

ВЛИЯЕТ ЛИ ТИП ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА УРОВЕНЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ИЗОЛИРОВАННЫМИ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ?

DOES THE TYPE OF RECTIFIER AFFECT THE LEVEL OF EMI GENERATED BY ISOLATED DC/DC CONVERTERS?

В статье проведен сравнительный анализ эффективности и уровня помех, создаваемых изолированными DC/DC-преобразователями, при использовании в цепи нагрузки синхронных выпрямителей и выпрямителей, построенных на диодах. Показано, что тип выпрямителя практически не влияет уровень помех, а эффективность того или иного типа выпрямителя, зависит от тока нагрузки.

В. Макаренко

V. Makarenko

В работах [1-2] отмечается, что применение синхронных выпрямителей на МДП-транзисторах позволяет повысить КПД выпрямителей как в AC/DC-, так и в DC/DC-преобразователях. В [2] даже приведена эффективность применения синхронного выпрямителя совместно с синхронным повышающим контроллером TPS43061 в паре с силовым блоком CSD86330Q3D по сравнению с использованием несинхронного контроллера и диодов Шоттки. К сожалению, как в этих работах, так и в других отсутствует описание общих закономерностей при использовании синхронных выпрямителей. Как правило рекомендации ограничиваются советами использовать транзисторы с минимальным сопротивлением открытого канала исток-сток.

В работе [3] рекомендуется использовать синхронные выпрямители не только для повышения КПД, но и для снижения уровня кондуктивных электромагнитных помех, создаваемых DC/DC-преобразователями. Автор указывает, что в последние несколько лет в связи с использованием устройств быстрой зарядки с большой выходной мощностью, большинство производителей мобильных телефонов и смартфонов используют адаптеры питания с синхронными выпрямителями вместо диодов Шоттки во вторичной обмотке силового трансформатора.

Синхронные выпрямители используют полевые МОП-транзисторы для выпрямления выходного тока. Потери мощности на сопротивлении открытого МОП-транзистора прямо пропорционально его

Abstract - The article provides a comparative analysis of the efficiency and level of noise generated by isolated DC/DC converters when using synchronous rectifiers and rectifiers based on diodes in the load circuit. It is shown that the type of rectifier practically does not affect the level of interference, and the efficiency of one or another type of rectifier depends on the load current.

величине и току нагрузки. А сопротивление выпрямительных диодов Шоттки нелинейно зависит от тока нагрузки. В [3] приведены обобщенные зависимости падения напряжения на выпрямительном диоде и на сопротивлении открытого МОП-транзистора от тока нагрузки.

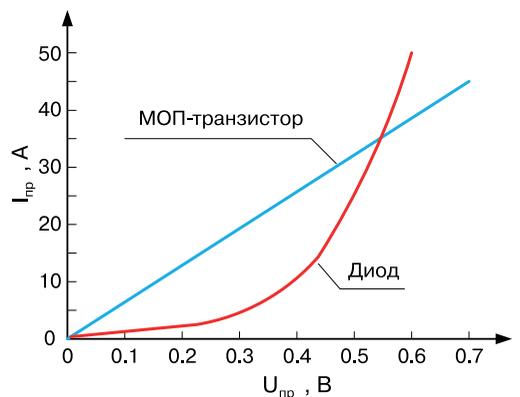


Рис. 1. Зависимости падения напряжения на выпрямительном диоде и на сопротивлении открытого МОП-транзистора от тока нагрузки

Приведенные на рис. 3 зависимости не очень схожи с реальными характеристиками диодов и транзисторов, что не позволяет оценить при каких токах нагрузки целесообразно использовать синхронные выпрямители для повышения эффективности преобразователей. Например, на рис. 2, приведены вольтамперные характеристики диода MBRS360 компании ON Semiconductor.

Сравнение характеристик на рис. 1 с характери-

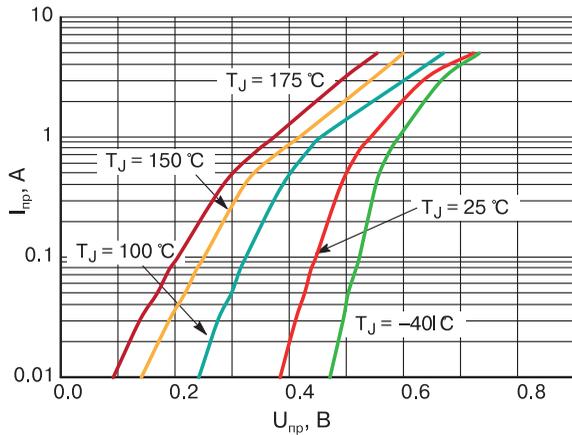


Рис. 2. Вольтамперные характеристики диода MBR360 при различных температурах корпуса

стикой реального диода Шоттки говорит о том, что опираться на графики на рис. 1 нецелесообразно из-за их значительного расхождения с характеристиками реальных диодов. Для оценки реальных параметров преобразователей целесообразно провести моделирование таких устройств с использованием различных типов выпрямителей.

Кроме того, особенно интересно утверждение автора [3] о том, что синхронные выпрямители обеспечивают более низкий уровень электромагнитных помех преобразователей по сравнению с использованием выпрямителей на диодах.

Для анализа уровня помех и КПД преобразователей воспользуемся моделью понижающего DC/DC-преобразователя в среде LTSpice, приведенную на рис. 3. Преобразователь обеспечивает выходное напряжение 12 В при заданных на схеме параметрах элементов.

Для анализа эффективности преобразователя введены директивы моделирования, приведенные ниже:

- pin:** $AVG(-i(v1)*v(in))$
- pout:** $AVG(i(rload)*v(out))$
- eff:** $pout/pin$

Коэффициент полезного действия **eff** определяется как отношение среднеквадратических значений выходной мощности **pout** к входной **pin**. Выходная мощность определяется как произведение среднеквадратических значений напряжения и тока источника питания V1 – $AVG(-i(v1)*v(in))$, а входная как произведение тока нагрузки на напряжение на сопротивлении нагрузки – $AVG(i(rload)*v(out))$.

Измерим спектр кондуктивных помех на входе преобразователя используя эквивалент сети AMN(LISN), состоящий из элементов L4, C11, C12, R11, R12 в соответствии со стандартом CISPR 25. На самом деле для сравнительного анализа спектров помех совершенной неважно какой эквивалент сети используется поскольку измерения для выпря-

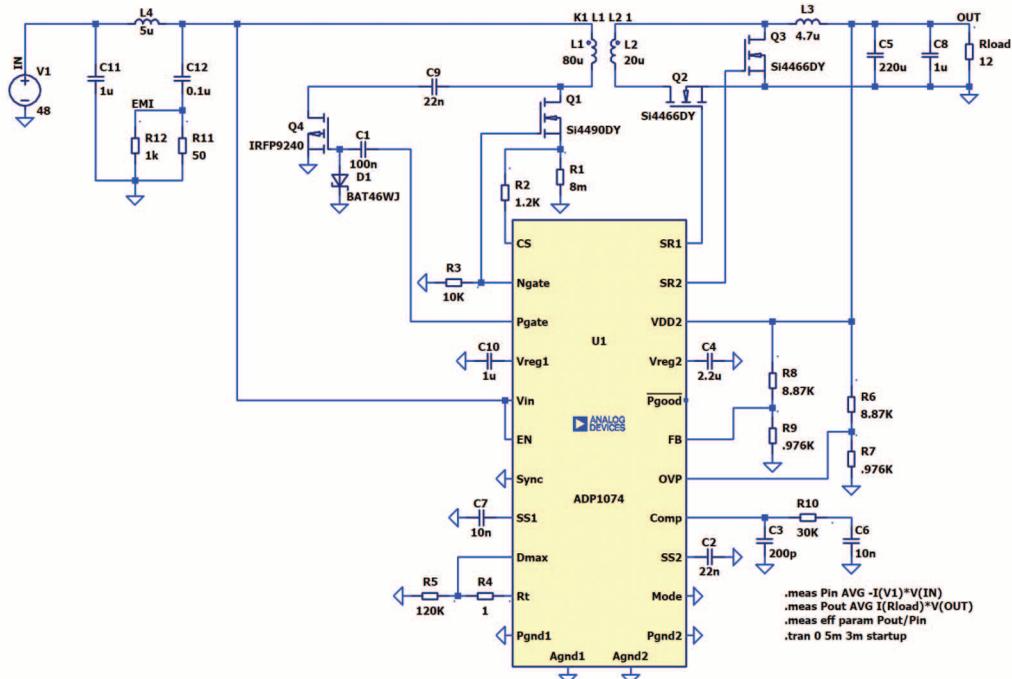


Рис. 3. Модель изолированного понижающего DC/DC-преобразователя с синхронным выпрямителем и током нагрузки 1 А

мителей различного типа будут проводиться в одинаковых условиях.

На рис. 4 приведен спектр кондуктивных помех на входе преобразователя при токе нагрузки 1 А в точке, отмеченной как EMI. В LTspice при анализе спектра информация выводится в логарифмических единицах (дБ), которые вычисляются как отношение среднеквадратического значения спектральной составляющей к значению напряжения 1 В.

При оценке электромагнитных помех (ЭМП) спектр должен выводиться в значениях дБмкВ. Чтобы автоматически осуществить перерасчет в дБмкВ, необходимо в окне отображения спектра ввести делитель величиной 1 мкВ [4], а именно $V(emi)/1u$, как показано на рис. 4.

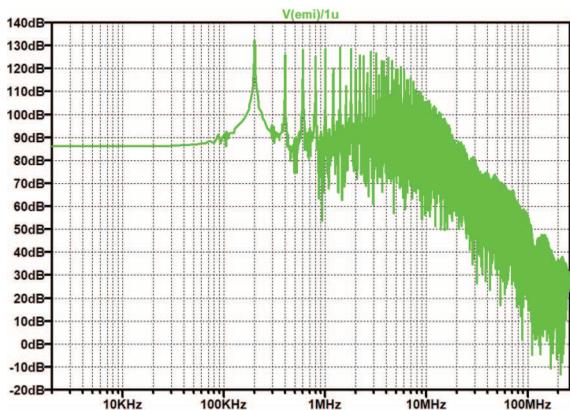


Рис. 4. Спектр кондуктивных помех на входе преобразователя с синхронным выпрямителем при токе нагрузки 1 А

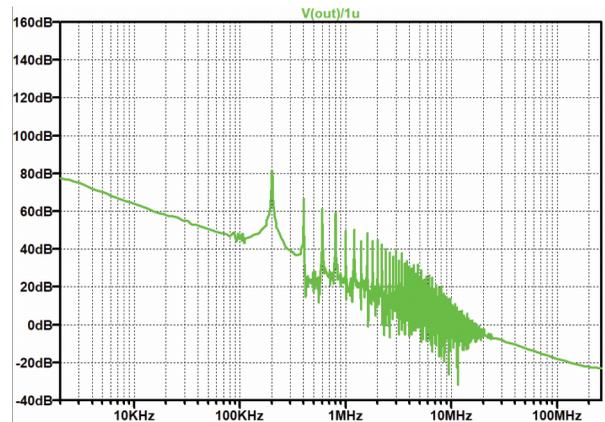


Рис. 5. Спектр помех на выходе преобразователя с синхронным выпрямителем при токе нагрузки 1 А

Информация о КПД выводится в файле SPICE Error Log, фрагмент которого приведен ниже:

pin: $AVG(-i(v1)*v(in))=16.2907$ FROM 0 TO 0.002
pout: $AVG(i(rload)*v(out))=12.213$ FROM 0 TO 0.002
eff: $pout/pin=0.749695$.

Как следует из отчета о проведенном моделировании КПД преобразователя в таком режиме работы составляет примерно 75%.

Спектр помех, измеренный на выходе преобразователя (на сопротивлении нагрузки), приведен на рис. 5.

Для сравнения эффективности использования синхронного выпрямителя и выпрямителя на диодах использована модель, приведенная на рис. 6. Для выпрямителя использованы диоды MBR360 с максимальным рабочим током 3 А.

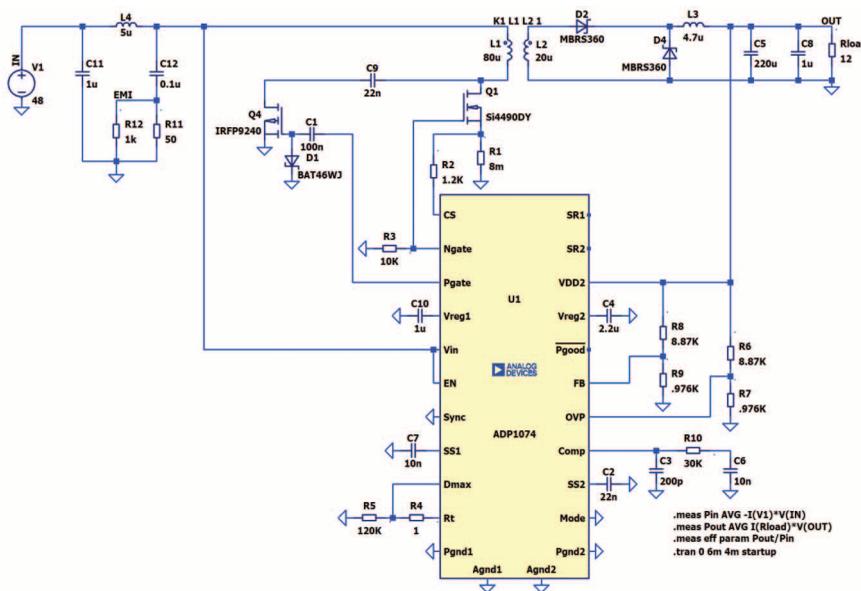


Рис. 6. Модель изолированного понижающего DC/DC-преобразователя с выпрямителем на диодах и током нагрузки 1 А

Спектр кондуктивных помех на входе преобразователя приведен на рис. 7, а спектр помех на выходе – на рис. 8.

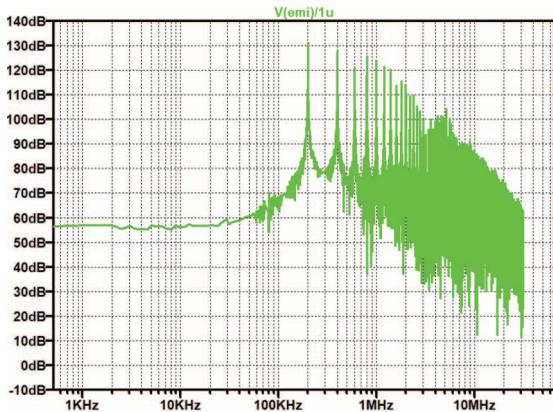


Рис. 7. Спектр кондуктивных помех на входе преобразователя с выпрямителем на диодах при токе нагрузки 1 А

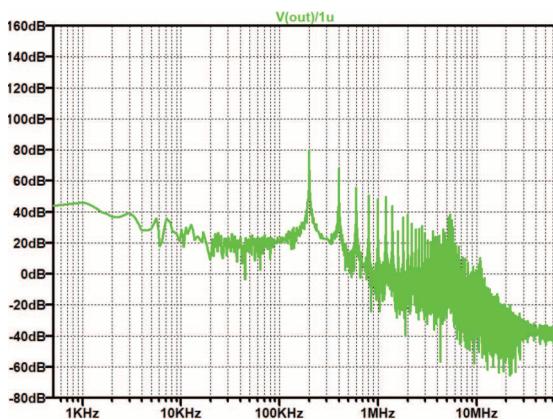


Рис. 8. Спектр помех на выходе преобразователя с выпрямителем на диодах при токе нагрузки 1 А

КПД преобразователя с выпрямителем на диодах MBRS360 при токе нагрузки 1 А составляет 85.8%, что заметно выше, чем при использовании синхронного выпрямителя.

Фрагмент файла отчета при использовании выпрямителя на диодах:

pin: AVG(-i(v1)*v(in))=14.2381 FROM 0 TO 0.002
pout: AVG(i(rload)*v(out))=12.2126 FROM 0 TO 0.002
eff: pout/pin=0.857741.

Сравнение спектров на рис. 4 и 7, а также на рис. 5 и 8, свидетельствует о том, что составляющие спектра помех как первой (с частотой коммутации силовых ключей преобразователя), так и более высоких гармоник при использовании выпрямителя на диодах имеют меньшие значения, чем при использовании синхронного выпрямителя. Некоторые раз-

личия огибающей спектров в области частот 2...10 МГц объясняются различием паразитных емкостей транзисторов и диодов выпрямителей.

Проведем эксперимент при токе 3 А. Для этого достаточно установить сопротивление нагрузки равным 4 Ом. Сравним спектры помех и КПД преобразователей при использовании различных выпрямителей.

На рис. 9 приведены спектры входного сигнала преобразователя с синхронным выпрямителем (рис. 9,а) и выпрямителем на диодах (рис. 9,б), а на рис. 10 – выходного сигнала с синхронным выпрямителем (рис. 10,а) и выпрямителем на диодах (рис. 10,б) при токе нагрузки 3 А. КПД преобразователя с синхронным выпрямителем при токе 3 А составляет 86.6%, а с выпрямителем на диодах при таком же токе – 84.8%.

Как следует из приведенных спектров, уровень помех практически не зависит от типа выпрямителя, используемого во вторичной цепи преобразователя. А вот КПД отличается. Если при токе 1 А КПД был выше у преобразователя с выпрямителем на диодах, то при токе 3 А преимущество имеет синхронный выпрямитель.

Измерения КПД при токе нагрузки 2 А показали, что КПД преобразователя с синхронным выпрямителем равен 84.2%, а с выпрямителем на диодах – 85.5%.

Сравнивая полученные значения КПД с вольтамперной характеристикой диода MBRS360 при температуре корпуса 25 °С, можно сделать вывод, что сопротивление диода при токе 3 А приблизительно равно 0.21 Ом (прямое падение напряжение 0.64 В). Сопротивление канала сток-исток открытого транзистора Si4466DY, используемого в синхронном выпрямителе, составляет 9 мОм, что и обеспечивает более высокий КПД преобразователя.

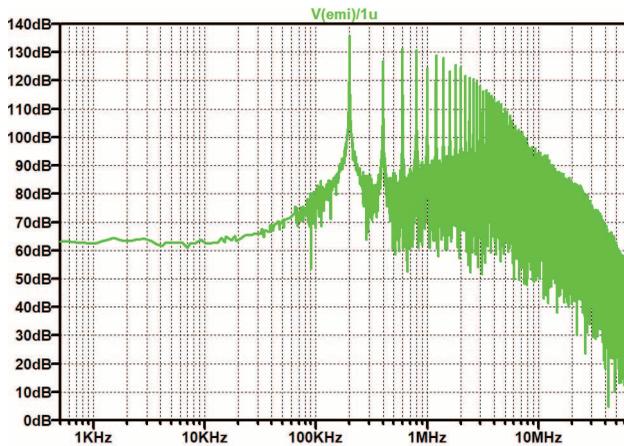
Конечно, при использовании других транзисторов и диодов могут быть получены совершенно другие значения КПД, на основании проведенных исследований можно сделать некоторые выводы.

Выводы

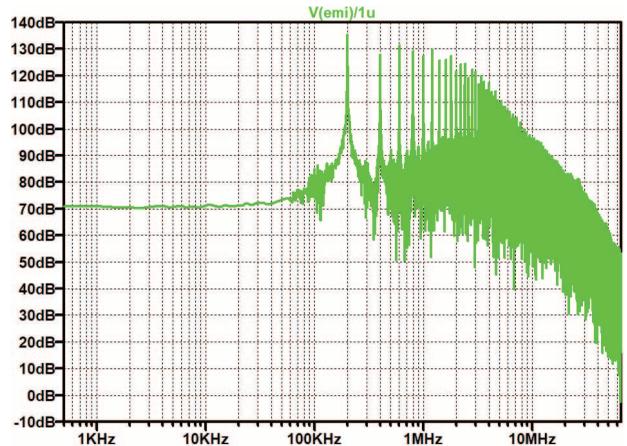
Спектры кондуктивных помех практически не зависят от типа выпрямителя.

Использование диодов Шоттки целесообразно при токах нагрузки более 3 А.

При выборе типа выпрямителя и компонентов для его реализации целесообразно провести моделирование преобразователя для оценки его потенциальных характеристик.

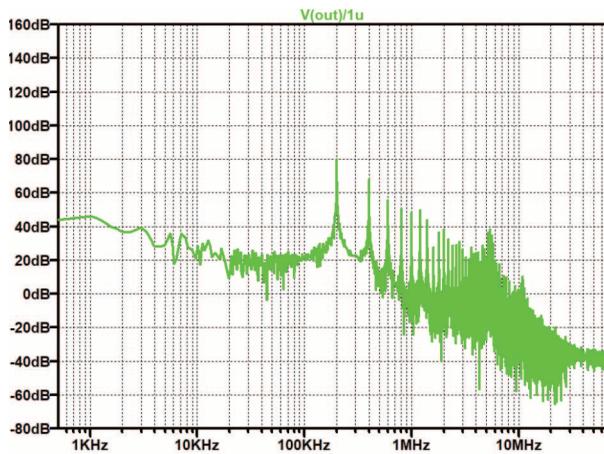


а)

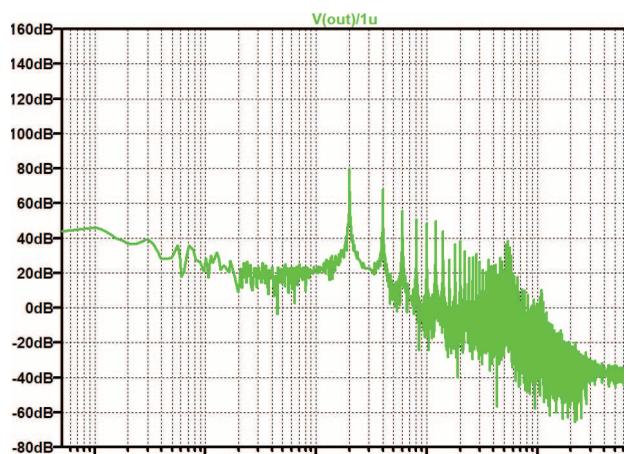


б)

Рис. 9. Спектры входного сигнала преобразователя с синхронным выпрямителем (а) и выпрямителем на диодах (б) при токе нагрузки 3 А



а)



б)

Рис. 10. Спектры выходного сигнала преобразователя с синхронным выпрямителем (а) и выпрямителем на диодах (б) при токе нагрузки 3 А

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Фаньяни Увеличение КПД преобразователя за счет синхронного выпрямления / Электронные компоненты, 2014, №4. с. 35-37.
2. М. Соломатин Применение компонентов International Rectifier для синхронного выпрямления / Электронные компоненты, 2010, №6. с. 12-20.
3. Siran Wang How does flyback synchronous rectification affect EMI? / Bodo's Power Systems, 2021. №3. p. 38-40.
4. В. Макаренко Измерение кондуктивных помех с помощью моделирования в LTspice / Электронные компоненты и системы, 2021, №4. с. 39-43.

VD MAIS

Контрактное производство электроники

(по стандарту IPC-A-610)



- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 2.5 млн в сутки)
- автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
- монтаж прототипов печатных плат
- 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
- изготовление опытных образцов изделий
- мелко- и крупносерийное производство
- 10-летний опыт контрактного производства
- гарантия качества

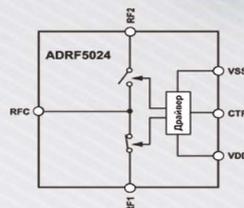
Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016

Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
 e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

Сверхширокополосный переключатель ВЧ и СВЧ-сигналов ADRF5024

- диапазон частот от 100 МГц до 44 ГГц
- низкие вносимые потери при согласованной нагрузке
 - 1.0 дБ на частоте 18 ГГц
 - 1.4 дБ на частоте 40 ГГц
 - 1.7 дБ на частоте 44 ГГц
- низкие вносимые потери при несогласованной нагрузке
 - 0.9 дБ на частоте 18 ГГц
 - 1.7 дБ на частоте 40 ГГц
 - 2.1 дБ на частоте 40 ГГц
- высокая линейность входного сигнала
P1 дБ – 27.5 дБм, IP3 – 50 дБм
- мощность проходящего сигнала 27 дБм
- мощность коммутируемого сигнала 27 дБм
- время переключения не более 17 нс
- напряжение питания 3.3 В
- диапазон рабочих температур -40...105 °С
- габаритные размеры 2.25×2.25 мм



ЭКиС

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

Научно-технический журнал.
Предназначен для разработчиков
и производителей электронной
и электротехнической аппаратуры,
средств телекоммуникаций, компьютерных
и управляющих систем, промышленной
и транспортной электроники.
Издается с 1996 года.
Учредитель и издатель журнала –
НПФ VD MAIS.

НПФ VD MAIS

Центральный офис:

03061 Киев
ул. М. Донца, 6
Тел.: (+38-044) 201-0202, 492-8852
Факс: (+38-044) 202-1110
E-mail: info@vdmajs.ua
[http:// www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

Ukraine
03061 Kyiv, M. Dontsia St. 6
tel.: (+38-044) 201-0202, 492-8852
fax: (+38-044) 202-1110