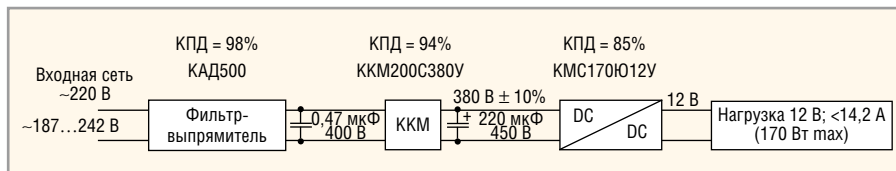


Рис. 11. Электропитание произвольного 12-вольтового потребителя от сети электропитания переменного тока 220 В с коррекцией коэффициента мощности

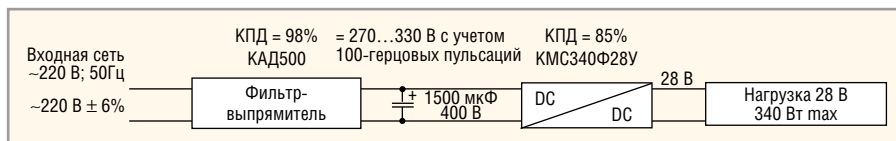


Рис. 12. Реализация AC/DC-преобразователя без коррекции коэффициента мощности



Рис. 13. Низкопрофильная ($h = 16,5\text{ мм}$) AC/DC-система электропитания мощностью 340 Вт, построенная из унифицированных модулей

позволяет синхронизировать рабочую частоту всех преобразователей напряжения системы электропитания. За счёт того, что входное напряжение «АТФ» может меняться в широком диапазоне, его можно использовать также и в качестве нормализатора входной сети.

На рисунках 8 и 9 приведены ещё два примера использования модулей «КМС» и активных токовых фильтров «АТФ» в сетях электропитания постоянного тока.

Для использования модулей «КМС» в сетях электропитания переменного тока возможно применить фильтр-выпрямитель «КАД500» [7] и модульные корректоры коэффициента мощности серии «ККМ» мощностью 200 и 400 Вт [8].

Несколько примеров реализации AC/DC-систем электропитания РЭА на основе унифицированных модулей производства ООО «КВ Системы» приведены на рисунках 10–13.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в обзоре продукция предназначена для модульного построения систем электропитания импульсных нагрузок. Электрические и массогабаритные характеристики модулей «КМС» позволяют реализовать компактные децентрализованные системы электропитания без использования существенных ёмкостных накопителей энергии.

Для сглаживания импульсов тока, потребляемого системой электропитания при работе на импульсную нагрузку, предусмотрено использование активных токовых фильтров серии «АТФ», а для построения систем электропитания, питающихся от входной сети переменного тока – использование модульных фильтров-выпрямителей и корректоров коэффициента мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morrison David. Modeling DC-DC Converter Transient Response. Power Electronics Technology. August 2004.
2. ООО «КВ Системы». Официальный сайт. www.kvsystems.ru.
3. DC/DC-преобразователи напряжения производства компании «КВ Системы». www.kvsystems.ru/#!dcdc/c1cfr.
4. Лукшн А.В. Распределённые системы электропитания. Электронные компоненты. 1997. №7.
5. Кушнерев Н.А., Шумов М.А. Система электропитания активных фазированных антенных решёток. Радиотехника. 2007. №12.
6. Повышающий неизолированный DC/DC-преобразователь серии «АТФ». www.kvsystems.ru/#!atf/cgd7.
7. AC/DC-источники вторичного электропитания производства компании «КВ Системы». www.kvsystems.ru/#!acdc/c1smr.
8. Корректор коэффициента мощности серии «ККМ». www.kvsystems.ru/#!kkm/ca2h.