



**ANALOG DEVICES**      **LUMINEQ** POWERED BY BENEQ      **CRANE INTERPOINT** RESISTANCE SOLUTIONS      **GAIA**

### КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

<b>WEAPON SYSTEMS</b>	<b>MILITARY AIRCRAFT</b>	<b>MILITARY HELICOPTERS</b>	<b>MILITARY GROUNDBORNE</b>	<b>NAVY WARSHIPS</b>
<b>COMMERCIAL AEROSPACE</b>	<b>BUS / TRAM SYSTEMS</b>	<b>HIGH-SPEED RAILWAY</b>	<b>RAPID TRANSIT</b>	<b>O.E.M. INDUSTRIAL</b>

### В номере:

- Аналоговые ключи с встроенной защитой от перенапряжения
- Особенности применения АЦП для сигналов радиочастотного диапазона
- Как поступать с неиспользуемыми выводами ИМС
- Новые драйверы светодиодов и блоки питания Mean Well
- Оценка эффективности использования синхронного выпрямителя
- Новые стабилизаторы LDO со сверхнизким шумом компании Analog Devices
- **Компоненты двойного назначения**
- Электролюминесцентные дисплеи компании BENEQ для жестких условий эксплуатации



## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Полный цикл контрактного производства электроники:

- проектирование и изготовление печатных плат
- поставка комплектующих элементов
- автоматизированная сборка (до 1 500 000 SMD-компонентов в сутки)
- монтаж печатных плат любой сложности при серийном и мелкосерийном производстве
- контроль качества на каждом этапе выполнения работ

Система менеджмента качества фирмы сертифицирована на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.

Монтаж производится в соответствии с требованиями IPC-A-610F.

Автоматизированная пайка выводных компонентов выполняется на установке селективной пайки PowerSelective производства компании SEHO. Пайка выполняется мини-волной в азотной среде. Скорость пайки 1...5 секунд на точку. Скорость пайки разъемов 3 мм за секунду.

Работы выполняются на оборудовании фирм Samsung, HANWHA Techwin, ESSEMTEC, TWS, PACE, SEHO, Phoenix Digital Tech с применением расходных материалов фирм AIM и Electrolube.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ**

2016 апрель-июнь  
№ 2 (214)

МАССОВЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ



**Учредитель и издатель:**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ  
ФИРМА VD MAIS

Зарегистрирован  
Министерством информации  
Украины 24.07.96 г.  
Свидетельство о регистрации:  
серия KB, № 2081Б  
Издается с марта 1996 г.

**Директор фирмы VD MAIS:**  
В.А. Давиденко

**Главный редактор:**  
В.А. Романов

**Редакционная коллегия:**  
В.А. Давиденко  
В.В. Макаренко  
В.Р. Охрименко  
Д-р Илья Брондз,  
факультет биологии  
Университета г. Осло, Норвегия

**Адрес редакции:**

Украина, Киев,  
ул. М. Донца, 6  
**Тел.:** (0-44) 220-0101, 492-8852  
**Факс:** (0-44) 220-0202  
**E-mail:** ekis@vdmajs.ua  
**Интернет:** www.vdmajs.ua  
www.ekis.kiev.ua

**Адрес для переписки:**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
Подписано к печати 30.03.2015

*В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ*

П. О'Салливан  
**Аналоговые ключи с встроенной защитой от перенапряжения** .....3  
Б. Жанг, А. Буда  
**Аналоговый интерфейс для термометров сопротивления** .....7  
Д. Бучанан  
**Вносит ли искажения встроенный в АЦП цифровой понижающий преобразователь частоты?** .....9  
М. Усач  
**Как рассчитать погрешность смещения нуля и входной импеданс АЦП с входным драйвером на основе усилителя с прерыванием** .....11  
У. Джамохан  
**Особенности применения АЦП с выборкой для сигналов радиочастотного диапазона** .....13  
Т. Коллинз  
**Как выбрать резистор обратной связи операционного усилителя** .....19  
Г. Кастро  
**Почему полоса пропускания ОУ для сигнала низкого уровня шире полосы пропускания сигналов большой амплитуды** .....21  
Д. Браянт  
**Как поступать с неиспользуемыми выводами ИМС** .....22

*ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ*

В. Охрименко  
**Новые драйверы светодиодов и блоки питания компании Mean Well: HLG-320H-C, RPS-120** .....23  
В. Макаренко  
**Оценка эффективности использования синхронного выпрямителя путем моделирования в NI Multisim** .....28  
В. Макаренко  
**О выборе параметров DC/DC-преобразователей с накачкой заряда** .....33  
В. Макаренко  
**Новые стабилизаторы с малым падением напряжения и сверхнизким уровнем шума компании Analog Devices** ....39

*КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ*

В. Охрименко  
**Компоненты двойного назначения** .....43  
В. Охрименко  
**Компоненты двойного назначения компании Analog Devices** .....45  
В. Охрименко  
**Электролюминесцентные дисплеи компании BENEQ для жестких условий эксплуатации** .....48  
В. Охрименко  
**Высоконадежные DC/DC-преобразователи компании Interpoint** .....53  
В. Охрименко  
**Высоконадежные блоки питания компании Gaia** .....56

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ*

**Взрывозащищенные сирены компании Cortem Group** .....62  
**Новые DC/DC-преобразователи компании RECOM** .....64

Перепечатка опубликованных в журнале материалов допускается с разрешения редакции. За рекламную информацию ответственность несет рекламодатель.

ASK THE APPLICATIONS ENGINEER

P. O'Sullivan  
***Replacing Discrete Protection Components with Overvoltage Fault Protected Analog Switches*** .....3  
 B. Zhang, A. Buda  
***Analog Front-End Design Considerations for RTD Ratiometric Temperature Measurements*** .....7  
 D. Buchanan  
***Mystery Spur Explained: Don't Blame the DDC!*** .....9  
 M. Usach  
***How to Calculate Offset Errors and Input Impedance in ADC Converters with Chopped Amplifiers*** .....11  
 U. Jayamohan  
***Not your grandfather's ADS: RF Sampling ADSs offer advantages in systems design*** .....13  
 T. Collins  
***The Truth About Voltage Feedback Resistors***.....19  
 G. Castro  
***Why Small Signal Bandwidth along with a large Signal Bandwidth are quite different*** .....21  
 J. Bryant  
***Unused Pins***.....22

POWER SUPPLIES

V. Okhrimenko  
***New power supply: HLG-320H-C and RPS-120*** .....23  
 V. Makarenko  
***Evaluation of the effectiveness of the use of synchronous rectifier by simulation in NI Multisim*** .....28  
 V. Makarenko  
***On the choice of parameters of DC/DC converters with charge pumps*** .....33  
 V. Makarenko  
***New regulators with low dropout and ultra low noise Analog Devices*** .....39

DUAL-USE COMPONENTS

V. Okhrimenko  
***Dual-use components*** .....43  
 V. Okhrimenko  
***ADI's dual-use components*** .....45  
 V. Okhrimenko  
***Thin film electroluminescent displays*** .....48  
 V. Okhrimenko  
***Interpoint's Hi-Rel DC/DC converters*** .....53  
 V. Okhrimenko  
***Hi-rel power supply of Gaia*** .....56

BRIEF REPORTS

***Explosion-proof siren company Cortem Group***.....62  
***New DC/DC-converters RECOM company*** .....64



**ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS**

January-March 2016  
 No. 1(213)

Monthly  
 Scientific and Technical  
 Journal

**Founder and Publisher:**  
 Scientific-Production Firm  
**VD MAIS**

**Director**  
 V.A. Davidenko

**Head Editor**  
 V.A. Romanov

**Editorial Board**  
 V.A. Davidenko  
 V.V. Makarenko  
 V.R. Okhrimenko  
 Dr. Ilia Brondz,  
 Department of Biology,  
 University of Oslo,  
 Norway

**Address:**  
 M. Dontsia Str., 6,  
 03061 Kyiv, Ukraine  
**Tel.:**  
 (380-44) 220-0101,  
 492-8852 (multichannel)  
**Fax:**  
 (380-44) 220-0202  
**E-mail:**  
 ekis@vdmias.ua  
**Web address:**  
 www.vdmias.ua  
 www.ekis.kiev.ua  
 Printed in Ukraine

Reproduction of text and illustrations  
 is not allowed without written permission.

# АНАЛОГОВЫЕ КЛЮЧИ С ВСТРОЕННОЙ ЗАЩИТОЙ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ \*

## REPLACING DISCRETE PROTECTION COMPONENTS WITH OVERVOLTAGE FAULT PROTECTED ANALOG SWITCHES

В статье рассмотрена новая архитектура аналоговых ключей и мультиплексоров с защитой от перенапряжения.

Abstract - A new novel switch architecture and proprietary high voltage process that provides fault protection is discussed.

П. О'Салливан

P. O'Sullivan

Защита аналоговых входов измерительных устройств с высокими характеристиками является сложной проблемой для разработчика. Необходимо искать компромисс между величинами токов утечки, входным сопротивлением и уровнями допустимого перенапряжения на входе. Эта проблема до последнего времени решалась путем использования внешних компонентов защиты от перенапряжения. Замена внешних компонентов ключами или мультиплексорами с встроенной защитой позволяет повысить надежность, уменьшить размеры и улучшить параметры проектируемых устройств в целом. Встроенные элементы защиты устанавливаются между входом измерительного ключа и компонентами, чувствительными к перенапряжению. Ключи и мультиплексоры с встроенной защитой находят применение в измерительных устройствах, системах контроля и управления.

В предлагаемой статье рассмотрены преимущества аналоговых ключей с встроенной защитой от перенапряжения по сравнению с реализацией такой защиты на дискретных компонентах. Приведены примеры применения таких ключей в конкретных устройствах.

Пример цепей защиты ключа от перенапряжения приведен на рис. 1. Если входное напряжение ключа превышает уровни напряжений питания  $V_{DD}$ , или  $V_{SS}$ , диоды защиты пробиваются, и ток от источника входного сигнала будет протекать через пробитый диод к клемме источника питания. Если величина этого тока

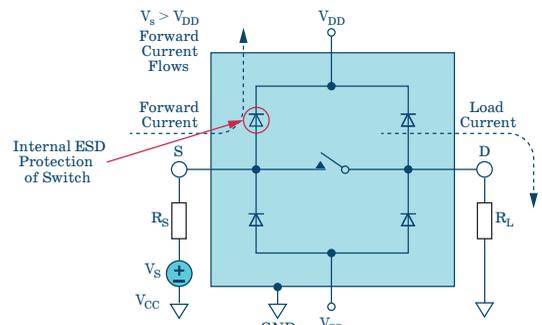


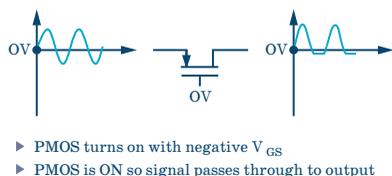
Рис. 1. Пример защиты ключа от перенапряжений с помощью диодов Шоттки

не ограничена, он может разрушить элементы цепи, через которые он протекает.

Рассмотрим два варианта поведения ключа при неконтролируемой величине тока, вызванного перенапряжением. Если используются «плавающие» (незаземленные) источники питания, то при пробое диода, вызванном перенапряжением, входной сигнал начинает управлять уровнем напряжения питания  $V_{DD}$ , что приводит к непредсказуемому поведению устройства в целом. Если источники питания заземлены, то ключ типа PMOS будет открываться при отрицательном смещении, пропуская на выход входной сигнал с ограничением, рис. 2.

До последнего времени проблему защиты входных цепей разработчики решали применением внешних диодов защиты (Шоттки или Зенера), рис. 3. Входные резисторы сопротивлением 2 кОм ограничивают токи через диоды защиты. К недостаткам такого решения следу-

\* O'Sullivan P. Replacing Discrete Protection Components with Overvoltage Fault Protected Analog Switches. Analog Dialogue 50-04, April 2016, [www.analog.com/analogdialogue](http://www.analog.com/analogdialogue). Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



- ▶ PMOS turns on with negative  $V_{GS}$
- ▶ PMOS is ON so signal passes through to output

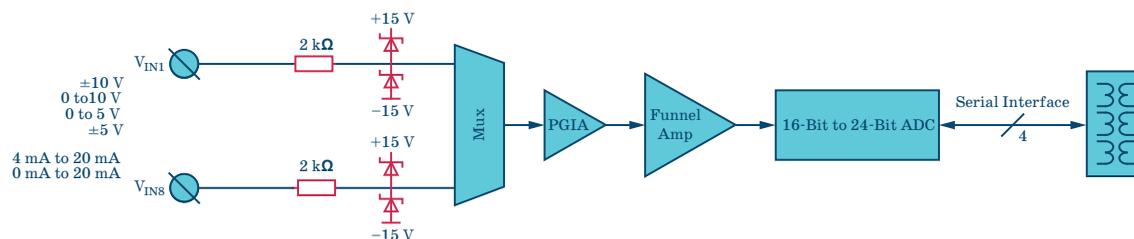
**Рис. 2. Пример воздействия повышенного напряжения на ключ при заземленном источнике питания**

ет отнести:

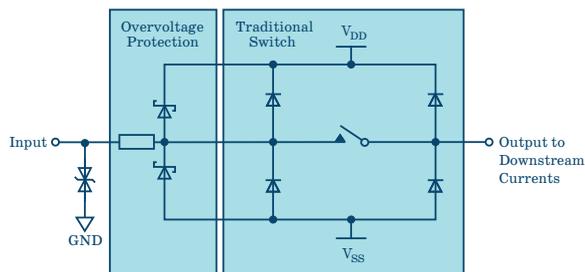
- увеличение времени установления входного сигнала, вызванное включением резистора во входную цепь;
- увеличение токов утечки, вызванное токами смещения диодов защиты, и негативное влияние емкости диодов на точность и линейность измерительных каналов;
- необходимость дополнительной защиты источников питания аналоговых ключей с “плавающей” землей.

Функциональная схема ключа с традиционной архитектурой приведена на рис. 4. В правой части схемы включены диоды защиты от электростатического электричества. В левой части схемы находятся внешние элементы защиты (ограничительные резисторы и диоды Шоттки).

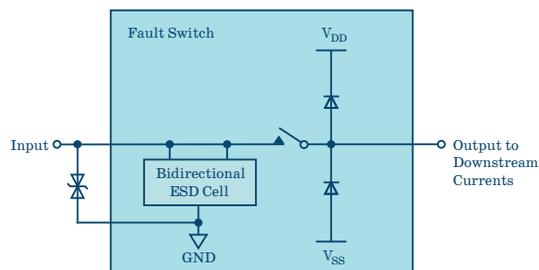
Схема микроселекционного ключа с защитой от перенапряжения приведена на рис. 5. Входные диоды Шоттки вместе с ограничительным резистором в этой схеме заменены встроенным двунаправленным элементом защиты от электростатического электричества. Допустимое перенапряжение для этой ИМС выполненной по оригинальной технологии Analog Devices, составляет  $\pm 55$  В. Диоды защиты от электростатического электричества сохраняются на выходе ИМС. При переходе в режим защиты существенно увеличивается входное сопротивление ключа, при этом токи утечки в других каналах практически отсутствуют. Поэто-



**Рис. 3. Защита системы сбора данных от перенапряжения на дискретных диодах Шоттки**



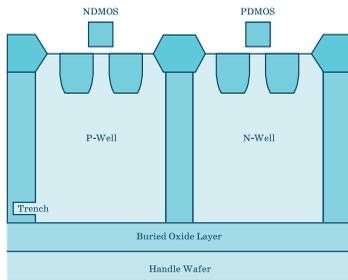
**Рис. 4. Традиционная структурная схема ключа с защитой от перенапряжения на диодах Шоттки**



**Рис. 5. Схема ключа с встроенным узлом защиты**

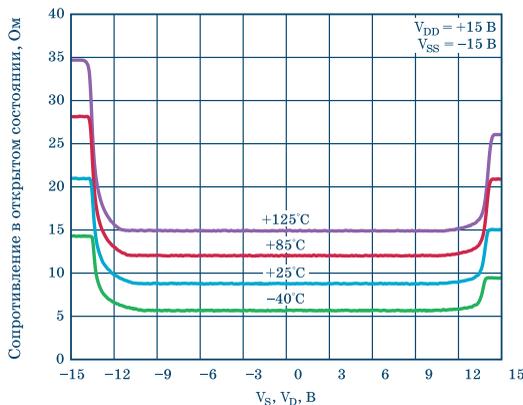
му применение новых ключей значительно упрощает проектирование измерительных каналов разрабатываемого изделия. Повышение уровня защиты новых ключей до напряжения  $\pm 55$  В обеспечивается новым технологическим процессом. Запатентованный компанией Analog Devices технологический процесс, кроме того, использует специальную изоляцию канавками NDMOS и PDMOS транзисторных ключей, рис. 6, что позволяет исключить паразитные р-п-переходы между транзисторами разной проводимости. Прочность изоляции таких ключей была испытана при импульсе тока  $\pm 500$  мА длительностью 1 с.

Несмотря на высокие технологические параметры ключей нового поколения, при выборе ИМС ключа или мультиплектора необходимо руководствоваться наиболее важным для конкретной разработки параметром ключа.



**Рис. 6. Топология кристалла ключа с защитными канавками между транзисторами разной проводимости**

Это может быть ключ с малым сопротивлением в замкнутом состоянии или с малой инъекцией заряда в измерительную цепь. Выбор оптимальных параметров ключа зависит, прежде всего, от величины сопротивления нагрузки. Ключи с малым сопротивлением в замкнутом состоянии  $R_{ON}$  используются в измерительных каналах с низким входным сопротивлением, т.к. дополнительно вносимое сопротивление ключа  $R_{ON}$  приводит к дополнительной погрешности измерения. Чем меньше величина  $R_{ON}$  в сравнении с  $R_{BX}$ , тем меньше его влияние на точность измерения. На рис. 7 приведены зависимости сопротивления ключа  $R_{ON}$  от величины входного сигнала  $V_s$  для мультиплексора нового поколения ADG5404. Как следует из приведенных зависимостей, мультиплексор имеет малое сопротивление  $R_{ON}$ , причем, как видно, каналы хорошо согласованы между собой по этому параметру.



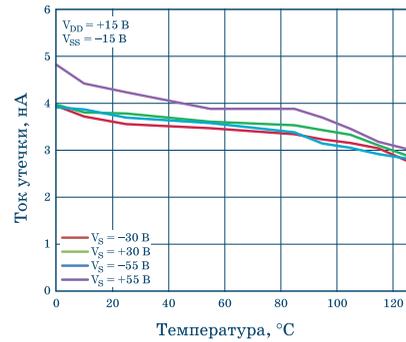
**Рис. 7. Зависимость сопротивления  $R_{ON}$  ключа от величины входного сигнала**

Если нагрузка ключа или мультиплексора имеет большой импеданс, то при их выборе следует руководствоваться следующими ха-

рактеристиками:

- минимальным током утечки ключа;
- минимальной проходной емкостью ключа
- и минимальным инжекционным зарядом.

Зависимость тока утечки от температуры при разных значениях перенапряжения для мультиплексора ADG5404, 8:1, приведены на рис. 8.



**Рис. 8. Зависимость тока утечки ключа ADG5248F от температуры при перенапряжении на входе**

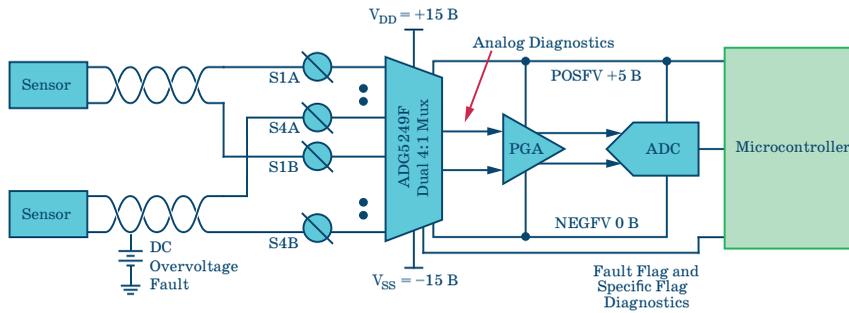
Отметим, что новые ключи имеют специальные выводы, сигнализирующие об отказах (fault flay pin – FFpin).

В таблице ниже приведены особенности и преимущества ключей и мультиплексоров нового поколения.

**Особенности и преимущества ключей и мультиплексоров нового поколения**

Особенности	Преимущества
Защита от перенапряжения $\pm 55$ В за счет применения новой технологии.	Защита компонентов измерительного канала. Исключение внешних компонентов защиты.
Индикация отказов на специальном выводе, малое $R_{ON}$ . Высокая равномерность $R_{ON}$ во всем диапазоне входных сигналов, малые токи утечки.	Наличие сигнала тревоги. Исключение дополнительной диагностики каналов во время эксплуатации. Малая вносимая погрешность.

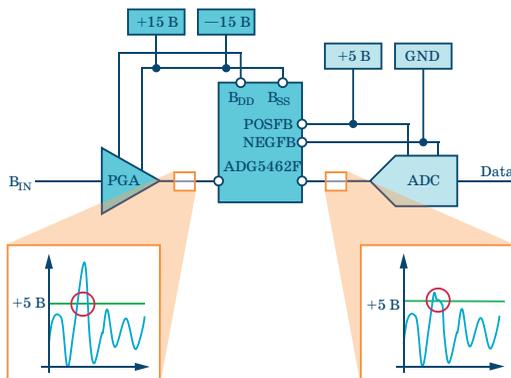
На рис. 9 приведена функциональная схема многоканальной измерительной системы, в которой через мультиплексор и PGA-усили-



**Рис. 9.** Пример применения мультиплексора с защитой от перенапряжения на входе измерительной системы

тель к АЦП подключены датчики физических величин: термометры сопротивления, термопары, датчики влажности, давления и др., причем датчики могут быть установлены на значительном расстоянии от центрального узла системы. Сигнал отказа какого-либо канала мультиплексора ADG5404 подключены непосредственно к микроконтроллеру, который останавливает процесс измерения контролируемых параметров в случае получения сигнала отказа.

На рис. 10 приведен узел системы сбора данных, в котором четырехканальная схема защиты от перенапряжения ADG5462F включена между выходом PGA-усилителя и входом АЦП. Такое включение позволяет защитить АЦП с напряжением питания + 5 В от возможного перенапряжения на выходе PGA-усилителя, напряжение питания которого составляет ± 15 В.



**Рис. 10.** Узел системы сбора данных с четырехканальной схемой защиты от перенапряжения

**ВЫВОДЫ:**

1. Замена дискретных элементов защиты входных цепей проектируемых устройств от перенапряжения аналоговыми ключами или мультиплексорами с встроенными элементами защиты позволяет уменьшить число дополнительных компонентов, снизить погрешность, вносимую элементами защиты, выявить канал, в котором произошел отказ, и сформировать сигнал тревоги на выходе мультиплексора.

2. Новая технология компании Analog Devices позволяет надежно изолировать каналы мультиплексора друг от друга и исключить паразитные р-п-переходы между транзисторами разной проводимости, что существенно увеличивает устойчивость мультиплексоров к воздействию перенапряжения.

VD MAIS

Измерительные приборы

- Осциллографы • Генераторы
- Логические анализаторы
- Анализаторы спектра
- Измерители параметров видеосигналов
- Источники питания • Частотомеры
- Мультиметры • Тепловизоры
- Виброметры

---

**Дистрибуция и прямые поставки:**  
Tektronix, Fluke, Keithley, Rohde@Schwarz, Hameg, Uni-Trend

---

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
 e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

# АНАЛОГОВЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ \*

## ANALOG FRONT-END DESIGN CONSIDERATIONS FOR RTD RATIO-METRIC TEMPERATURE MEASUREMENTS

**В** статье рассмотрены преимущества измерения температуры с помощью термометра сопротивления в режиме логометра.

**Abstract** - Using RTD in ratiometric measurement has the advantage in that it eliminates sources of error such as drift of the excitation current source. The advantage is considered in the article.

Б. Жанг, А. Буда

B. Zhang, A. Buda

Применение сигма-дельта АЦП вместе с термометром сопротивлений для измерения температуры не позволяет получить точность более 12 разрядов даже при разрядности АЦП 16-18 бит. В статье рассмотрены схематические решения, позволяющие обеспечить точность измерения температуры до 16 двоичных разрядов.

Если использовать логометрическое включение термометра сопротивления, появляется возможность исключить ряд источников погрешностей, например, такие как дрейф источника тока возбуждения и другие. На рис. 1 приведена типовая схема логометрически четырехпроводного измерителя температуры на основе термометра сопротивления. В этой схеме исключается погрешность, вызванная сопротивлением выводов. Уравнения, описывающие работу этой схемы, приведены ниже

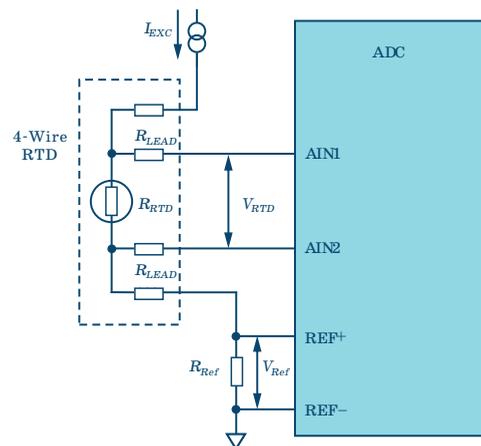
$$\begin{aligned} V_{RTD} &= R_{RTD} \cdot I_{EXC}, \\ V_{REF} &= R_{REF} \cdot I_{EXC}. \end{aligned}$$

Выражение для определения сопротивления термометра сопротивления при измерении его величины с помощью АЦП с дифференциальным входом имеет следующий вид:

$$R_{RTD} = (Code_{RTD} \cdot R_{REF}) / Code_{ADC} - Fullscale,$$

где  $Code_{RTD}$  – код на выходе АЦП;

$Code_{ADC} - Fullscale$  – код полной шкалы АЦП.

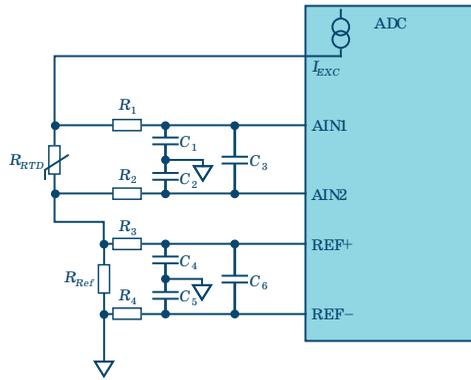


**Рис. 1. Четырехпроводное логометрическое включение термометра сопротивления на входе АЦП**

Если исходить из этого выражения, то точность измерения температуры теоретически определяется дрейфом сопротивления опорного резистора. Как правило, погрешность этого резистора составляет не более 0,1%. В схему измерителя температуры может быть включен ФНЧ (рис.2) и резисторы защиты от перенапряжения. Как правильно выбрать параметры этих компонентов, рассмотрим ниже.

Из рис. 2 следует, что R1, R2, C1, C2 и C3 образуют фильтр нижних частот первого по-

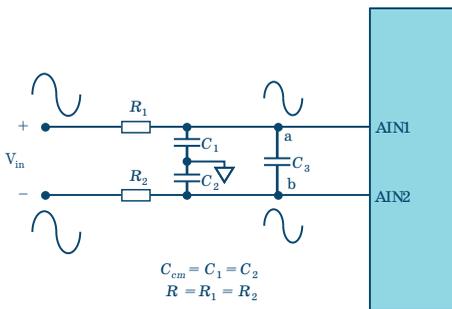
\* Zhang B., Buda A. Analog Front – End Design Considerations for RDT Ratiometric Temperature Measurements. Analog Dialogue 50-03, March, 2016. [www.analog.com/analogdialogue](http://www.analog.com/analogdialogue). Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



**Рис. 2. Четырехпроводное логметрическое включение термометра сопротивления в цепи входного и опорного сигналов**

рядка, который обеспечивает ослабление помех нормального и общего вида, причем следует выбирать  $R_1 = R_2$ ,  $C_1 = C_2$ . Точно такие же требования применяются к резисторам и конденсаторам в цепи опорного резистора  $R_{REF}$ .

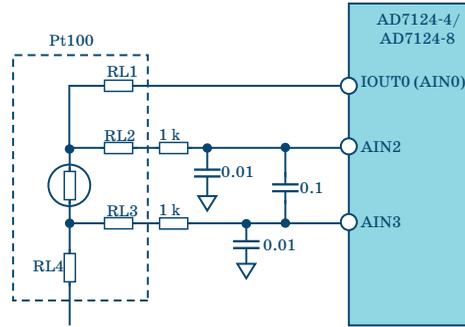
На рис. 3 в схему измерителя включен ФНЧ, ослабляющий помеху общего вида на входе АЦП. Если предположить, что входные каналы имеют идентичные параметры, то через конденсатор  $C_3$  ток не течет, поэтому частота среза  $f_c$  определяется выражением  $f_c = 1/(2\pi R_1 C_1)$ .



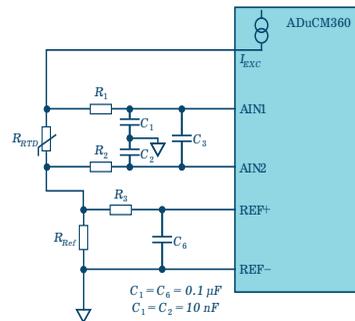
**Рис. 3. Схема включения ФНЧ на входе АЦП для ослабления помехи общего вида**

На рис. 4 приведена схема включения термометра сопротивления и ФНЧ на входе АЦП, причем частота среза для помехи общего вида составляет 800 Гц, а для дифференциального (полезного) сигнала – 16 кГц.

На рис. 5 приведена схема измерителя температуры на базе ИМС микроконтроллера ADuCM360, в составе которого имеется 24-разрядный сигма-дельта АЦП и собственно контроллер с ядром Cortex®-M3.



**Рис. 4. Логметрическая схема включения термометра сопротивления на входе сигма-дельта АЦП**



**Рис. 5. Схема включения термометра сопротивления на входе микроконтроллера ADuCM360**

В табл. 1 приведены значения уровней шума для согласованных и несогласованных параметров ФНЧ в цепях входного и опорного сигналов.

**Значения уровней шума для согласованных и несогласованных параметров ФНЧ**

$K_u$ PGA-усилит. на входе АЦП	Ток источника сигнала, мкА	Уровень шума, мкВ	
		$R_1...R_3=1\text{ кОм}$	$R_1=R_2=10\text{ кОм}, R_3=1\text{ кОм}$
16	100	1.6084	1.8395
16	200	1.6311	1.7594
16	300	1.6117	1.9181
16	400	1.6279	1.9292

Как следует из табл. 1, уровень шума при согласованных параметрах цепей входного и опорного сигналов ниже на 0.1...0.3 мкВ, что соответствует увеличению точности на 0.25 бит.

**ВЫВОДЫ:**

При измерении температуры с помощью термометра сопротивления можно увеличить точность измерения с 12 до 16 бит путем использования АЦП с симметричным входом, на входах которого включен ФНЧ, причем пара-

метры цепей входного и опорного сигналов должны быть согласованы между собой. Кроме того, с целью повышения точности измерения температуры рекомендуется использовать логотметрическое включение термометра сопротивления на входе АЦП.

## ВНОСИТ ЛИ ИСКАЖЕНИЯ ВСТРОЕННЫЙ В АЦП ЦИФРОВОЙ ПОНИЖАЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ? \*

Д. Бучанан

MYSTERY SPUR EXPLAINED: DON'T BLAME THE DDC!

D. Buchanan



На выходе быстродействующих АЦП с встроенным цифровым понижающим преобразователем частоты (digital down converter – DDC) можно наблюдать достаточно большое искажения в частотной области спектра.

Это можно объяснить следующим образом. Понижающий преобразователь частоты, который встроен в быстродействующий АЦП, включает в себя фильтр-дециматор, позволяющий исключить фильтр защиты от наложения спектров (antialiasing filter) на входе АЦП. При тестировании такого АЦП не следует ожидать, что в полосе ослабления затухание сигнала будет не менее 100 дБ, как показано на рис. 1, диаграмма слева. В полосе частот  $(0...f_s)/4$  при наличии на входе АЦП аналогового сигнала с частотой  $f_s$  будет наблюдаться

спектр помехи (диаграмма справа на рис. 1). Это говорит о том, что спектральная диаграмма, приведенная на рис. 1, соответствует реакции фильтра-дециматора в узкой полосе пропускания (в одной из зон Найквиста). Эта спектральная диаграмма не отражает поведение АЦП в других зонах Найквиста. Если рассмотреть спектр на выходе АЦП в других зонах Найквиста, можно увидеть ложные спектры, вызванные наложением спектров дискретизации входного сигнала.

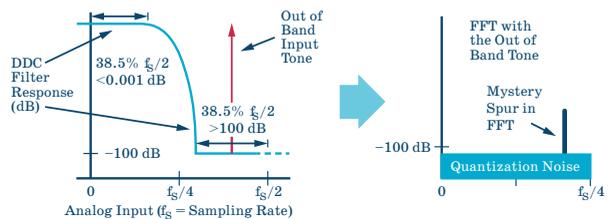
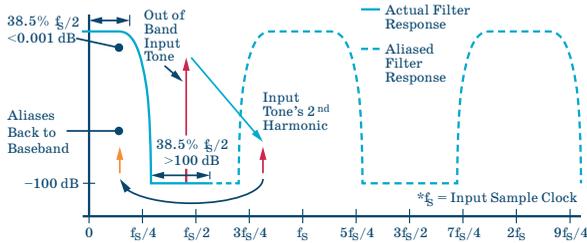


Рис. 1. Спектр помехи на выходе быстродействующего АЦП с встроенным цифровым преобразователем частоты

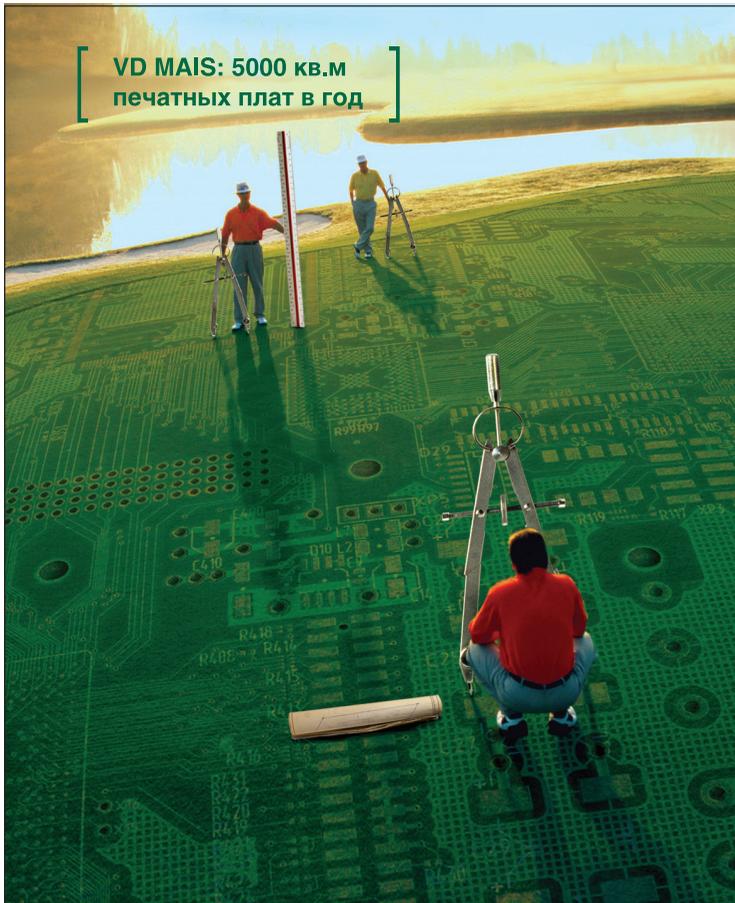
На рис. 2 приведена спектральная диаграмма исследуемого АЦП для пяти зон Найквиста. Ложный спектр (спектр помехи) появляется во второй зоне Найквиста, который соответствует второй гармонике основного тона. Это происходит из-за того, что на входе данного АЦП отсутствует фильтр защиты от

\* Buchanan D. "Mystery Spur Explained: Don't Blame the DDC!". Analog Dialogue, 49-05, June 2015. [www.analog.com/analogdialogue](http://www.analog.com/analogdialogue). Сокращенный перевод с английского В. Романова.



**Рис. 2. Спектр помехи на выходе быстродействующего АЦП с встроенным цифровым преобразователем частоты в пяти зонах Найквиста**

спектров наложения. Цифровой фильтр в составе АЦП не может исключить ложные спектральные тоны на входе АЦП, которые всегда имеют место в преобразователях с высокочастотной выборкой сигнала. Высокая частота выборки и встроенный АЦП понижающий преобразователь частоты позволяют подавить искажения в полосе от  $f_s/4$  до  $f_s/2$ . Однако если на входе АЦП нет фильтра защиты от наложения спектров, ослабление ложных спектров в других зонах Найквиста от  $3f_s/4$  и далее будет не столь эффективным.



# ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

## • производство

**VD MAIS – крупнейший поставщик печатных плат на рынке Украины**

**7 аргументов в пользу печатных плат, поставляемых VD MAIS:**

- принцип "все из одних рук"
- стабильное положение фирмы на рынке печатных плат
- высокая квалификация специалистов
- выбор проверенных фирм-изготовителей в зависимости от специфики заказа
- техническое сопровождение проекта при SMD-монтаже
- минимизация цен за счет объединения заказов
- сертификация систем экологического менеджмента и менеджмента качества фирмы согласно требованиям стандартов ISO 14001:2004 и ISO 9001:2008, и ISO/TS 16949:2009
- предоставление документации по выходному контролю печатных плат



**VD MAIS**  
PCB Professionally

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmis.ua, www.vdmis.ua

# КАК РАССЧИТАТЬ ПОГРЕШНОСТЬ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ И ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС АЦП С ВХОДНЫМ ДРАЙВЕРОМ НА ОСНОВЕ УСИЛИТЕЛЯ С ПРЕРЫВАНИЕМ \*

**В**строенные драйверы современных АЦП выполнены, как правило, на основе усилителей с прерыванием. В настоящей публикации рассмотрены особенности ослабления шума и погрешности смещения нуля в таких усилителях.

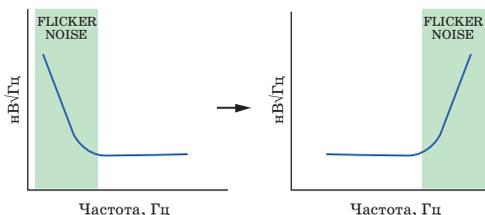
М. Усач

## HOW TO CALCULATE OFFSET ERRORS AND INPUT IMPEDANCE IN ADC CONVERTERS WITH CHOPPED AMPLIFIERS

**Abstract** – Integrated buffers and amplifiers in ADC are typically chopped. Minimization of offset and noise of the chopping amplifiers are considered.

М. Usach

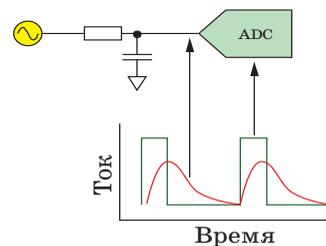
Встроенные в АЦП буферные каскады построены, как правило, на основе усилителей с прерыванием. К таким АЦП относятся ИМС AD7124-8 и AD7779. Усилители с прерыванием позволяют ослабить напряжение смещения нуля и фликкер-шум или  $(1/f)$ -шум. Использование этих усилителей связано с тем, что КМОП-технология (на основе которой выполняются АЦП и усилители) отличается большим уровнем шумов и значительным смещением напряжения нуля вследствие недостаточной согласованности параметров КМОП-транзисторов на входе усилителя. Используя прерывание на входе, можно транспонировать шум и напряжение смещения в область высоких частот, как показано на рис. 1.



**Рис. 1. Использование усилителя с прерыванием для ослабления фликкер-шума в рабочем диапазоне частот**

Как правило, в технической документации (data sheet) отсутствует информация о пиковых значениях тока или напряжения при использовании усилителя с прерыванием. Ославление пиков напряжения или тока пропорционально выходному сопротивлению источника

сигналов. Отметим, что важность этой информации невелика, так как частота прерывания должна быть на много больше частоты входного сигнала усилителя и соответственно АЦП, на входе которого используется усилитель с прерыванием. Поэтому применение ФНЧ на входе такого АЦП уменьшает уровень этих шумов, как показано на рис. 2.

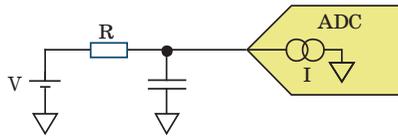


**Рис. 2. Зависимость входного тока смещения от частоты прерывания при использовании ФНЧ на входе усилителя**

В технической документации приведено значение как абсолютного входного тока смещения  $I_{ABS}$ , так и дифференциального  $I_{DIF}$ . Входной ток смещения генерирует напряжение смещения нуля  $V_{OFFSET}$ , которое пропорционально входному импедансу, рис. 3, т.е.

$$V_{OFFSET} = I_{ABS} \cdot R. \quad (1)$$

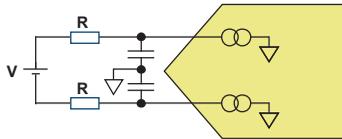
Если вход АЦП подключен к источнику сигнала с малым выходным импедансом, величина погрешности смещения незначительна.



**Рис. 3. Схема уменьшения входного напряжения, вызванного токами утечки**

Если используется АЦП с дифференциальным входом (рис. 4), то выражение (1) примет вид

$$V_{ADC} = V \pm I_{DIF} \cdot R, \quad (2)$$



**Рис. 4. АЦП с дифференциальным входом**

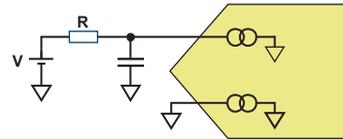
Величина напряжения смещения нуля зависит от разброса сопротивлений резисторов R. Если этот разброс составляет 1%, то

$$V_{OFFSET} = 2I_{ABS} \cdot R / 100 + I_{DIF} \cdot R. \quad (3)$$

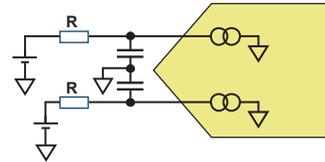
В случае несимметричного (рис. 5) или псевдодифференциального (рис. 6) входа имеют следующую зависимость

$$V_{OFFSET} = I_{ABS} \cdot R. \quad (4)$$

Все, рассмотренное выше, относилось к погрешности АЦП на постоянном токе. На пере-



**Рис. 5. АЦП с несимметричным входом**



**Рис. 6. АЦП с псевдодифференциальным входом**

менном токе входной импеданс  $Z_c$  зависит от частоты входного сигнала и имеет вид

$$Z_c = 1 / (2\pi f I_n C_{In}). \quad (5)$$

Так, например,  $Z_c$  на частоте входного сигнала 1 кГц при входной емкости 8 пФ составляет не менее 20 МОм.

**ВЫВОДЫ:**

1. Для минимизации погрешностей на входе усилителя с прерыванием, вызванной несогласованностью параметров входных резисторов, следует использовать ФНЧ между источником входного сигнала и усилителем.
2. Для уменьшения напряжения смещения нуля и тепловых шумов усилителя необходимо, чтобы сопротивление резистора ФНЧ имело минимально допустимую величину.

**VD MAIS**  
**Контрактное производство электроники**  
 (по стандарту IPC-A-610)

- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 1,5 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 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009. Цены – оптимальные.**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

**VD MAIS**  
**Разработка и серийное производство электроники**

- разработка электрических схем
- проектирование и изготовление печатных плат
- комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
- контрактное производство (по стандарту IPC-A-610):
  - автоматизированный монтаж SMD-компонентов и автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
  - изготовление опытных образцов изделий
  - мелко- и крупносерийное производство
- многолетний опыт разработки и производства
- гарантия качества

**Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009. Цены – оптимальные.**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЦП С ВЫБОРКОЙ ДЛЯ СИГНАЛОВ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА \*

## NOT YOUR GRANDFATHER'S ADS: RF SAMPLING ADSs OFFER ADVANTAGES IN SYSTEMS DESIGN

**В** настоящей публикации рассмотрены особенности и преимущества АЦП для сигналов радиочастотного диапазона.

Abstract - **R**<sup>F</sup> sampling ADCs with unique advantages in systems design are considered.

У. Джамохан

U. Jayamohan

Интегральные АЦП, выполненные по технологии 0.5, 0.35, 0.18 микрон, имеют достаточно высокие быстродействие и точность, однако требуют коррекцию характеристики, для чего вместе с ними используются многочисленные внешние компоненты. Пример функциональной схемы такого АЦП приведен на рис. 1. С освоением кремниевой технологии 65 нм возможности АЦП для радиочастотного диапазона существенно возросли. В состав таких АЦП с частотой выборки 1 ГГц и выше может входить целый вычислительный узел, как показано на рис. 2. До появления новой технологии с разрешением 65 нм вычислительные блоки АЦП выполнялись на основе заказных или программируемых БИС, что ограничивало параметры АЦП по быстродействию.

Сверхбыстродействующие АЦП являются основой для построения нового поколения радаров, цифровых приемопередатчиков и т.п.

Новое поколение радаров будет включать средства обработки смешанных сигналов, циф-

ровые понижающие преобразователи частоты, необходимые для обработки цифровых сигналов на выходе АЦП с сверхвысокой частотой выборки. В таких АЦП вместо LVDS-логики используются логические схемы с переключением тока с частотой передачи данных по каналу до 12.5 ГГц. Это позволяет при разработке аппаратных средств не тратить время на реконфигурацию АЦП или блока обработки данных при изменении полосы пропускания проектируемого изделия. При изменении частотного диапазона в таких АЦП достаточно внести изменения в его программное обеспечение.

Значительно возросший уровень интеграции позволяет встраивать в новые АЦП дополнительные функциональные узлы, такие как АРУ, пиковый детектор и многие другие, что уменьшает время на проектирование таких устройств в целом.

На рис. 3 приведена схема цифрового приемника, которая спроектирована на базе АЦП старого поколения и содержит много дополни-

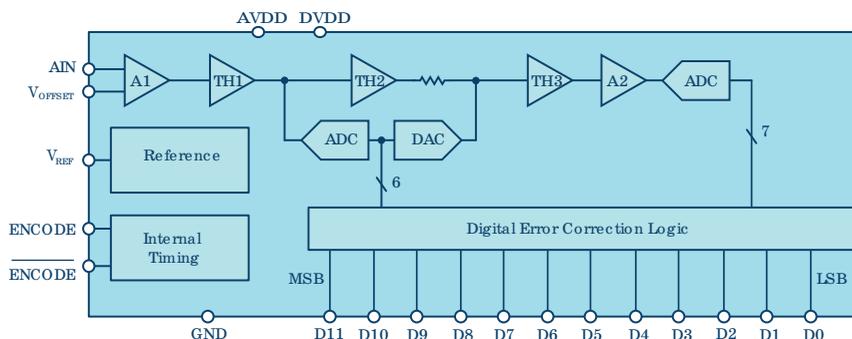


Рис.1. Быстродействующий АЦП предыдущего поколения

\* Jayamohan U. Not your grandfather's ADS: RF Sampling ADSs offer advantages in systems design. [www.analog.com/Technical\\_article](http://www.analog.com/Technical_article). Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

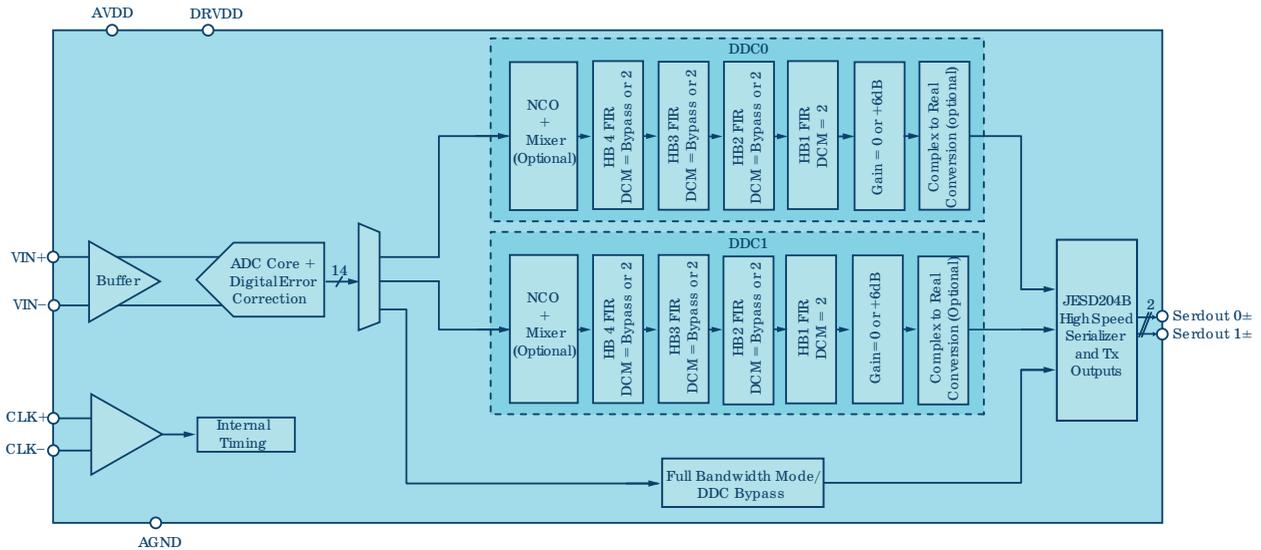


Рис. 2. АЦП с частотой выборки более 1 ГГц, содержащий узлы цифровой обработки сигналов

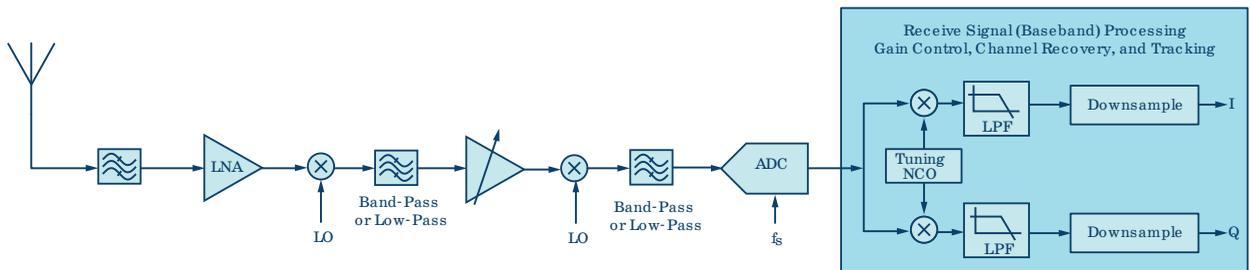


Рис. 3. Широкополосный цифровой приемник для спутниковых радаров

тельных ИМС для реализации необходимых узлов. Спектральная плотность шума (noise spectral density – NSD) GSM-приемника должна составлять не менее 153 дБ (от полной шкалы)/Гц. NSD связана с отношением сигнал/шум (SNR) АЦП приемника следующим уравнением

$$NSD = SNR + 10 \log 10 f_s,$$

где SNR измеряется в дБ (от полной шкалы),  $f_s$  – частота выборки АЦП.

На рис. 4 показано, что в полосе пропускания приемника, равной 50 МГц, эффективным является АЦП с частотой выборки 250 МГц. Кроме того, на спектральной диаграмме показано положение второй и третьей гармоник. Вторая и третья гармоники образуются в результате наложения спектров частоты выборки АЦП и частоты входного сигнала, рис. 5. Кроме перечисленных выше требований, цифровой приемник должны иметь достаточно

большую величину динамического диапазона неискаженного сигнала (SFDR). Для этого на входе АЦП цифрового приемника используют фильтр защиты от наложения спектров (AAF), как показано на рис. 6, причем в качестве АЦП использован преобразователь компании Analog Devices AD9467.

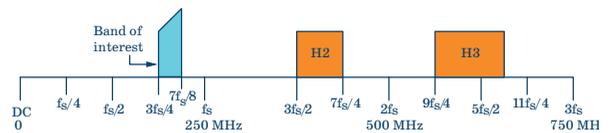
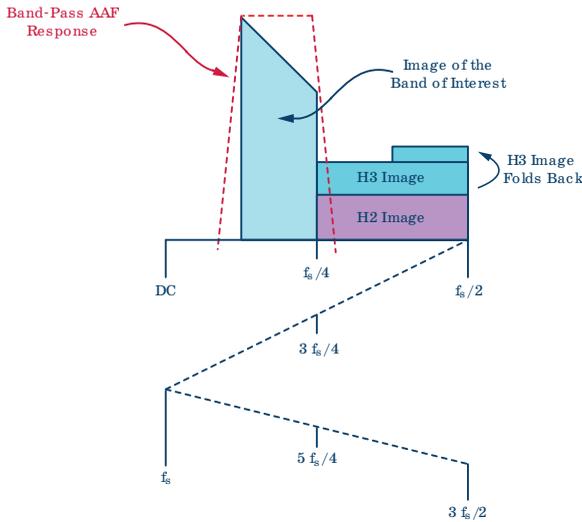


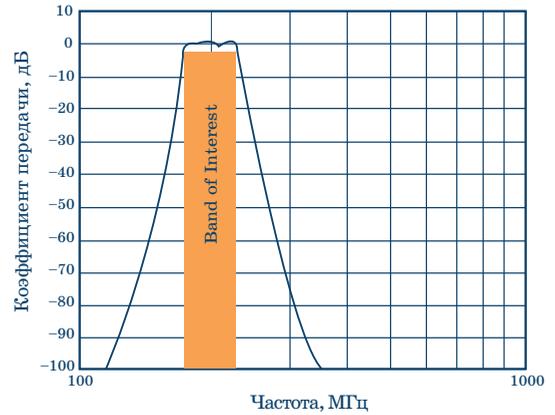
Рис. 4. Схема распределения частот для АЦП с частотой выборки 250 МГц и диапазоном входного сигнала 50 МГц

Частотная характеристика фильтра защиты от наложения спектров приведена рис. 7. Чтобы обеспечить необходимый динамический диапазон неискаженного сигнала, следует тщательно согласовать параметры компо-

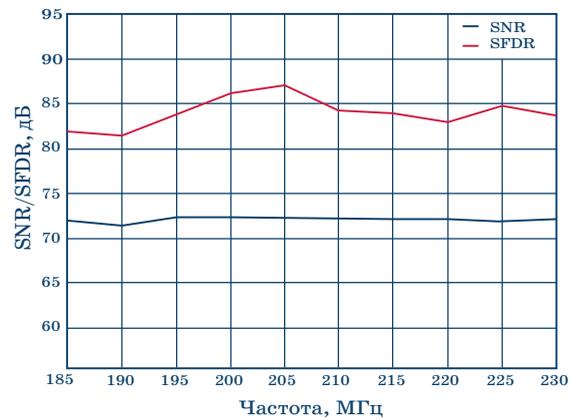


**Рис. 5. Зоны Найквиста для используемого диапазона частот входного сигнала**

нентов фильтра. Кроме того, необходимо обеспечить согласование этих компонентов по входному импедансу для обеспечения высокой равномерности АЧХ. Зависимость SNR/SFDR этого же фильтра от частоты приведена на рис. 8; зависимость SFDR от частоты – на рис. 9, спектральная характеристика фильтра приведена на рис. 10. Несмотря на удовлетворительные параметры рассмотренного цифрового приемника, его проектирование связано с определенными трудностями. Они вызваны сложностью проектирования цифровых узлов на программируемой логике FPGA, включая изготовление печатной платы и разработку специального программного обеспечения для цифровой обработки сигналов. Полностью интегральный АЦП с сверхвыборкой радиосигналов и встроенным дециматором обеспечива-

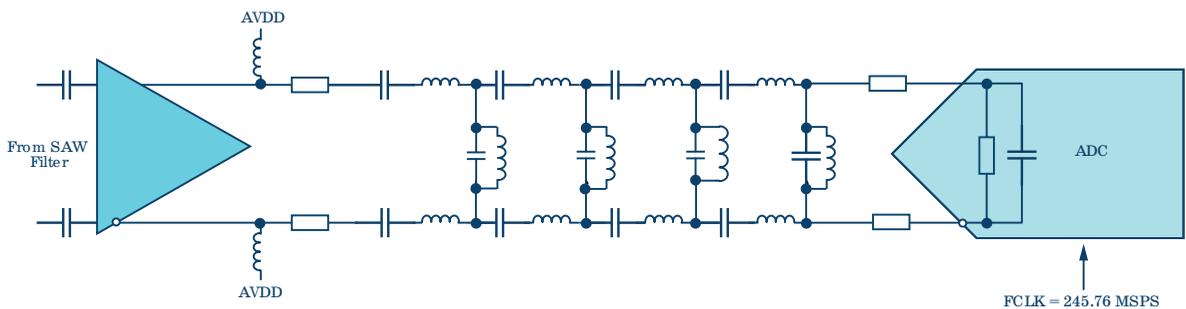


**Рис. 7. АЧХ фильтра, приведенного на рис. 6**

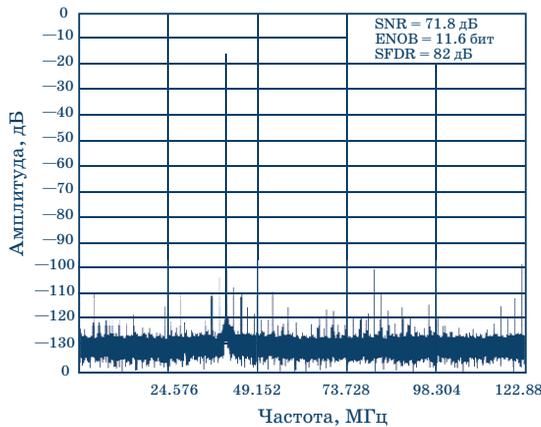


**Рис. 8. Зависимость SNR и SFDR от частоты 16-разрядного АЦП с частотой выборки 250 МГц**

ет улучшенный динамический диапазон. Такой АЦП, благодаря субмикронной технологии, содержит все необходимые цифровые узлы для обработки сигналов. Разработчику не нужно использовать программируемые и заказные БИС. Примером такого АЦП является

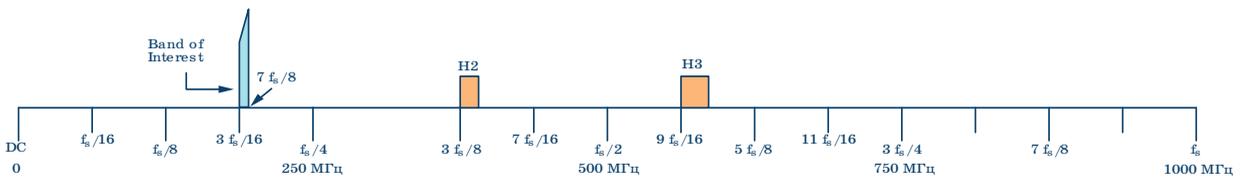


**Рис. 6. Схема включения фильтра для защиты от наложения спектров на входе АЦП с частотой выборки 250 МГц**

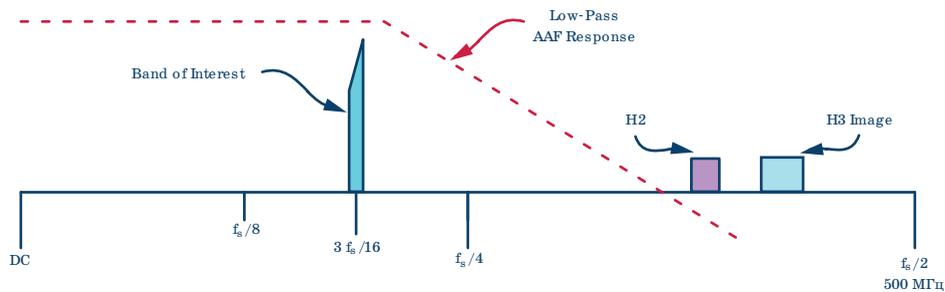


**Рис. 9. Спектральная диаграмма на выходе 16-разрядного АЦП с частотой выборки 250 МГц, приведенного на рис. 6**

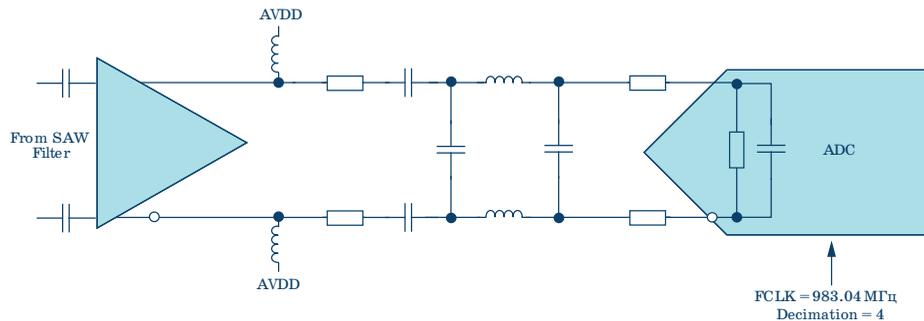
ИМС компании Analog Devices AD9680 с разрешением 14 бит и максимальной частотой выборки 1 ГГц. Спектральная плотность шума этого АЦП на максимальной частоте выборки составляет 67 дБ от полной шкалы. Схема распределения частот для этого АЦП, рис. 10, для полосы 50 МГц и частоты выборки 1 ГГц выглядит значительно проще, чем аналогичная схема для АЦП AD9467, приведенная на рис. 4. Требования к фильтру защиты от спектров наложения для АЦП AD9680 тоже могут быть снижены, как следует из рис. 11, 12. АЧХ фильтра нижних частот нового АЦП в составе фильтра защиты от спектров наложения приведена на рис. 13. Структурная схема АЦП AD9680 для цифрового приемопередатчика приведена на рис. 14. В ее составе имеется



**Рис. 10. Схема распределения частот для АЦП с частотой выборки 1 ГГц и диапазоном входного сигнала 50 МГц**



**Рис. 11. Зоны Найквиста для фильтра защиты от наложения спектров при частоте выборки АЦП 1 ГГц**



**Рис. 12. Схема включения фильтра для защиты от наложения спектров для АЦП с частотой выборки 1 ГГц**

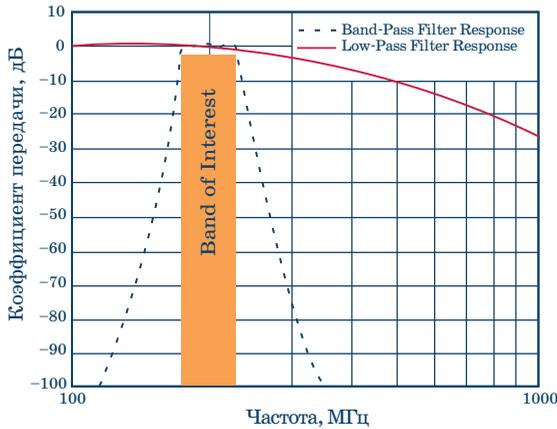


Рис. 13. АЧХ фильтра, приведенного на рис. 12

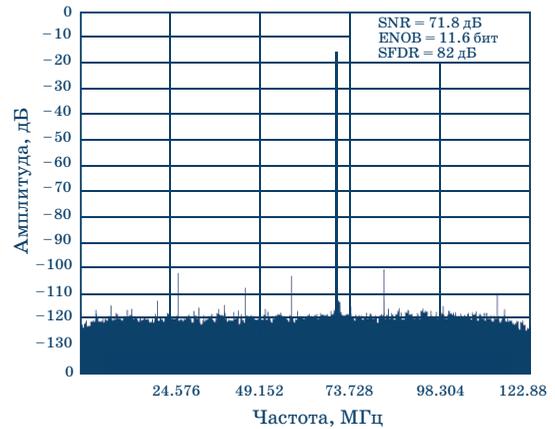


Рис. 16. Спектральная диаграмма на выходе АЦП с частотой выборки 1 ГГц и подстройкой частоты NCO до 200 МГц

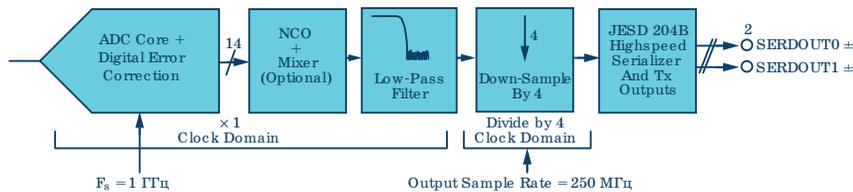


Рис. 14. Структурная схема АЦП нового поколения с частотой выборки 1 ГГц

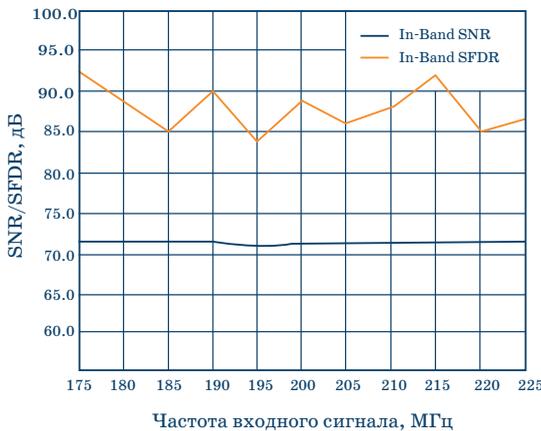


Рис. 15. Зависимость SNR и SFDR от частоты 14-разрядного АЦП с частотой выборки 1 ГГц

цифровой понижающий преобразователь частоты и дециматор, выполненные на одном кристалле. Отношение сигнал/шум АЦП AD9680 составляет 66-67 дБ от полной шкалы. Использование цифрового понижающего преобразователя частоты и дециматора улучшает отношение сигнал/шум не менее чем на 6 дБ.

Отметим, что если блок цифровой обработки сигналов, в частности, дециматор, настроен

некорректно, в интересующий нас частотный диапазон могут попасть ложные спектры. Если центральную полосу интересующего нас диапазона путем программной подстройки поместить в центр искомой зоны Найквиста, ложные спектры можно существенно ослабить (рис. 16).

**ВЫВОДЫ:**

1. Использование субмикронных технологий при производстве быстродействующих АЦП позволяет вместе с собственно преобразователем встроить в кристалл необходимые узлы цифровой обработки сигналов.
2. Появление на рынке таких АЦП как AD9680 дает возможность проектировать цифровые приемопередатчики, полосу которых можно перестраивать программным путем. Кроме того, это позволяет исключить дополнительные компоненты, такие как программируемые и заказные БИС, применяемые в АЦП предыдущих поколений для цифровой обработки сигналов.

We make it **possible**

- диапазон рабочих температур от  $-90^{\circ}$  до  $+400^{\circ}$  C
- срок службы 30 лет



Цельнометаллические демпферы



Резиновые виброизоляторы



Силиконовые виброизоляторы



Цельнометаллические подушки



Тросовые амортизаторы



Малогабаритные  
цельнометаллические  
амортизаторы



Шнуры изоляции  
электромагнитных волн



Пружинные изоляторы

Основным направлением работы фирмы Hutchinson, является производство широкого ряда цельнометаллических демпферов (амортизаторов, виброизоляторов, виброопор), как малогабаритных – для различного вида электронного и навигационного оборудования, так и крупногабаритных – для различных областей применения.

Все изделия имеют широкий диапазон статической нагрузки и устойчивы к воздействию агрессивной среды, сохраняют свои характеристики в диапазоне температур от  $-90^{\circ}$  до  $+400^{\circ}$  C. Срок службы не менее 30 лет.

Рабочим телом демпферов является металлическая подушка, изготовленная из нержавеющей CrNi стальной арматурной проволоки.



VD MAIS авторизованный торговый представитель фирмы  
 Hutchinson Stop-Choc GmbH & Co. KG (Германия) в Украине

тел./факс: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (032) 245-5478, (048) 734-1954  
 info@vdmiais.ua; www.vdmiais.ua

## КАК ВЫБРАТЬ РЕЗИСТОР ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ \*

Т. Коллинз

THE TRUTH ABOUT VOLTAGE FEEDBACK RESISTORS

T. Collins

Для усиления сигналов используются ОУ с обратной связью. Величина коэффициента усиления устанавливается отношением резисторов  $R_F/R_G$ . После выбора соотношения  $R_F/R_G$  необходимо выбрать величины сопротивлений каждого из этих резисторов. От величины этих резисторов зависит устойчивость работы усилителя. Внутренний входной конденсатор ИМС операционного усилителя вместе с внешним резистором образуют полюс передаточной функции системы с обратной связью. Если величина  $R_F$  велика, то положение этого полюса влияет на устойчивость ОУ. Если полюс находится на частоте, превышающей частоту среза, усилитель работает устойчиво. Если частота  $f_c = 1/(2\pi R_F C_{IN})$ , находится вблизи частоты среза, то запас по фазе практически отсутствует и усилитель может потерять устойчивость. На рис. 1 приведена схема неинвертирующего ОУ с коэффициентом усиления 2 и АЧХ этой схемы при сопротивлении обратной связи  $R_F = 499 \text{ Ом}$ ,  $1 \text{ кОм}$  и  $10 \text{ кОм}$ . Рекомендуется использовать сопротивление  $499 \text{ Ом}$ . Из рис. 1 следует, чем больше величина резистора обратной связи, тем менее стабильно работает ОУ. Поэтому в цепи обратной связи не рекомендуется использовать высокоомные резисторы.

На рис. 2 приведены результаты моделирования передаточной функции в среде SPICE схемы ОУ, приведенной на рис. 1, при разных величинах резистора  $R_F$ . На рис. 3 приведена схема включения ОУ с конденсатором в цепи обратной связи и полученная путем моделирования импульсная переходная характеристика этой схемы.

В ряде случаев снижение величины  $R_F$  приводит к увеличению мощности рассеяния. Включение в цепь обратной связи конденсатора необходимой емкости позволяет увеличить

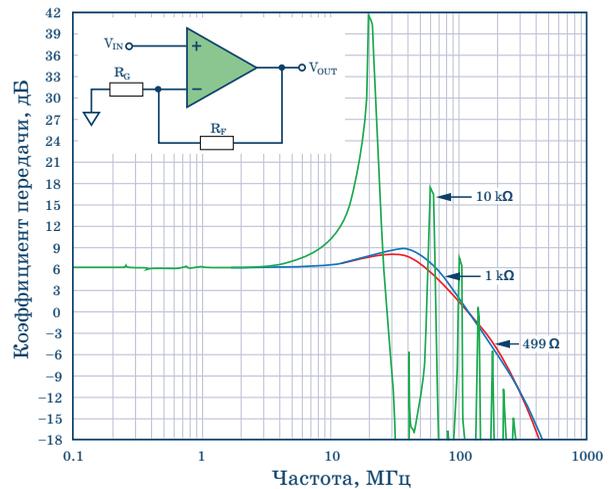


Рис. 1. Результаты измерения АЧХ усилителя при  $U_n = \pm 5 \text{ В}$ ,  $V_{out} = 40 \text{ мВ}$ ,  $R_{LOAD} = 1 \text{ кОм}$  и  $R_F = 499 \text{ Ом}$ ,  $1 \text{ кОм}$  и  $10 \text{ кОм}$

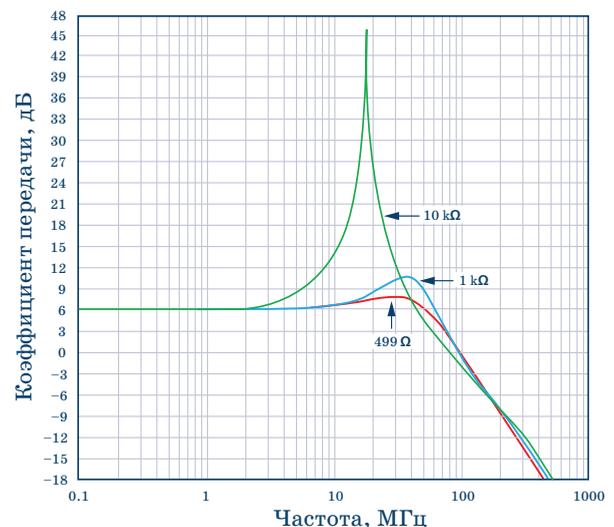
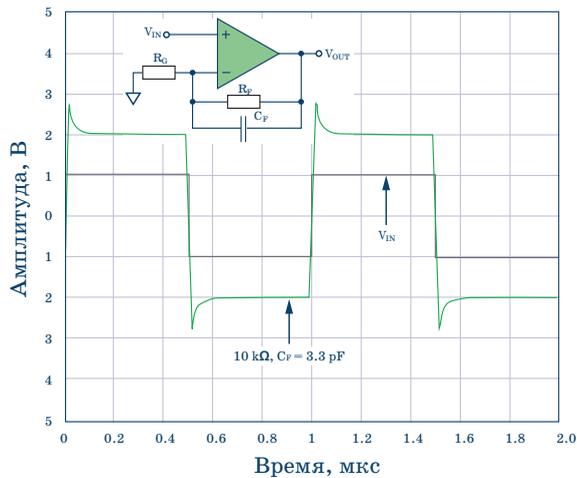


Рис. 2. Результаты моделирования передаточной характеристики усилителя на основе ИМС ADA4807 при  $U_n = \pm 5 \text{ В}$ ,  $G = 2$ ,  $R_{LOAD} = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_F = 499 \text{ Ом}$ ,  $1 \text{ кОм}$  и  $10 \text{ кОм}$

\* Collins T. The Truth About Voltage Feedback Resistors. Analog Dialogue 49-10, October 2015. [www.analog.com/analogdialogue](http://www.analog.com/analogdialogue). Сокращенный перевод с английского В. Романова.



**Рис. 3. Переходная характеристика усилителя с конденсатором в цепи обратной связи при  $U_n = \pm 5$  В,  $G = 2$ ,  $R_{LOAD} = 1$  кОм,  $R_F = 10$  кОм и  $C_F = 3.3$  пФ**

сопротивление  $R_F$ , но при этом уменьшается полоса пропускания усилителя.

Таким образом, при проектировании усилителей с обратной связью следует выбирать величину резистора обратной связи исходя из требований к устойчивости, полосе пропускания и мощности рассеяния. Если все эти требования к усилителю на основе выбранной ИМС ОУ выполнить невозможно, следует выбрать другой тип ОУ, удовлетворяющий поставленным требованиям.

**VD MAIS**  
PCB Professionally

Украина,  
03061 Киев  
ул. М. Донца, 6

тел. (38-044)220-0101  
факс (38-044)220-0202  
info@vdmals.kiev.ua  
www.vdmals.kiev.ua

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- проектирование
- производство

**НПФ VD MAIS предлагает:**

- проектирование
- технологическую подготовку производства
- изготовление любого количества
  - по ГОСТ 23752-79
  - по стандарту IPC-A-600
- проектирование и изготовление трафаретов для нанесения паяльной пасты
- качество работы, соответствующее требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009

[ 20 лет на рынке печатных плат ]

**VD MAIS**  
PCB Professionally

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmals.ua, www.vdmals.ua

## ПОЧЕМУ ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ ОУ ДЛЯ СИГНАЛА НИЗКОГО УРОВНЯ ШИРЕ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ СИГНАЛОВ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ \*



Когда мы рассуждаем о полосе пропускания усилителя, мы, как правило, имеем в виду реакцию усилителя на сигнал низкого уровня (small signal). Исходя из этого предположения, усилитель представляет собой линейную систему, т.е. его усиление не зависит от амплитуды входного сигнала. Такое предположение верно для случая, когда смещение рабочей точки транзистора невелико, и оно практически не влияет на искажение линейности усилителя. При большой амплитуде входного сигнала усилитель переходит в нелинейный режим и его уже невозможно игнорировать. Если скорость нарастания выходного сигнала усилителя ограничена, это значит, что на входе синусоидальный сигнал уже достиг максимума и начинает уменьшаться, а на выходе он все еще продолжает расти. Таким образом, искажения сигнала на выходе усилителя растут с увеличением амплитуды и частоты сигнала на его входе. Это хорошо видно на осциллограмме входного и выходного сигналов усилителя, приведенной на рисунке. Как правило, скорость нарастания выходного сигнала усилителя приведена в технической документации (data sheet) только для малого сигнала. Зная ее, можно воспользоваться следующим выражением для определения скорости нарастания выходного сигнала усилителя (slew rate – SR) для сигналов большой амплитуды  $A_{\max}$

$$SR = A_{\max} 2\pi F \text{ [В/мкс]}$$

При выборе усилителя следует предусмотреть не менее чем десятикратный запас для скорости нарастания его выходного сигнала.

Так, например, повторитель на основе ИМС

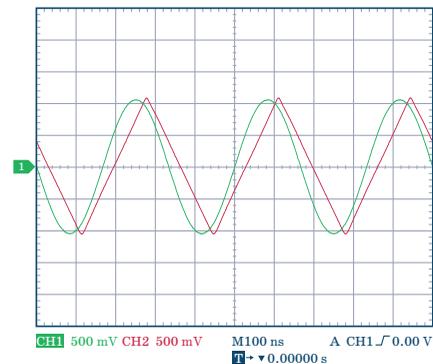
*Г. Кастро*  
**WHY SMALL SIGNAL BANDWIDTH ALONG WITH A LARGE SIGNAL BANDWIDTH ARE QUITE DIFFERENT**

*G. Castro*

усилителя ADA4807-1 имеет скорость нарастания 225 В/мкс при напряжении питания  $\pm 5\text{В}$ . Если для малого сигнала его полоса пропускания достигает 180 МГц, то при размахе входного сигнала  $\pm 2\text{В}$  его полоса составляет не более 36 МГц, а при размахе  $\pm 4\text{В}$  – 18 МГц.

Отметим, что скорость нарастания выходного сигнала усилителя обычно нормируется при сигнале прямоугольной формы на входе. Поэтому при синусоидальном сигнале на входе скорость нарастания может быть ниже, чем та, что указана в технической документации.

Таким образом, чтобы обеспечить широкую полосу пропускания усилителя и высокую скорость нарастания сигнала на его выходе, необходимо выбирать усилители, имеющие запас по этим параметрам, чтобы исключить или по крайней мере уменьшить искажения высокочастотных сигналов при их усилении. Особенно это относится к сигналам большой амплитуды.



**Осциллограмма входного сигнала (зеленый) и выходного (красный) при частоте входного сигнала 3 МГц, размахе 2 В и полосе пропускания усилителя 80 МГц для сигналов низкого уровня**

\* Castro G. Why Small Signal Bandwidth along with a large Signal Bandwidth are quite different. Analog Dialogue, Issue 128, April 2016. Сокращенный перевод с английского В. Романова.

## КАК ПОСТУПАТЬ С НЕИСПОЛЬЗУЕМЫМИ ВЫВОДАМИ ИМС \*

Д. Брайнт  
**UNUSED PINS**  
J. Bryant



Как правило, ряд выводов ИМС не используются при ее работе. Они обозначены как «NC» выводы на диаграмме ИМС. Такое обозначение может иметь разный смысл, который не всегда раскрыт в технической документации «data sheet». В большинстве случаев вывод ИМС с обозначением «NC» не подсоединен к кристаллу, тогда его следует заземлить при разводке печатной платы. Но в ряде случаев такой вывод используется для калибровки или проверки работоспособности ИМС в процессе производства, причем в разрабатываемом устройстве этот вывод не используется. Хорошо, если на диаграмме выводов ИМС он имеет специальное обозначение «IC», что означает «внутреннее соединение». Если в проектируемом изделии это вывод заземлить или подключить к шине питания, можно вывести из строя микросхему. Поэтому, в случае, если data sheet не содержит специальной информации об особенностях подключения такого вывода, следует или вообще не подключать его к шинам на печатной плате, или проконсультироваться с разработчиками этой ИМС.

В общем случае неиспользуемые выводы

ИМС не следует оставлять без подключения. Рассмотрим несколько распространенных примеров:

1. Цифровые или логические ИМС, как правило, имеют входы, которые должны быть постоянно подключены к логическому нулю или единице. Если оставить такой вывод не подключенным к шине при разводке печатной платы, на нем может образоваться плавающий потенциал, который впоследствии приведет к ложным срабатываниям логической ИМС. В некоторых случаях такие ИМС содержат внутренние резисторы подтяжки, тогда такой вывод можно оставить без подключения. Но если такой вывод ИМС чувствителен к воздействию статического электричества или электромагнитного поля, его следует подключить к шине питания в соответствии с рекомендациями технической документации.

2. В аналоговых ИМС неиспользуемые выводы, как правило, подключают к одной из шин постоянного тока или к шине земли. Иначе плавающий потенциал на этом выводе может привести к потере устойчивости проектируемого устройства.

3. В ряде случаев неиспользуемые выводы буферных каскадов или усилителей могут генерировать ложные колебания, если их не заземлить через конденсатор или резистор.

4. Неиспользуемые выводы ИМС с выходом источника тока требуют включения резистора подтяжки.

Таким образом, при применении ИМС с неиспользуемыми выводами следует внимательно разобраться, какие функции возложены на эти выводы, и только тогда принимать решение об их подключении к какой-либо шине на печатной плате.

\*Bryant J. Unused Pins. Analog Dialogue 49-11, November 2015. [www.analog.com/analogdialogue](http://www.analog.com/analogdialogue). Сокращенный перевод с английского В.Романова.

## НОВЫЕ ДРАЙВЕРЫ СВЕТОДИОДОВ И БЛОКИ ПИТАНИЯ КОМПАНИИ MEAN WELL: HLG-320H-C, RPS-120

В статье приведены основные технические характеристики и возможности новых драйверов светодиодов HLG-320H-C выходной мощностью 320 Вт и блоков питания RPS-120 (120 Вт).



### NEW POWER SUPPLY: HLG-320H-C AND RPS-120

Abstract - The main characteristics and possibilities of LED power supplies HLG-320H-C series and medical power supply RPS-120 are considered in this article.

В. Охрименко

V. Okhrimenko

Компания Mean Well, производитель разнообразных блоков питания и драйверов светодиодов, анонсировала новую серию драйверов HLG-320H-C выходной мощностью до 320 Вт и блоки питания для медицинского оборудования RPS-120 мощностью до 120 Вт [1-3].

#### Драйверы HLG-320H-C

Драйверы HLG-320H-C (рис. 1) соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP65/67 (International Protection) и ориентированы на применение в системах светодиодного уличного освещения, декоративной архитектурной подсветки магазинов, офисов и пр.



Рис. 1. Драйвер светодиодов HLG-320H-C

Благодаря защите от воздействия влаги возможно применение в системах освещения морских портов, бухт, заливов и теплиц. Конструктивно драйверы выполнены в закрытом металлическом корпусе габаритными размерами 252×90×43.8 мм. Гарантийный срок семь лет.

Основные технические характеристики драйверов приведены в табл. 1, структура драйверов HLG-320H-C – на рис. 2. Новые драйверы обеспечивают максимальный выходной ток до 3.5А. Драйверы HLG-320H-C содержат встроенный активный корректор коэффициента мощности. При входном напряжении 277 В и нагрузке 100% коэффициент PF 0.92.

В драйверах HLG-320H-C предусмотрена возможность плавного регулирования выходного тока с использованием или сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В или ШИМ-сигнала с регулируемой скважностью (частота сигнала 0.1...3 кГц, амплитуда 10 В). Кроме того, возможна регулировка выходного тока с помощью встроенного или внешнего потенциометра, соответственно в модификациях с классом защиты IP65 или IP67. Сигналы управления уровнем выходного тока подаются на выходы драйвера "DIM+" и "DIM-".

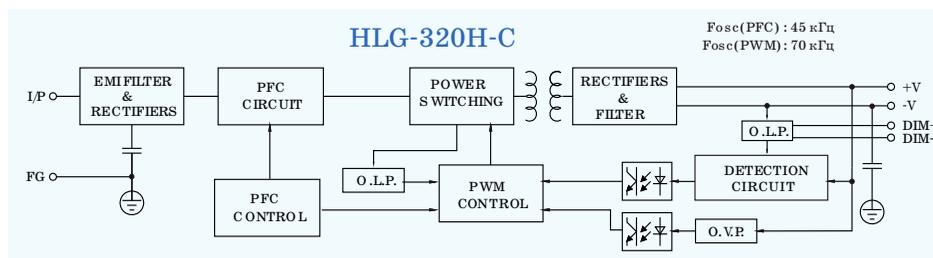


Рис. 2. Структура драйвера светодиодов HLG-320H-C

Таблица 1. Основные технические характеристики драйверов светодиодов серии HLG-320H-C

Характеристика	Значение							
<b>Вход</b>								
Диапазон входных напряжений, В	90-305 В переменного тока (47-63 Гц), 127-431 В постоянного тока							
Входной ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	3.5 (115), 1.65 (230), 1.45 (277)							
Коэффициент мощности PF, типов.	PF 0.98 (115 В), PF 0.95 (230 В), PF 0.92 (277 В) при нагрузке 100%							
Коэффициент гармоник (THD), не более, %	20							
КПД, типов., %	94							
Ток утечки, не более, мА	0.75 (277 В переменного тока)							
<b>Выход</b>								
Выходной ток, мА	700	1050	1400	1750	2100	2800	3500	
Макс. вых. напряжение на х.х., В	435	311	234	187	156	118	95	
Выходная мощность, Вт	299.6	320.25	320.6	320.25	319.2	319.2	318.5	
Отклонение вых. тока, % $I_{ном}$	±5							
Уровень пульсаций вых. тока, % $I_{ном}$	±5							
Время старта, мс (вх. напряж. перем. тока, В)	1000 (115), 500 (230)							
Защита от КЗ	+							
Защита от перегрева	+							
Регулирование тока	+							
<b>Безопасность и ЭМС</b>								
Стандарты	EN55015, EN61000-3-2 Class C (50% load); EN61000-3-3, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61547, UL8750(type"HL"), CSA C22.2 No. 250.13-12; ENEC EN61347-1, EN61347-2-13, EN62384, IP65/IP67							
Прочность изоляции, кВ	3.75 кВ (перем. тока, выв. I/P-O/P); 2 кВ (перем. тока, выв. I/P-FG); 1.5 кВ (перем. тока, выв. O/P-FG)							
Сопротивление изоляции, не менее, МОм	100 (500 В пост. тока, 25 °С)							
<b>Надежность, окружающая среда, габаритные размеры</b>								
Наработка до отказа, мин., тыс. ч (MIL-HDBK-217F, 25 °С)	168.2							
Диапазон рабочих температур, °С	-40...85							
Относительная влажность воздуха, %	20...95							
Габаритные размеры, мм	252.0×90.0×48.3							
Масса, г	1880							
Гарантия	7 лет							

**RPS-120**

RPS-120 – компактные блоки питания выходной мощностью до 120 Вт при принуди-

тельном (10 CFM) или до 85 Вт при естественном охлаждении. Блоки снабжены встроенным источником питания 12 В/0.5 А для подключения вентилятора и выпускаются в двух

модификациях конструктивного исполнения (рис. 3): без кожуха (RPS-120-XX) или с кожухом (RPS-120-XX-C). При отсутствии нагрузки потребляемая мощность менее 0.3 Вт. Блоки питания RPS-120 не содержат корректора мощности. Предусмотрена защита от короткого замыкания, перегрева и перегрузки. Ток утечки между первичной и вторичной цепью менее 100 мкА, что соответствует уровню изоляции 2xMOPP (Means of Patient Protection),

рекомендованному в стандарте для медицинских изделий IEC60601-1. Это позволяет применять блоки питания RPS-120 в системах медицинского мониторинга пациента, оборудовании гемодиализа, стоматологическом оборудовании, а также в медицинских приборах, в которых при их эксплуатации не исключается возможность прикосновения пациента.

Основные параметры блоков питания RPS-120 приведены в табл. 2, структура – на рис. 4.

**Таблица 2. Основные параметры блоков питания RPS-120**

Наименование параметра	Обозначение				
	RPS-20-12	RPS-20-15	RPS-20-24	RPS-20-27	RPS-20-48
<b>Вход</b>					
Диапазон вх. напряжений, В	80-264 переменного тока (47-63 Гц), 113-370 постоянного тока				
Вх. ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	2.1 (115), 1.2 (230)				
КПД, типов., %	88	88.5	90	90	91
Ток утечки, не более, мкА	190 (264 В переменного тока)				
<b>Выход</b>					
Номинальное вых. напряж., В	12	15	24	27	48
Номинальный вых. ток, А	10	8	5	4.5	2.5
Номинальный вых. мощность, Вт	120			121.5	120
Диапазон регулировки вых. напряж., В	11.4-12.6	14.3-15.8	22.8-25.2	25.6-28.4	45.6-50.4
Отклонение вых. напряж., %	±2	±2	±1	±1	±1
Уровень шумов и пульсаций вых. напряж., п-п, макс. в полосе 20 МГц, мВ	120			150	200
<b>Надежность, безопасность, окружающая среда</b>					
Стандарты	ANSI/AAMI ES60601-1, TUV EN60601-1, IEC60601-1, EN55011 (CISPR11) Class B, EN61000-3-2,-3, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN55024, EN60601-1-2 (A)				
Прочность изоляции, кВ	4 кВ (перем. тока, выв. I/P-O/P)				
Сопротивление изоляции, не менее, МОм	100 (500 В пост. тока, 25 °С, влажность 70%)				
Наработка до отказа, мин., тыс. ч (MIL-HDBK-217F, 25 °С)	653.5				
Диапазон рабочих температур, °С	-30...70				
Относительная влажность воздуха, %	20...90 (без конденсата)				
Габаритные размеры, мм	101.6×50.8×29.0 (без кожуха), 103.4×62.0×40.0 (с кожухом)				
Масса, кг	0.15/0.24				
Гарантия	3 года				



Рис. 3. Блок питания RPS-120

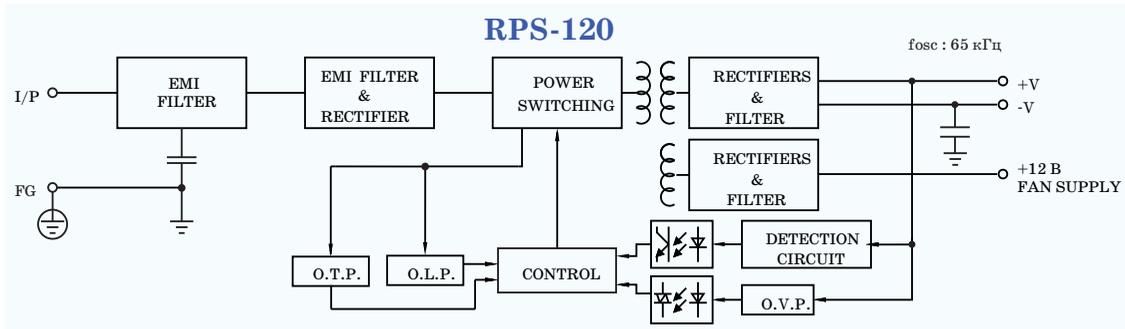


Рис. 4. Структура блока питания RPS-120

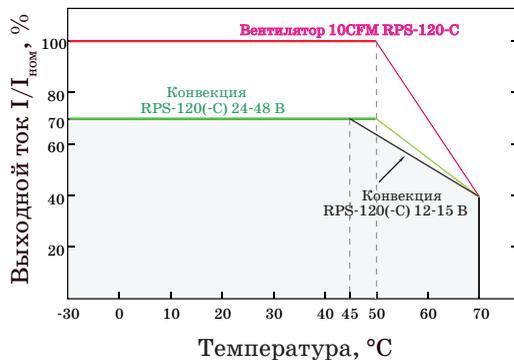


Рис. 5. Зависимость выходного тока от условий охлаждения

Зависимость выходного тока от условий охлаждения приведена на рис. 5.

Дополнительную информацию о продукции компании Mean Well можно найти в сети Интернет по адресу: [www.meanwell.com](http://www.meanwell.com) или в фирме VD MAIS, официальном дистрибьюторе Mean Well в Украине.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. 320W constant current mode LED driver HLG-320H-C series ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).
2. 120W single output green medical type RPS-120 series ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).
3. [www.meanwell.com](http://www.meanwell.com).

**VD MAIS**  
Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)

- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха - Устройства трафаретной печати - Системы установки компонентов - Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

**Дистрибуция и прямые поставки:**  
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essentec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha Techwin, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua), [www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

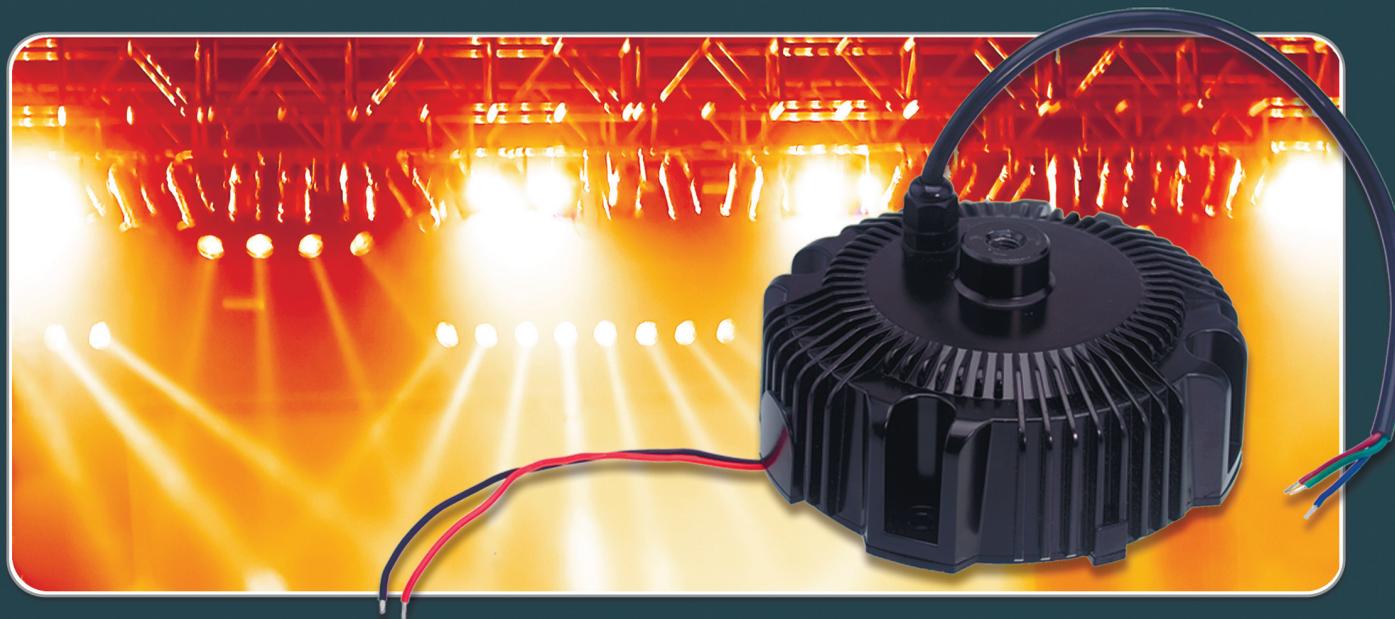
**VD MAIS**  
Контрактное производство электроники  
(по стандарту IPC-A-610)

- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 1,5 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 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.**  
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua), [www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

# Блоки питания серии HBG-160 и светодиодная система освещения – идеальный тандем



Оригинальная конструкция,  
удобство применения,  
высокая надежность!

#### Технические характеристики:

- выходная мощность 160 Вт
- входное напряжение 90-305 В (47-63 Гц)
- выходное напряжение 24, 36, 48 или 60 В
- регулировка выходного тока
- КПД до 93.5%
- класс защиты IP65/IP67
- диапазон рабочих температур от -40 до 60 °С
- срок службы 40 000 часов
- гарантия – 5 лет

#### Применение:

- подвесные светильники
- источники направленного излучения
- мощные потолочные светильники
- освещение сцены, подмостков



[www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)



**VD MAIS** – официальный дистрибьютор компании Mean Well в Украине

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 274-6897, (032) 245-5478,  
(048) 734-1954, [info@vdmαιs.ua](mailto:info@vdmαιs.ua), [www.vdmαιs.ua](http://www.vdmαιs.ua)

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНХРОННОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В NI MULTISIM

**В** статье рассмотрены вопросы эффективности использования синхронного выпрямителя в AC/DC- и в DC/DC-преобразователях. Проведено моделирование выпрямителей на диодах Шоттки, идеальных ключах и ключах с использованием МДП-транзисторов. Результаты экспериментов не подтверждают безоговорочное преимущество синхронных выпрямителей. Предложено использование комбинированных схем выпрямителей для повышения их КПД.

В. Макаренко

В работах [1-3] 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.

Если верить этим источникам, то все преобразователи давно нужно перевести на использование синхронных выпрямителей. Однако на практике это далеко не так. Продолжается выпуск преобразователей с использованием диодов Шоттки как в старых, так и в новых разработках.

Целью этой статьи является попытка проследить некоторые закономерности при использовании синхронных выпрямителей и сформировать обоснованные рекомендации по их применению. При этом задачи анализа схем преобразователей не ставятся, а производится только оценка эффективности применения

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SYNCHRONOUS RECTIFIER BY SIMULATION IN NI MULTISIM

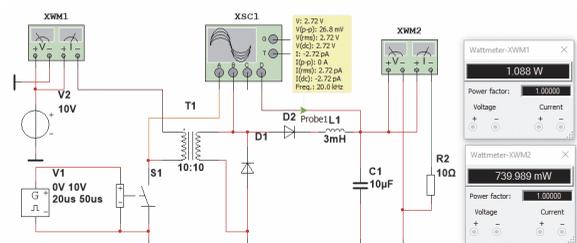
**Abstract** – The article considers issues of efficiency of the use of synchronous rectifier in AC/DC and DC/DC converters. The simulation of the rectifiers diode Schottky, perfect keys and keys using MOS transistors was executed. The results of the experiments do not confirm unconditional advantage of the synchronous rectifiers. It was proposed the use of combined circuits of the rectifiers to increase their efficiency.

V. Makarenko

синхронного выпрямителя по сравнению с выпрямителем на диодах Шоттки.

Программа NI Multisim для выполнения таких задач подходит наилучшим образом. Для исследования можно использовать как виртуальные устройства с идеальными характеристиками, так и модели реальных полупроводниковых приборов.

Для оценки эффективности использования различных элементов в выпрямителях необходимо сформировать схему преобразователя, в котором осуществляется контроль мощности отдаваемой источником энергии и мощности, отдаваемой в нагрузку. На рис. 1 приведена схема однотактного обратного преобразователя с выпрямителем, построенным на виртуальных идеальных диодах.



**Рис. 1. Схема для исследования выпрямителя с LC-фильтром, выполненного на идеальных диодах**

В качестве ключа S1 использован ключ

VOLTAGE\_CONTROLLED\_SPST, сопротивление которого в открытом состоянии  $R_{on}$  установлено равным 0.01 мОм (рис. 2).

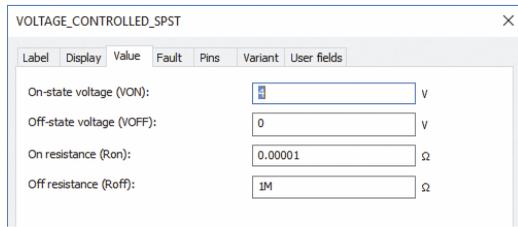


Рис. 2. Окно настройки параметров ключа VOLTAGE\_CONTROLLED\_SPST

Контроль мощности, отдаваемой источником питания, и в нагрузку осуществляется с помощью ваттметров XMM1 и XMM2, соответственно, а постоянное напряжение и размах пульсаций на выходе контролируется пробником Probe1.

Осциллограммы сигналов, снятые в различных точках схемы, приведены на рис. 3. С учетом того, что сравнивать параметры различных выпрямителей необходимо при одинаковых начальных условиях и для работы синхронного выпрямителя необходимы защитные промежутки между сигналами управления, длительность импульсов управления ключом преобразователя во всех экспериментах установлена равной 20 мкс при периоде их следования равном 50 мкс.



Рис. 3. Осциллограммы сигналов на входе/выходе трансформатора и на выходе выпрямителя (нижня)

Эксперимент показал, что при использовании таких компонентов мощность, отдаваемая источником питания, составила 1.088 Вт, мощность, отданная в нагрузку 0.74 Вт, а КПД – 68%. Размах напряжения пульсаций 26.8

мВ (рис. 1). Для увеличения мощности в нагрузке индуктивность L1 была уменьшена до 20 мкГн, а емкость C1 увеличена до 500 мкФ (для сохранения такого же уровня пульсаций, как и в первом эксперименте), что привело к увеличению выходной мощности до 4.453 Вт и КПД до 88.3%.

Поэтому катушка фильтра была исключена и в дальнейшем использовался емкостной фильтр (рис. 4), емкость конденсатора которого была увеличена до 1000 мкФ.

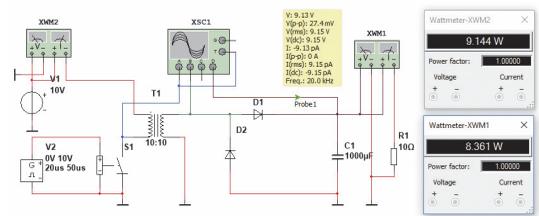


Рис. 4. Схема для исследования выпрямителя с емкостным фильтром, выполненного на идеальных диодах

При использовании емкостного фильтра КПД преобразователя составил 91.4%.

На базе схемы, приведенной на рис. 4, создана модель преобразователя с выпрямителем на диодах Шоттки (рис. 5). Временные диаграммы сигналов для этой схемы приведены на рис. 6. КПД с выпрямителем на диодах Шоттки типа 1N5828 составил 96.7%, а с 1N5834 – 97.18%. Увеличение КПД при использовании диодов Шоттки объясняется меньшим прямым падением напряжения на открытом диоде.

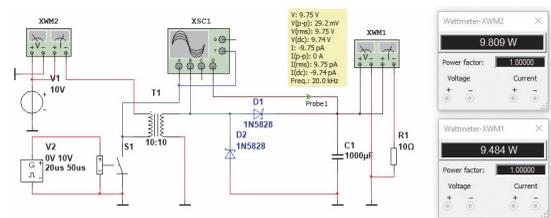
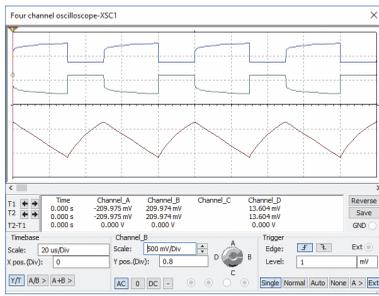


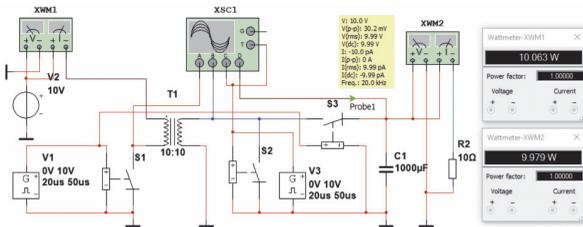
Рис. 5. Схема для исследования выпрямителя с емкостным фильтром, выполненного на диодах Шоттки

Модель преобразователя с синхронным выпрямителем, построенным на идеальных ключах S2 и S3, приведена на рис. 7.

Для синхронного выпрямителя основным параметром является сопротивление открыто-



**Рис. 6. Осциллограммы сигналов на входе/выходе трансформатора и на выходе выпрямителя (нижняя) для схемы, приведенной на рис. 5**



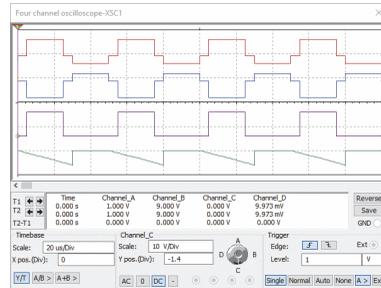
**Рис. 7. Схема для исследования однополупериодного синхронного выпрямителя с емкостным фильтром, выполненного на идеальных ключах**

го ключа, которое и определяет потери мощности в таком выпрямителе. В качестве источника управляющего сигнала использован генератор прямоугольных импульсов V1, управляющий работой ключа преобразователя S1. Питание преобразователя осуществляется от источника постоянного напряжения 10 В (V2). Гальваническая развязка первичной и вторичной цепи преобразователя осуществляется с помощью идеального трансформатора T1 с коэффициентом трансформации, равным единице, и активным сопротивлением обмоток 1 мОм.

Управление ключом S2 синхронного выпрямителя осуществляет генератор V3. Так как в Multisim все генераторы, используемые в модели, имеют нулевую начальную фазу колебаний, это дает возможность исследовать свойства выпрямителя при изменении времени задержки сигнала управления относительно сигнала, который выпрямляется, с использованием для этого различных генераторов.

Для первого эксперимента сопротивление открытого ключа S1 (Ron) установлено равным 0.01 мОм, а ключей синхронного выпрямителя S2 и S3 равным 1 мОм (рис. 2). Длительность

импульсов на выходе генераторов V1 и V2 равна 20 мкс, защитный промежуток 2.5 мкс, период следования импульсов 50 мкс. Осциллограммы сигналов, снятые в различных точках схемы, приведены на рис. 8.



**Рис. 8. Осциллограммы сигналов на входе/выходе трансформатора, входе управления ключа S2 и на выходе выпрямителя (нижняя) для схемы, приведенной на рис. 7**

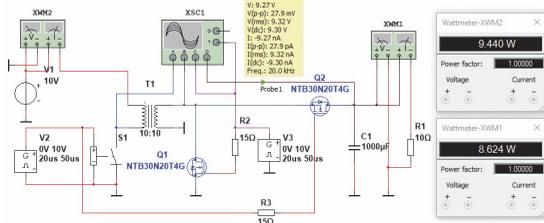
Нижняя осциллограмма на рис. 8 иллюстрирует пульсации напряжения на нагрузке. В результате проведенного эксперимента удалось выяснить, что мощность в нагрузке (при указанных выше параметрах моделирования) составила 9.979 Вт, а мощность, отдаваемая источником питания, 10.063 Вт, что соответствует КПД 99.2%.

Таким образом, синхронный выпрямитель на идеальных ключах показал наиболее высокий результат по КПД из всех рассмотренных схем. Для проверки зависимости КПД от сопротивления открытого ключа (S2 и S3) было проведено еще два эксперимента, в которых Ron устанавливалось равным 0.01 и 0.1 Ом. При сопротивлении ключа 0.01 Ом КПД составил 99.7%, а при 0.1 Ом – 97.7%. Если уменьшение КПД при увеличении Ron до 0.1 Ом вполне объяснимо из-за роста потерь мощности, то увеличение КПД при сопротивлении 0.01 Ом по сравнению со случаем 0.001 Ом на первый взгляд объяснить затруднительно.

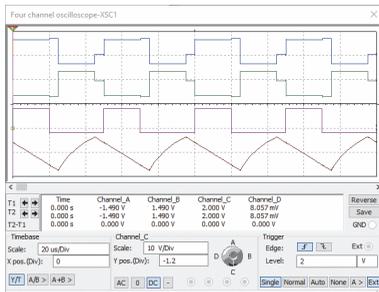
Модель для исследования синхронного выпрямителя на полевых транзисторах приведена на рис. 9, а временные диаграммы сигналов – на рис. 10.

В качестве ключей использованы полевые транзисторы NTB30N20T4G (Power MOSFET 200 В, 30 А, 81 мОм, N-канал). Для выбранного типа транзисторов КПД составил 91.4%.

Для оценки влияния параметров транзисто-



**Рис. 9. Схема для исследования однополупериодного синхронного выпрямителя с емкостным фильтром, выполненного на полевых транзисторах**



**Рис. 8. Осциллограммы сигналов на входе/выходе трансформатора, входе управления ключа Q1 и на выходе выпрямителя (нижняя) для схемы, приведенной на рис. 9**

ров синхронного выпрямителя на его КПД было проведено несколько экспериментов, результаты которых представлены в таблице. Параметры управляющих сигналов при этих экспериментах сохранялись неизменными кроме длительности фронтов управляющих сигналов, формируемых генераторами V2 и V3.

Результаты в табл. 1 расположены по

уменьшению сопротивления открытого ключа. И если первые 3 строки подтверждают положение о том, что сопротивление открытого ключа определяет КПД [2], то последующие 3 строки это опровергают. С аналогичным случаем мы столкнулись при изменении сопротивления идеального ключа. Следовательно, этот вопрос требует дополнительного исследования.

При увеличении длительности фронтов управляющих сигналов изменение КПД происходит еще более странным образом. Для некоторых типов транзисторов он увеличивается (например, для BSB017N03LX3 G), а для других уменьшается.

Кроме того, сравнивая КПД синхронного выпрямителя на идеальных ключах и на полевых транзисторах, видим, что при сопротивлении идеального ключа 100 мОм он имеет КПД выше, чем у самого лучшего выпрямителя на полевых транзисторах с сопротивлением открытого ключа 4.9 мОм – 97.7% против 95.8%, что также требует поиска других факторов, влияющих на КПД.

Известно, что потери мощности происходят в моменты переключения ключей, когда его сопротивление изменяется от минимального до максимального. Чем больше время переключения, тем большие потери мощности будут происходить на нем при прочих равных условиях. Однако, сравнивая параметры транзисторов, приведенные в data sheet, видим, что результаты эксперимента это положение не подтверждают. Например, время переключения транзистора BSO040N03MS G составляет 18 нс, а транзистора BSZ018NE2LS – 4.8 нс, а

**Зависимость КПД синхронного выпрямителя от параметров транзисторов ключей**

Тип транзистора	$R_{on}$ , мОм	$I_{пр}$ , А	$U_{обр. макс}$ , В	$P_{вых}$ , Вт	КПД, %	
					$t_{\phi} = 1$ нс	$t_{\phi} = 25$ нс
NTB30N20T4G	81	30	200	8.624	91.4	93.8
ATP405-TL-H	33	40	100	8.57	92.4	91.8
BSO040N03MS G	4.9	20	30	8.930	95.8	94.5
BSZ018NE2LS	1.8	40	25	8.603	93.8	92.4
BSB017N03LX3 G	1.7	147	30	8.978	93.1	94.4
BSC010N04L	1.0	100	40	8.661	91.8	92.8

КПД выше при использовании BSO040N03MS G.

Сравнение с лучшим результатом с диодами Шоттки (97.18%) противоречит общепринятому мнению, что синхронный выпрямитель лучше, чем реализованный на диодах Шоттки. Даже лучший по КПД для синхронного выпрямителя на полевых транзисторах результат говорит не в его пользу.

Естественно предположить, что комбинация синхронного выпрямителя и диодов Шоттки может привести к увеличению КПД. Для проверки этого положения собрана модель, приведенная на рис. 11, в которой использованы элементы, обеспечивающие наихудшие параметры для каждого типа выпрямителей, рассмотренных в данной статье.

Полученный результат подтвердил высказанное предположение. КПД для схемы на рис. 11 составил 97.9%, что превышает наилучшие значения как для выпрямителей на диодах Шоттки, так и для синхронных выпрямителей на полевых транзисторах.

Дополнительные исследования зависимости КПД синхронного выпрямителя на идеальных ключах от сопротивления открытого ключа показали, что максимальное значение КПД получается при значении  $R_{on} = 7.5$  мОм (рис. 12).

### ВЫВОДЫ

1. Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что не всегда синхронный выпрямитель лучше, чем выпрямитель, выполненный на диодах Шоттки.

2. Для получения максимального КПД требуется тщательный подбор параметров сигналов управления ключами синхронного вы-



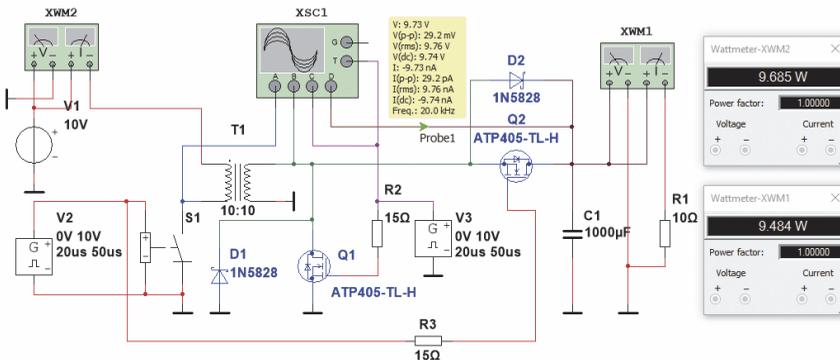
**Рис. 12. Зависимость КПД выпрямителя от сопротивления открытого идеального ключа**

прямителя. При использовании диодов Шоттки формировать управляющие сигналы нет необходимости.

3. Использование синхронных выпрямителей на полевых транзисторах с подключенными параллельно им диодами Шоттки позволяет повысить КПД выпрямителя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Power Management Guide/ <http://www.ti.com/lit/sg/slv145p/slv145p.pdf>.
2. Э. Фаньяни Увеличение КПД преобразователя за счет синхронного выпрямления/ Электронные компоненты, 2014, №4. с. 35-37.
3. М. Соломатин Применение компонентов International Rectifier для синхронного выпрямления / Электронные компоненты, 2010, №6. с. 12-20.



**Рис. 11. Схема для исследования комбинированного синхронного выпрямителя**

# О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА

**В** статье рассматриваются вопросы оптимизации параметров DC/DC-преобразователей с накачкой заряда для получения максимально возможного КПД. Проведено моделирование инвертирующего преобразователя в NI Multisim при вариации параметров элементов преобразователей. Сформулированы рекомендации по выбору параметров элементов преобразователей и формированию сигналов управления.

В. Макаренко

## ON THE CHOICE OF PARAMETERS OF DC/DC CONVERTERS WITH CHARGE PUMPS

**Abstract** – The article considers the questions of optimization of parameters of DC/DC converters with charge pumps to obtain the maximum possible efficiency. The simulation of the inverting Converter in NI Multisim at a variation of parameters of elements in converters. Recommendations on the choice of parameters of elements in converters and to the formation of the control signals are given.

V. Makarenko

Преобразователи с накачкой заряда (charge pump) для переноса и накопления энергии используют переключаемые конденсаторы, в отличие от DC/DC-преобразователей, использующих для накопления энергии в магнитном поле индуктивности. Интерес к преобразователям с накачкой заряда непрерывно растет в связи с их невысокой стоимостью и высоким КПД.

Конечно они уступают DC/DC-преобразователям по максимальной величине тока, отдаваемого в нагрузку, но в тех приложениях, где величина тока не превышает нескольких сот миллиампер, они могут использоваться весьма успешно [1, 2]. Многие ведущие производители ИМС выпускают такие преобразователи в интегральном исполнении, что позволяет минимизировать размеры преобразователей, построенных с их использованием.

Для уменьшения размеров конденсаторов и оптимизации выходного тока в преобразователях с накачкой заряда повышают частоту переключения и стараются уменьшить сопротивление ключей, но эти меры приводят к появлению шумов и пульсаций на входе подключения источника питания, что в свою очередь приводит к появлению кондуктивных помех, распространяемых по шинам питания. Это может привести к нарушению режимов работы устройств, чувствительных к помехам по цепям питания: генераторов, управляемых напряжением, аналого-цифровых преобразова-

телей и др.

Как правило, преобразователи с накачкой заряда делаются инвертирующими, хотя сделать его неинвертирующим не представляется сложной задачей. Напомним кратко основные принципы работы такого преобразователя, чтобы перейти к рассмотрению его параметров и оценки их влияния на характеристики преобразователя.

На рис.1 приведена функциональная схема преобразователя с накачкой заряда, работающего в режиме инвертирования входного напряжения.

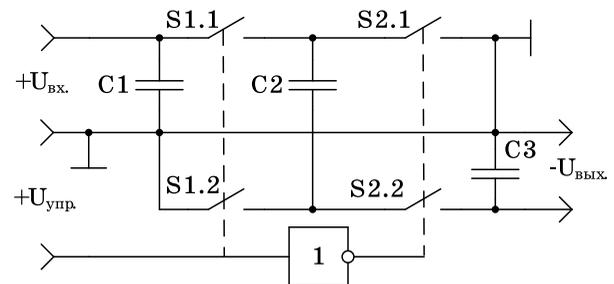


Рис. 1. Функциональная схема инвертирующего преобразователя с накачкой заряда

Управление ключами преобразователя осуществляется двухфазным сигналом со скважностью 2. В первом такте конденсатор накачки C2 заряжается от источника входным напряжением  $U_{вх}$  через замкнутые ключи S1.1 и S1.2. В это время ключи S2.1 и S2.2 закрыты.

В следующем тактовом цикле ключи S2.1 и S2.2 замыкаются и подключают C2 к C3, формируя на выходе схемы напряжение, приблизительно равное напряжению на входе, но с противоположным знаком.

Так как в момент замыкания ключей S1 от источника входного напряжения потребляется импульсный ток, амплитуда которого может во много раз превышать номинальный ток нагрузки, то на входе такого преобразователя необходимо установить накопительный конденсатор C1, который будет обеспечивать необходимый импульс тока в момент переключения.

В работе [3] указывается, что при использовании преобразователя, построенного по приведенной выше функциональной схеме, обеспечивается низкий уровень электромагнитных помех.

Однако и в [1...3], и в других источниках отсутствует информация о том, как влияет емкость конденсатора C2 на КПД преобразователя, должны ли быть конденсаторы C1...C3 одинаковой емкости или нет, насколько сильно влияет сопротивление открытого ключа на КПД преобразователя и величину пульсаций выходного напряжения, насколько внутреннее сопротивление источника входного напряжения влияет на КПД, влияют ли сквозные токи ключей, протекающие в момент переключения S1 и S2, на параметры преобразователя или нет.

Для ответа на эти вопросы было проведено моделирование такого преобразователя в программе NI Multisim. Модель для анализа работы инвертирующего преобразователя приведена на рис. 2. Значения емкостей конденсаторов для первого эксперимента были выбраны в со-

ответствии со значениями, приведенными в [3].

Для коммутации конденсаторов используются управляемые напряжение сдвоенные ключи S1 и S2, управление которыми осуществляется с помощью двух импульсных генераторов V2 и V3. Такое построение схемы управления дает возможность формировать сигналы с различной скважностью и взаимным расположением.

Осциллографы XSC1 и XSC2 позволяют контролировать форму тока заряда конденсатора C2 и выходное напряжение преобразователя на нагрузке R1, а также форму и взаимное расположение сигналов управления ключами.

Для определения КПД предназначены ваттметры XWM1 и XWM2, измеряющие мощность, отбираемую от источника, и мощность, отдаваемую в нагрузку.

Осциллограммы сигналов управления ключами, тока заряда конденсатора C2 и пульсаций выходного напряжения приведены на рис. 3.

При периоде следования управляющего сигнала 10 мкс и скважности 2 сопротивлении открытых ключей 100 МОм КПД преобразователя составил 84.3%, размах напряжения пульсаций на выходе примерно 90 мВ (осциллограмма зеленого цвета) при выходном напряжении -9.06 В, а амплитуда тока заряда конденсатора C2 равна 50 А (коричневая осциллограмма на рис. 3,б). Хотя это не совсем корректно. На самом деле это ток, протекающий через ключ S1. Измеренное значение КПД близко к приведенному в [3].

После первого эксперимента можно произвести исследование влияния различных па-

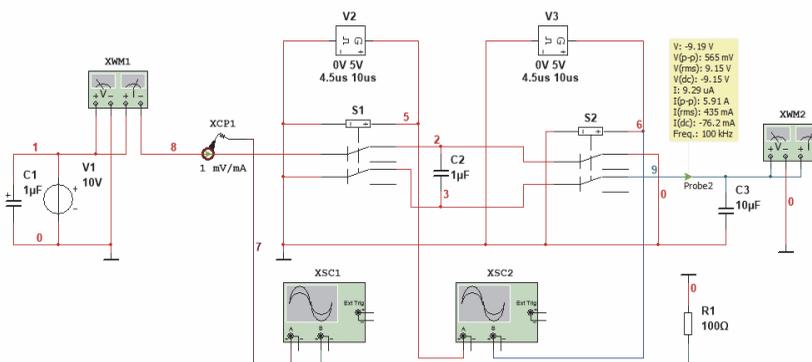
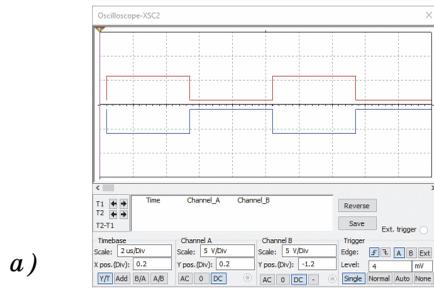
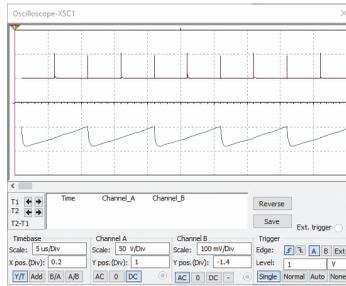


Рис. 2. Модель для исследования преобразователя напряжения с накачкой заряда

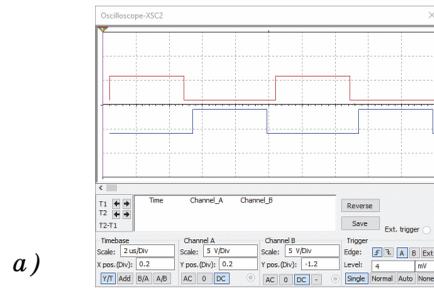


а)

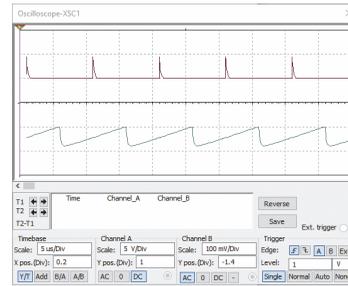


б)

**Рис. 3. Осциллограммы сигналов управления ключами (а), тока заряда конденсатора С2 и пульсаций выходного напряжения (б)**



а)



б)

**Рис. 4. Осциллограммы сигналов управления ключами (а), тока заряда конденсатора С2 и пульсаций выходного напряжения (б)**

раметров сигналов управления и элементов на характеристики преобразователя.

### Анализ влияния сквозных токов через ключи на КПД преобразователя

Чтобы исключить сквозные токи, введем защитные промежутки в сигналы управления ключами (рис. 4,а). В результате этого амплитуда импульса тока, протекающего через ключ S1, уменьшилась до 5 А, а КПД увеличился до 91.2%, что весьма существенно. Амплитуда пульсаций и значение выходного напряжения при этом не изменились.

### Влияние емкости накопительного конденсатора на КПД преобразователя

Для оценки влияния емкости конденсатора С2 на КПД преобразователя проведем несколько экспериментов, изменяя емкость ступенями.

Результаты экспериментов по влиянию емкости конденсатора накачки (С2 на схеме) на КПД преобразователя при частоте коммутации 100 кГц сведены в табл. 1, а при частоте 1 МГц – в табл. 2.

Уменьшение значения КПД при уменьшении сопротивления нагрузки объясняется увеличением потерь на сопротивлении открытых ключей при переключении из-за увеличения тока заряда конденсатора С2.

Для сравнения при частоте коммутации 100 кГц сопротивлении открытых ключей, равном 10 мОм, и сопротивлении нагрузки 25 Ом, значению емкости конденсатора С2, равному 50 мкФ, соответствуют: напряжение пульсаций 210 мВ, амплитуда импульса тока 4.0 А, выходное напряжение -9.86 В, КПД – 98.6%. Как следует из этого эксперимента КПД, увеличился на 2% по сравнению со случаем, когда сопротивление открытых ключей равно 100 мОм.

### Влияние соотношения емкостей входного и накопительного конденсаторов на КПД преобразователя

При сохранении частоты коммутации, равной 100 кГц, сопротивления нагрузки 25 Ом, сопротивлении открытых ключей, равных 100 мОм, величины емкости С2, равной 50 мкФ, увеличим емкость С1 до 10 мкФ (начальное значение 1 мкФ). При таком соотношении КПД уменьшился до 95.6% при напряжении пульсаций

**Таблица 1. Зависимость КПД преобразователя с накачкой заряда от емкости конденсатора накачки при сопротивлении открытых ключей 100 мОм и частоте коммутации 100 кГц**

Емкость C2, мкФ	Емкость C1, мкФ	Rн, Ом	Uвых., В	Амплитуда импульса тока C2, А	Напряжение пульсаций, мВ	КПД, %
1	1	100	-9.08	5	80	91.3
10	1	100	-9.85	0.5	60	98.5
20	1	100	-9.88	0.35	55	99.5
50	1	100	-9.89	0.25	50	98.4
1	1	25	-7.12	12.5	220	70.4
10	1	25	-9.46	2.0	210	94.7
20	1	25	-9.57	1.2	200	96.5
50	1	25	-9.61	1	200	96.2

**Таблица 2. Зависимость КПД преобразователя с накачкой заряда от емкости конденсатора накачки при сопротивлении открытых ключей 100 мОм и частоте коммутации 1 МГц**

Емкость C2, мкФ	Емкость C1, мкФ	Rн, Ом	Uвых., В	Амплитуда импульса тока C2, А	Напряжение пульсаций, мВ	КПД, %
1	1	100	-9.88	0.5	6	98.75
10	1	100	-9.91	0.25	6	99.1
20	1	100	-9.91	0.2	5	99.5
50	1	100	-9.91	0.21	5	99.2
1	1	25	-8.9	2.0	21	95.3
10	1	25	-9.22	1.0	21	96
20	1	25	-9.38	0.9	20	96.6

210 мВ, амплитуде тока 1 А, выходном напряжении, равном -9.61 В. При значении емкости C1, равном 5 мкФ, КПД возрастает до 96.3%.

Как следует из этого сравнения, КПД преобразователя мало зависит от соотношения емкостей, но наилучший результат получается, если C2/C1 ≥ 10.

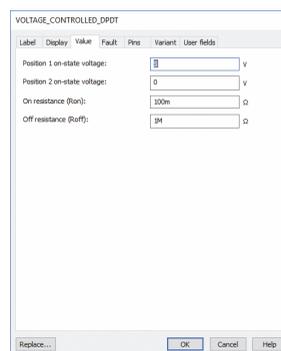
### Влияние сопротивления открытых ключей на КПД преобразователя

При неизменных параметрах сопротивления нагрузки (25 Ом), частоты коммутации (100 кГц), значений емкостей конденсаторов (C1 = 5 мкФ, C2 = 50 мкФ) проведем измерение КПД при различных значениях сопротивлений открытых ключей. Результаты экспериментов сведены в табл. 3.

Для изменения сопротивления открытого

ключа достаточно дважды щелкнуть "мышью" по иконке ключа и в открывшемся окне на вкладке Value установить значение On resistance (Ron) равным требуемому значению.

Из табл. 3 следует, что уменьшение сопро-



**Рис. 5. Окно настройки параметров аналогового ключа**

**Таблица 3. Зависимость КПД преобразователя с накачкой заряда от сопротивления открытых ключей при частоте коммутации 100 кГц и  $R_n = 25 \text{ Ом}$**

$R_{on}$ , мОм	Емкость C2, мкФ	Емкость C1, мкФ	U <sub>вых.</sub> , В	Амплитуда импульса тока C2, А	Напряжение пульсаций, мВ	КПД, %
1	50	5	-9.85	40	210	98.8
10	50	5	-9.86	4.0	210	97.9
100	50	5	-9.61	1.0	200	96.2

тивления открытых ключей до 1 мОм привело к увеличению амплитуды импульса тока до 40 А, значение КПД стало равным 98.8%, а остальные параметры не изменились. Т.е. на практике использовать ключи с сопротивлением в открытом состоянии менее 10 мОм нецелесообразно из-за слишком большой величины зарядного тока. Хотя выигрыш в КПД и составляет почти 1%, но требования к параметрам ключей с  $R_{on} = 1 \text{ мОм}$  намного более жесткие, чем для ключей с  $R_{on} = 10 \text{ мОм}$ .

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что при использовании идеальных ключей (время переключения ключей модели 1нс), имеющих сопротивление в открытом состоянии, равное 10 мОм, можно достигнуть значения КПД 98...99% в зависимости от тока нагрузки.

Уменьшить напряжение пульсаций на выходе можно путем увеличения емкости конденсатора C3. Так при токе нагрузки 396 мА и емкости конденсатора C3, равной 100 мкФ, размах напряжения пульсаций уменьшился до 30 мВ, а КПД при этом составил 99.1%.

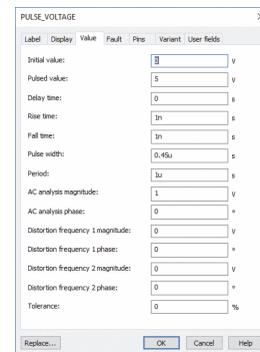
#### Влияние времени переключения ключей на КПД преобразователей с накачкой заряда

Все описанные выше эксперименты проводились с использованием ключей, время переключения которых составляло 1 нс (определяется длительностью фронта и спада сигнала генератора управления). Но если учесть, что при использовании реальных ключей на полевых транзисторах время переключения будет значительно больше, то и потери, вызванные появлением сквозных токов, должны значительно возрасти. При этом схемы в которых предусмотрен защитный промежуток в сигналах управления, если длительность времени включения/выключения ключей будет мень-

ше величины защитного промежутка, должны иметь малую чувствительность к этому параметру. А вот схемы, в которых сигнал управления имеет скважность 2, – высокую.

Для эксперимента был выбран вариант с нагрузкой, равной 25 Ом. Длительность времени переключения задавалась длительностью фронта и спада сигналов управления, формируемых генераторами V2 и V3. Для изменения длительности фронта и спада достаточно дважды щелкнуть "мышкой" по значку генератора и в открывшемся окне (рис. 6) задать необходимые величины.

При экспериментах с наличием защитного



**Рис. 6. Окно задания параметров генератора управляющих сигналов**

промежутка в сигналах управления его длительность была выбрана 0.5 мкс. Изменение длительности фронта с спада в пределах 1...200 нс не привело к каким-либо существенным изменениям параметров преобразователя.

Абсолютно другая ситуация при проведении эксперимента с сигналами управления без защитных промежутков. Результаты эксперимента приведены в табл. 4.

Рост потерь при увеличении длительности переключения ключей объясняется тем, что, хотя амплитуда импульса тока заряда конден-

**Таблица 4. Зависимость КПД преобразователя с накачкой заряда от длительности времени переключения ключей при отсутствии защитных промежутков в сигналах управления**

Длительность фронта/спада, нс	Сопротивление нагрузки, Ом	Выходное напряжение, В	Амплитуда импульса тока $C_2$ , А	Напряжение пульсаций, мВ	КПД, %
1	25	-9.91	500	30	84.6
10	25	-9.8	500	60	36.8
20	25	-8.04	500	600	17.2
50	25	-6.61	500	800	10.1

сатора  $C_2$  и не растет, но увеличивается его длительность и площадь под кривой тока, как следствие, также возрастает.

#### Влияние частоты переключений на КПД преобразователя

Учитывая приведенные выше результаты, можно уверенно предсказать, что КПД преобразователя, работающего без защитных промежутков в сигналах управления при увеличении частоты переключения будет еще больше зависеть от длительности переключения ключей.

А вот преобразователь, работающий с защитными промежутками при использовании идеальных ключей, при увеличении частоты переключений должен иметь приблизительно такие же характеристики, как и при частоте переключений 100 кГц.

Для проверки зададим период следования сигналов управления равный 1 мкс, защитный промежуток 0,05 мкс, длительность импульса управления 0,45 мкс. При таких параметрах сигналов управления на нагрузке сопротивлением 25 Ом получены следующие параметры: напряжение на выходе -10 В, размах напряжения пульсаций 30 мВ, импульс тока 4 А, КПД равен 99,2%. Учитывая, что частота переключения была увеличена в 10 раз (до 1 МГц), емкости всех конденсаторов были уменьшены в 10 раз до значений  $C_1 = 1$  мкФ,  $C_2 = 5$  мкФ,  $C_3 = 10$  мкФ.

Преобразователи, в которых коэффициент преобразования отличается от единицы, имеют более сложную систему коммутации конденсаторов и большее количество ключей [1]. Там же описаны методы стабилизации выход-

ного напряжения преобразователей с накачкой заряда. В [4] описаны преобразователи с накачкой заряда, которые обладают высоким КПД при импульсном потреблении энергии нагрузкой преобразователя.

Конечно эксперименты, описанные в статье, показывают скорее теоретически достижимый КПД, но позволяют проследить влияние параметров элементов преобразователей на их эффективность.

Из приведенного выше материала можно сделать следующие выводы:

1. Нецелесообразно использовать DC/DC-преобразователи с накачкой заряда в режиме управления без защитных промежутков. Это приводит к потерям КПД в самом благоприятном случае не менее 7%.

2. Основным фактором, влияющим на КПД таких преобразователей, является сопротивление аналоговых ключей в открытом состоянии и наличие защитного промежутка в сигналах управления, длительность которого должна превышать время переключения аналоговых ключей.

3. Использование ключей с внутренним сопротивлением в открытом состоянии менее 10 мОм нецелесообразно по двум причинам: это не приводит к значительному росту КПД; намного увеличивается амплитуда импульсов зарядного тока конденсатора накачки, что требует применения ключей с более высокими максимальными токами коммутации.

4. В значительной степени КПД преобразователя зависит от соотношения емкостей входного конденсатора и конденсатора накачки. Наилучший результат может быть получен при отношении емкостей этих конденсаторов менее 1/10.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Яблоков, Современные микропотребляющие DC/DC-преобразователи с накачкой заряда для приборов с батарейным питанием // Компоненты и технологии, №2, 2005. с. 96-99.

2. Е. Никитин, Методы уменьшения входных пульсаций для преобразователей с накачкой заряда /

[http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03\\_05/stat\\_58.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03_05/stat_58.htm).

3. T. Armstrong, High voltage charge pumps deliver low EMI / EDN Europe, May 2016, p. 24-25 ([www.edn-europe.com](http://www.edn-europe.com)).

4. Д. Беттен Накачка и сброс — больше энергии, чем вы ожидали! // Электронные компоненты №6, 2009. с. 25-27.

## НОВЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ С МАЛЫМ ПАДЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ И СВЕРХНИЗКИМ УРОВНЕМ ШУМА КОМПАНИИ ANALOG DEVICES

**В** статье приведена краткая информация о сверхмаломощных стабилизаторах напряжения с малым падением напряжения, предназначенных для использования в системах связи, измерительной и медицинской технике, в аппаратуре звуковоспроизведения класса High-End.

V. Макаренко

### NEW REGULATORS WITH LOW DROPOUT AND ULTRA LOW NOISE ANALOG DEVICES

**Abstract** - The article presents brief information about ultralownoise voltage regulators low dropout voltage designed for use in communication systems, instrumentation and medical equipment, audio equipment High-End.

V. Makarenko

Компания Analog Devices, Inc. анонсировала выпуск двух семейств стабилизаторов с малым падением напряжения (low dropout regulator – LDO) со сверхнизким уровнем шума.

LDO-стабилизаторы семейств ADP176x [1] и ADP715x [2] ориентированы, в первую очередь, на применение в базовых станциях беспроводной связи, кабельных системах связи, промышленной измерительной технике, аудиотехнике класса High-End и медицинских приборах. Новые стабилизаторы обеспечивают меньшую длительность переходного процесса и повышенный коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, что весьма существенно в чувствительных к шуму аналоговых схемах, особенно при передаче данных на высоких скоростях.

LDO-стабилизаторы ADP176x и ADP715x могут применяться в различных, чувствительных к шумам по цепям питания устройств, включая радиочастотные трансиверы, генераторы, управляемые напряжением, синтезато-

ры с фазовой автоподстройкой частоты, генераторы тактовых сигналов, а также быстродействующие аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Кроме того, новые стабилизаторы позволяют сократить размеры печатных плат и стоимость изделий, избавляя от необходимости применения дополнительных пассивных компонентов (внешних фильтров и проходных конденсаторов).

LDO-стабилизаторы семейства ADP176x обеспечивают выходное напряжение в диапазоне от 0.5 В до 1.5 В при токе нагрузки до 3 А [1]. Выходное напряжение ADP715x от 1.2 В до 3.3 В при токе нагрузки до 2 А.

В табл. 1 приведены основные характеристики LDO-стабилизаторов семейств ADP176x, а в табл. 2 – ADP715x.

Все стабилизаторы предназначены для работы в диапазоне температур от -40 до 125 °С. Для защиты от перегрева предусмотрено выключение стабилизатора при достижении температуры кристалла 150 °С. Гистерезис системы защиты от перегрева 15 °С. При пониже-

Таблица 1. Основные характеристики LDO-стабилизаторов семейств ADP176x

Тип	$U_{вх.}, В$	$U_{вых.}, В$	$I_{вых.}, А$ (макс)	Спектральная плотность шума, нВ/ $\sqrt{Гц}$ (в полосе 10/100 кГц)	Подавление пульсаций ист. питания, дБ (в полосе 10/100 кГц)	$U_{мин.}$ , на стабилизаторе, мВ (при $I_{вых. макс.}$ )	Корпус
ADP1761	1.1...1.98	0.5...1.5	1	4/3	59/43	95	16-FCSP
ADP1762	1.1...1.98	0.5...1.5	2	4/3	59/43	95	16-FCSP
ADP1763	1.1...1.98	0.5...1.5	3	4/3	59/43	95	16-FCSP

Таблица 2. Основные характеристики LDO-стабилизаторов семейств ADP715x

Тип	$U_{вх.}, В$	$U_{вых.}, В$	$I_{вых.}, А$ (макс)	Спектральная плотность шума, нВ/ $\sqrt{Гц}$ (в полосе 10/100 кГц)	Подавление пульсаций ист. питания, дБ (в полосе 10/100 кГц)	$U_{мин.}$ , на стабилизаторе, мВ (при $I_{вых. макс.}$ )	Корпус
ADP7156	2.3...5.5	1.2...3.3	1.2	0.9/1.6	68/45	200	10-LFCSP 8-SOIC
ADP7157	2.3...5.5	1.2...3.3	1.2	0.9/1.6	68/45	200	
ADP7158	2.3...5.5	1.2...3.3	2	0.9/1.6	68/45	200	
ADP7159	2.3...5.5	1.2...3.3	2	0.9/1.6	68/45	200	

нии напряжения ниже 1.06 В (типичное значение) срабатывает система защиты от пониженного напряжения. Типовое время включения не превышает 0.6 мс (1.2 мс для ADP715x).

Типовые схемы включения стабилизаторов приведены на рис. 1.

На рис. 2 приведены зависимости выходного напряжения стабилизатора от температуры кристалла и токов нагрузки при входном напряжении 1.5 В, а на рис. 3 – зависимость вы-

ходного напряжения от входного.

Как следует из приведенных зависимостей при изменении температуры от -40 до 125 С, напряжение на выходе стабилизатора при максимальном токе нагрузки изменяется не более чем на 6 мВ, а при изменении входного напряжения от 1.5 до 2 В – не более чем на 5 мВ.

Более подробно с характеристиками новых LDO-стабилизаторов можно познакомиться в [1, 2].

**ЛИТЕРАТУРА**

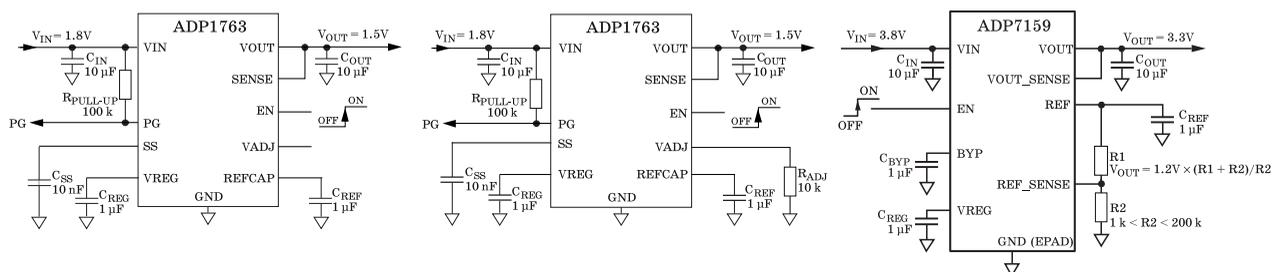
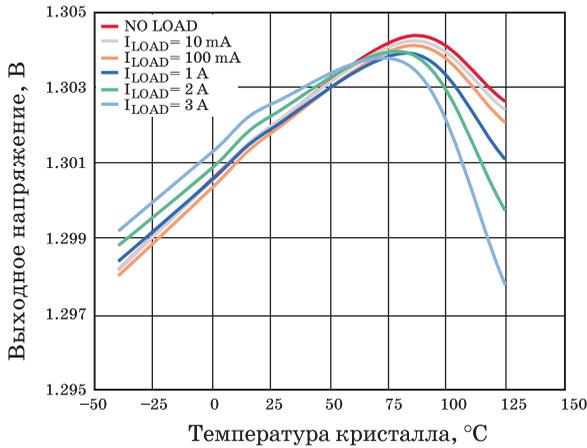
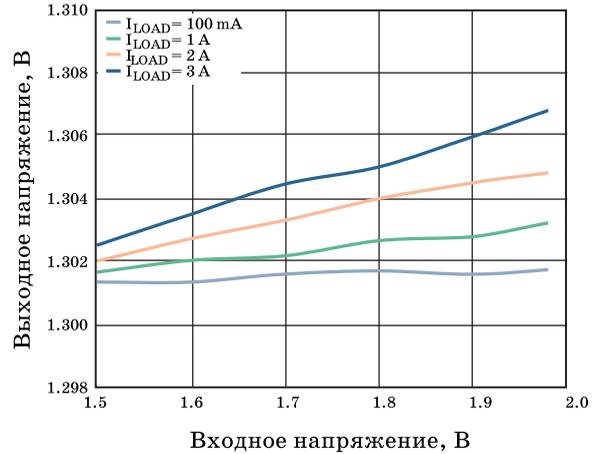


Рис. 1. Типовые схемы включения LDO-стабилизаторов семейств ADP176x и ADP715x



**Рис. 2. Зависимость выходного напряжения от температуры кристалла стабилизаторов ADP1763**



**Рис. 3. Зависимость выходного напряжения от входного для стабилизаторов ADP1763**

1. <http://www.analog.com/ru/products/power-management/linear-regulators/adp1763.html>.
2. <http://www.analog.com/ru/products/power-management/linear-regulators/adp7159.html#product-overview>.

management / linear-regulators/adp7159.html#product-overview.

# ОФИСНЫЙ ЦЕНТР VD MAIS

**Если Вам необходимо провести семинар, тренинг или презентацию, добро пожаловать в офисный центр НПФ VD MAIS!**

К Вашим услугам современный конференц-зал площадью 300 кв. м, рассчитанный на 250 мест, который идеально подходит для проведения тренингов, семинаров и конференций. Для ведения деловых встреч имеются комнаты для переговоров. Офисный центр расположен в живописном парке "Отрадный". Зал оборудован мультимедийным проектором, микрофоном, LCD-монитором, компьютером, удобной мебелью, системой кондиционирования и гардеробной. Возможна организация "кофе-паузы", а также обедов в ресторане "VD Restaurant Park".



**VD MAIS**  
The Professional Distributor

Обращаться по адресу: г. Киев, ул. М. Донца, 6  
 ekis@vdmajs.ua  
 тел.: (0-44) 220-0101 (внутр. 1209)  
 факс: (0-44) 220-0202  
 Контактное лицо: Скиба Юлия

# Малогабаритные понижающие импульсные стабилизаторы напряжения с высоким КПД



## Ток нагрузки

5 A



### R-5xxx P/DA-5

SIP12 (32.2×15.0×9.1 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.5-18 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.2, 1.8, 2.5, 3.3, 5 В

3/4 A



### R-5xxx P/DA-3/4

SIP12 (32.2×15.0×9.1 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.5-18 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.2, 1.8, 2.5, 3.3, 5 В

2 A



### R-5xxx P/DA-2

SIP12 (32.2×15.0×9.1 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.5-18 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.2, 1.8, 2.5, 3.3, 5 В

1.5 A



### R-78Bxx-1.5

SIP3 (17.5×11.5×8.5 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.75-18 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.5, 1.8, 2.5, 3.3, 5, 6.5 В

1.0 A



### R-78AAxx-1.0 SMD

SMD (15.3×9.6×8.8 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.75-18 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.5, 1.8, 2.5, 3.3, 5 В

0.5 A



### R-78E-0.5

SIP3 (11.6×10.4×8.5 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 6-28 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 3.3, 5 В  
**НИЗКАЯ СТОИМОСТЬ**



### R-78xx-0.5

SIP3 (11.5×10.2×7.55 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.75-32 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.5, 1.8, 2.5, 3.3, 5, 6.5, 9, 12, 15 В



### R-78Bxx-1.0

SIP3 (17.5×11.5×8.5 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 4.75-32 В  
 $U_{ВЫХ}$ : 1.5, 1.8, 2.5, 3.3, 5, 6.5, 9, 12, 15 В



### R-78HBxx-0.5

SIP3 (17.5×11.5×8.5 мм)  
 $U_{ВХ}$ : 9-72 (36-72) В  
 $U_{ВЫХ}$ : 3.3, 5, 6.5, 9, 12, 15 (24) В



[www.recom-international.com](http://www.recom-international.com)



**VD MAIS – официальный дистрибьютор компании Recom в Украине**

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 274-6897, (032) 245-5478, (048) 734-1954, [info@vdmαιs.ua](mailto:info@vdmαιs.ua), [www.vdmαιs.ua](http://www.vdmαιs.ua)

# КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## DUAL-USE COMPONENTS

**В** статье рассматриваются особенности электронных компонентов двойного назначения.

*В. Охрименко*

Abstract – **T**he article discusses the features of the dual-use electronic components.

*V. Okhrimenko*



Под товарами двойного назначения (двойного применения) подразумеваются товары, которые могут использоваться как в коммерческих (мирных)

целях, так и для создания разного рода оружия массового поражения или средств его доставки. Это различные виды оборудования (в том числе и радиоэлектронные компоненты), сырье, материалы, а также результаты научно-технических исследований, программное обеспечение, технологии и другая информация, которая может быть использована при создании военной техники, ракетного, ядерного, химического и бактериологического оружия.

В изделиях двойного назначения сочетаются коммерческие технологии и требования, предъявляемые к военной технике. В последнее время это направление способствует эффективному развитию передовых технологий и одновременно обеспечивает оборонные программы. При этом суммарные расходы на исследования и разработку изделий сокращаются, т. к. военная и коммерческая продукция изготавливается на одной и той же технологической линии. Тестированию серийной военной продукции уделяется особое внимание.

Коммерческие продукты с высокой степенью интеграции не испытываются на воздействие радиационного излучения. Их тестирование, конечно, проводится, однако при производстве характеристики могут изменяться не только от партии к партии, но даже от пластины к пластине в пределах одной партии [1, 2].

Применению электронных компонентов

класса industrial в аппаратуре для ракетно-космического и военного назначения препятствует ряд факторов. Гарантируемые производителем показатели надежности и радиационной стойкости недостаточны, и кроме того, условия эксплуатации далеки от предусмотренных для компонентов класса industrial. Вместе с тем существуют повышенные требования к точности и стабильности параметров электронных компонентов, предназначенных для военной техники, авиационной и космической индустрии.

Ряд производителей для приложений, к которым предъявляются высокие требования надежности, безопасности и стойкости к воздействию окружающей среды, выпускают специальный класс высоконадежных (Hi-Rel) электронных компонентов. Для аппаратуры, ориентированной на использование в ракетно-космическом оборудовании выпускаются компоненты класса space, для которых гарантируется радиационная стойкость при воздействии разного рода облучений согласно рекомендациям соответствующих стандартов, а также предусмотрена возможность эксплуатации в широком диапазоне температур (-55...125 °C).

Радиационно-стойкие электронные компоненты – это компоненты, к которым предъявляются повышенные требования устойчивости к сбоям, вызванным воздействием радиации. Радиационная стойкость – одна из важнейших характеристик качества электронных компонентов, предназначенных для применения в аппаратуре космической и военной техники, медицинской электроники, атомной энергетике и пр.



Как правило, радиационная стойкость компонентов, ориентированных на применение в космических аппаратах, контролируется по результатам их испытаний с использованием источников радиационных воздействий – специального моделирующего и имитирующего оборудования.

Космическое излучение по количественному составу – это протоны (90%), альфа-частицы (7%), электроны (1%) и др.; по энергетическому – протоны (43%), альфа-частицы (23%) и остальные частицы (34%). Одна из проблем космической электроники – т.н. тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ): протоны, альфа-частицы и ионы больших энергий. Этой энергии достаточно, чтобы "пронзить" микросхему насквозь, в результате чего и возникают разного рода т.н. радиационные эффекты.

Радиационные эффекты в изделиях космической техники подразделяются на случайные одиночные эффекты (SEE – Single Event Effect) и эффекты, вызванные поглощенной дозой радиации TID (Total Ionizing Dose).

Как правило, любой случайный индуцированный эффект, вызванный изменением свойств чувствительного объема материала за счет прохождения ионизированных частиц (в отличие от эффектов, обусловленных поглощенной дозой излучения) упоминается как один SEE-эффект. Вместе с тем случайные одиночные эффекты подразделяют на одиночные сбои (SEU – Single Event Upset), тиристорные эффекты (SEL – Single Event Latch-up), кратковременные импульсы напряжения в выходных цепях (SET – Single Event Transient), одиночные функциональные прерывания (SEFI – Single Event Functional Interrupt) и другие. Эффект влияния отдельных ионизированных частиц, как правило, выражается количественно – средней энергией, которую материал может получить от проходящей заряженной частицы для образования радиационного эффекта на единице ее пути, т.н. линейной передачей энергией (Linear Energy Transfer – LET), измеряемой в единицах МэВ/см или удельной энергией МэВ см<sup>2</sup>/мг.

Эффекты, вызванные поглощенной дозой радиации, проявляются в результате суммирования энергии, которую частицы передают чувствительному объему вещества. Для космической аппаратуры в соответствии с классифи-

кацией, рекомендованной ассоциацией RHA (Radiation Hardness Assurance), и в зависимости от ее назначения (коммерческие или военные спутники, пилотируемые орбитальные станции или другие приложения) предлагается использовать несколько градаций поглощенной дозы радиации (таблица). Поглощенная доза радиации, по сути, зависит от высоты орбиты. Кроме того, скорость нарастания поглощенной дозы также немаловажный параметр. Как правило – это 50...300 рад (Si)/с.

#### Рекомендации ассоциации RHA

Категория RHA	Поглощенная доза, крад (Si)
0	нет
P	30
L	50
R	100
H	1000

Инвестиции, необходимые для организации производства высоконадежных электронных компонентов, слишком велики, поэтому далеко не все компании готовы их осилить. Вместе с тем ряд ведущих компаний выпускают изделия класса Hi-Rel. Среди них: Atmel, Analog Devices, Beneq, Crane/Interpoint, Gaia, International Rectifier, Texas Instruments и другие.

Поскольку современная высоконадежная высокотехнологичная электроника – база для построения эффективных систем вооружения, то существует и проблема максимального ограничения доступа потенциального противника к новейшим технологиям. Во многих передовых странах правительством утверждены соответствующие пакеты документов, регламентирующих классификацию товаров двойного назначения, их лицензирование и контроль исполнения.

Проблемы, связанные с организацией поставок компонентов двойного назначения выходят за рамки данной статьи и не рассматриваются.

Технические характеристики высоконадежных компонентов, выпускаемых компа-

ниями Analog Devices, Beneq, Crane/Interpoint и Gaia, рассматриваются в соответствующих статьях, размещенных в этом номере журнала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.analog.com](http://www.analog.com).
2. <http://gaia-converter.com>.

## КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ КОМПАНИИ ANALOG DEVICES



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

### ADI'S DUAL-USE COMPONENTS

**В** статье рассматриваются электронные компоненты двойного назначения компании Analog Devices.

**Abstract -** The article discusses the features of the ADI's dual-use electronic components.

*В. Охрименко*

*V. Okhrimenko*

Компания Analog Devices (ADI) известна инновационными разработками в области обработки сигналов для оборонной и авиационно-космической индустрии. Производительность, надежность и качество предлагаемых компонентов сделало компанию ADI одним из ведущих поставщиков Министерства обороны США (Department of Defense – DoD) и аналогичных ведомств за пределами Америки. Компания ADI является первопроходцем и лидером многих ключевых инициатив реализации проектов в аэрокосмической области и обороне [1, 2].



Мобильность, портативность и надежность компонентов позволяют ускорить их внедрение в аэрокосмические и оборонные системы и в результате снизить, к примеру, вес солдатского снаряжения либо увеличить эффективность использования топлива. Размер, вес, мощность и стоимость (Size, Weight, Power, Cost – SWaP+C) – наиболее важные характеристики при выборе компонентов при создании мобильных систем и модулей.

В последние годы изготовление высоконадежных компонентов для оборонной и авиационно-космической индустрии осуществляется на базе использования готовых коммерческих изделий и технологий. Это направление, получившее название COTS (Commercial off the Shelf), позволяет эффективно развивать передовые технологии и одновременно обес-

печивает потребности военной промышленности. При этом снижаются расходы на исследования, разработку и изготовление изделий, т.к. военная и коммерческая продукция изготавливается на одной и той же производственной линии. При этом тестированию и отбору серийной военной продукции уделяется особое внимание.

Не секрет, что основные тенденции на рынке электроники – это микроминиатюризация, увеличение производительности, расширение функциональных возможностей, использование новых материалов, освоение СВЧ-диапазона и т.д. Вместе с тем к компонентам для космической и военной промышленности предъявляются повышенные требования по стойкости к дестабилизирующим воздействиям, надежности, отказоустойчивости, стабильности характеристик и пр.

Компания Analog Devices постоянно осваивает новые и совершенствует уже традиционные полупроводниковые технологии, что позволяет изготавливать электронные компоненты с расширенными возможностями и улучшенными характеристиками, т.н. усовершенствованные компоненты класса EP (Enhanced Products). Такие компоненты ориентированы на использование в высоконадежных (Hi-Rel) приложениях и отличаются расширенным температурным диапазоном -40...105 или -55...125 °C и, как правило, изготавливаются с

никель-палладиево-золотым (NiPdAu) покрытием выводов.

Компания инвестирует в развитие современных технологических процессов. Это, в первую очередь, нитрид-галлиевая (GaN), усовершенствованная кремний-германиевая (SiGe) и комплементарная МОП (CMOS) технологии, что дает возможность изготавливать компоненты повышенной степени интеграции в малогабаритных корпусах и большей мощности.

Компания один из лидеров в выпуске усилителей мощности НРА (High Power Amplifiers), радио приемопередатчиков диапазона СВЧ, широкополосных интегральных схем ФАПЧ (PLL) и синтезаторов частот, которые находят применение в радаров, сонарах и других приборах ВЧ- и СВЧ-техники.

На базе освоенной нитрид-галлиевой технологии компания ADI выпускает твердотельные сверхвысокочастотные интегральные микросхемы (Monolithic Microwave Integrated Circuit – MMIC) и усилители мощности, предназначенные для радиолокационных систем. GaN-приборы допускают работу при высокой температуре кристалла, что во многих случаях исключает необходимость принудительного охлаждения и позволяет тем самым уменьшить габариты устройства. СВЧ-компоненты компании предназначены для работы в широком диапазоне частот – от S-диапазона (2...4 ГГц) до Ka-диапазона (26,5...40 ГГц).

Энергоэффективность и возможность управления тепловым режимом – ключевые проблемы радиолокационных систем и систем связи следующего поколения, ориентированных на использование фазированных антенных решеток с электронным сканированием (Active Electronically Scanned Phased Arrays – AESA) и технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output). Использование GaN-приборов позволяет повысить чувствительность и надежность радаров. Дополнительное преимущество – это возможность перенастройки системы, что позволяет реализовать multifunctionality и работу в разных частотных диапазонах. Созданные на базе GaN-технологии энергоэффективные широкополосные твердотельные СВЧ-приборы компании Analog Devices обеспечивают мощность до 100 Вт и могут работать в широком диапазоне частот

(вплоть до Ka-диапазона), при этом они отличаются небольшими габаритами и высокой надежностью.

Компания ADI предлагает широкую номенклатуру электронных компонентов, ориентированных на применение в оборонной и авиационно-космической отрасли. В табл. 1, 2 приведен далеко неполный перечень компонентов для использования в космической и военной аппаратуре. С полным перечнем можно ознакомиться в [1, 2].

**Таблица 1. Компоненты компании ADI для использования в космической аппаратуре**

Тип	Описание
<b>АЦП</b>	
AD571S	10-бит
AD574S	12-бит
AD670S	8-бит
AD1671S	12-бит, 1.25 MSPS
AD1672S	12-бит, 3 MSPS
AD6645S	14-бит, 80 MSPS
AD9042S	12-бит, 41 MSPS
AD9054S	8-бит, 200MSPS
AD9254S	14-бит, 150 MSPS
AD9283S	8-бит, 100 MSPS, 3.3В
<b>Компараторы</b>	
AD8561S	7 нс
PM111S	Высокоточный компаратор напряжения
PM139S	Четыре компаратора напряжения с низким током потребления
<b>ЦАП</b>	
AD565AS	12-бит, выход по току
AD768S	16-бит, 30MSPS
DAC08S	8-бит
<b>Микросхемы для измерения тока</b>	
AD8210S	—
AD8212S	—
<b>Логарифмические усилители</b>	
ADL5513S	4 ГГц
AD8306S	400 МГц

Продолжение табл. 1.

Тип	Описание
<b>Инструментальные усилители</b>	
AD524S	Инструментальный усилитель
AMP01S	Маломощный высокоточный инструментальный усилитель
AD8229S	Маломощный инструментальный усилитель
<b>Операционные усилители (ОУ)</b>	
AD648S	Высокоточный BiFET ОУ с низким током потребления
AD844S	60 МГц, 2000 В/с
AD8001S	800 МГц, 50 мВт
AD8041S	160 МГц, Rail-to-Rail
AD8138S	320 МГц, дифференциальный усилитель
AD8671S	ОУ
ADA4077-2S	Высокоточный ОУ
ADA4084-2S	Маломощный ОУ с низким током потребления, R-R I/O
OP07S	ОУ с малым напряжением смещения
OP27S	Маломощный высокоточный ОУ
OP37S	Маломощный высокоточный, высокоскоростной ОУ
OP270S	Сверхмаломощный высокоточный ОУ
OP467S	Высокоскоростной ОУ

Дополнительную информацию о продукции двойного назначения компании Analog Devices можно найти в сети Интернет по адресу: [www.analog.com](http://www.analog.com) или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании Analog Devices.

Таблица 2. Компоненты компании ADI для использования в военной аппаратуре

Тип	Тип
AD790	AD1671
OP270	AD7821
AD603	AD7872
AD10242	ADG527A
AD830	ADG221
AD841	AD641
AD790	AD640
AD625	AD2700
AD524	REF01
AD526	AD586
AD625	AD536A
AMP01	AD580
AD800	AD22100
AD549	AD590
AD713	AD7840
AD8036	AD767
AD813	AD667
AD810	AD660
OP11	AD565A
OP215	AD9901
OP27	AD7896
AD843	AD827
ADG608	–

## ЛИТЕРАТУРА

1. Analog Devices space qualified parts list. – Analog Devices, May 2016.
2. [www.analog.com](http://www.analog.com).

**VD MAIS**  
Разработка и серийное производство электроники



- разработка электрических схем
- проектирование и изготовление печатных плат
- комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
- контрактное производство (по стандарту IPC-A-610):
  - автоматизированный монтаж SMD-компонентов
  - автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
  - изготовление опытных образцов изделий
  - мелко- и крупносерийное производство
- многолетний опыт разработки и производства
- гарантия качества

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.  
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua), [www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

**VD MAIS**  
Электронные компоненты и системы



- Микросхемы
- Датчики
- Оптоэлектроника
- Источники питания
- Драйверы светодиодов
- Резонаторы и генераторы
- Дискретные полупроводники
- Пассивные компоненты
- СВЧ-компоненты
- Системы беспроводной связи

Дистрибуция и прямые поставки:  
Analog Devices, Bluetechnix, Cree, DDC, Dynex, Fordata, Foryard, Gaia, Geyer, IXYS, Kendell, Kingbright, Ledil, Littlefuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntain, Telit, Vacuumschmelze, Xilinx, Yitran

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua), [www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

## ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИСПЛЕИ КОМПАНИИ BENEQ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**В** статье приведены основные технические характеристики и возможности тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев компании BENEQ



### THIN FILM ELECTROLUMINESCENT DISPLAYS

Abstract – The main characteristics and possibilities of thin film electroluminescent displays are considered in the article.

В. Охрименко

V. Ohrimenko

### ВВЕДЕНИЕ

Финская компания BENEQ – ведущий поставщик промышленного оборудования для нанесения аэрозольных покрытий и производитель тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев, ориентированных на применение в промышленном оборудовании, на транспорте (в метро, пассажирских поездах и локомотивах), в медицине, оборонной индустрии, а также в другом оборудовании, предназначенном для эксплуатации в жестких условиях окружающей среды [1, 2].

Благодаря высокой надежности и сочетанию электротехнических и оптических характеристик тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев, их широко применяют в военной и гражданской авиации, судостроении, горной промышленности, военной технике, нефтегазодобывающем оборудовании и пр.

Использование фирменной технологии увеличения контрастности ICEBrite (Integrated Contrast Enhancement) обеспечивает высокое качество изображения при плохом освещении и позволяет получить контрастность изображения до 1000:1. При естественном дневном освещении сохраняется разборчивость изображения.

Компания BENEQ предлагает три вида продукции:

- тонкопленочные электролюминесцентные дисплеи (Thin Film Electroluminescent – TFEL) серии EL
- прозрачные электролюминесцентные дисплеи (Transparent Electroluminescent – TASEL) серии ELT
- тонкопленочное электролюминесцентное

стекло.

TFEL-дисплеи состоят из твердотельной стеклянной панели, устройства управления и источника питания. Стеклянная панель содержит люминесцентный слой, расположенный между слоями диэлектрика и матрицей электродов из строк и столбцов. Пиксель, находящийся на пересечении строк и столбцов матрицы, излучает свет при приложении напряжения (рис. 1).

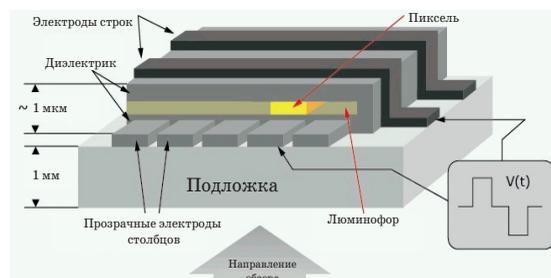


Рис. 1. Структура тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев

Прозрачные дисплеи TASEL позволяют реализовать оригинальный дизайн приборов, который едва ли возможен при использовании обычных дисплеев. Прозрачные дисплеи ориентированы на высокотехнологичные приложения, а внешний вид и высокие оптические характеристики дисплеев делают продукт эксклюзивным, по крайней мере, в сравнении с другими традиционными решениями.

Тонкопленочное электролюминесцентное стекло дает возможность создавать дисплеи по заказу в соответствии с требованиями заказчика к их типоразмеру или форме.

## TFEL-ДИСПЛЕИ

В сравнении с традиционными TFT-дисплеями, TFEL-дисплеи (рис. 2) отличаются широким диапазоном рабочих температур до  $-60...105\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при этом во всем диапазоне гарантируется время отклика не более 1 мс). Нарботка до отказа в зависимости от модели составляет 30...100 тыс. ч. Почти все дисплеи предназначены для эксплуатации при относительной влажности воздуха до 93% и на высоте до 18 тыс. м над уровнем моря, дисплей EL480.240-R3 – на высоте от -3048 до 48768 м (IEC 68-2-13).



Рис. 2. TFEL-дисплеи

Компания BENEQ выпускает модели с размером по диагонали от 3.1 до 10.4 дюймов и форматом матрицы от  $160\times 80$  до  $640\times 480$  пикселей, отличающиеся конструктивным исполнением и габаритными размерами. Имеются также 7-сегментные индикаторы (EL40S). Яркость и контрастность зависит от модели. После эксплуатации в течение 100 тыс. ч яркость снижается не более чем на 15%.

Цвет пикселей – желтый. Имеются также модели многоцветных дисплеев (EL320.240-FA3 или EL640.480-AA1). Угол наилучшего обзора  $179^{\circ}$  при сохранении разборчивого изображения, контрастность до 1000:1 (например, EL320.240-FA3).

В табл. 1 приведены основные параметры тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев со стандартным форматом матриц ( $320\times 240$ ,  $640\times 480$  и др.).

Кроме того, выпускаются дисплеи и с другими форматами. Это EL240.128.45 ( $240\times 128$ ),

EL320.256-F ( $320\times 256$ ), EL512.256-H ( $512\times 256$ ), EL640.400-C ( $640\times 400$ ), EL640.400-CB ( $640\times 400$ ) и др.

В таблице приведен стандартный диапазон рабочих температур. Выпускаются также модификации с расширенным диапазоном. Все дисплеи изготавливаются в корпусах, выдерживающих удары с максимальным ускорением до 100 g и длительностью до 6 мс (IEC 68-2-27), а также широкополосные (5...500 Гц) случайные вибрации со спектральной плотностью ускорения до  $0.05\text{ g}^2/\text{Гц}$  (IEC 68-2-36, IEC 68-2-64, Fdb, Fh). Характеристики удара и допустимых вибраций отличаются для разных моделей дисплеев.

Основные параметры тонкопленочного электролюминесцентного индикатора EL40S (рис. 3):

- габаритные размеры  $138\times 56\times 21\text{ мм}$
- размер экрана  $110\times 26\text{ мм}$
- высота символа 25.4 мм
- яркость  $300\text{ кд/м}^2$
- контрастность 180:1 (при освещенности 500 лк)
- потребляемая мощность 6 Вт
- напряжение питания 12 В
- диапазон рабочих температур  $-60...85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- относительная влажность воздуха 93% (при  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , IEC 68-2-3)
- вибрации  $0.05\text{ g}^2/\text{Гц}$  в полосе 5...500 Гц (IEC 68-2-36, Fdb)
- удар 100 g, 6 мс (IEC 68-2-27)
- наработка до отказа не менее 100 тыс. ч
- масса 150 г.



Рис. 3. Электролюминесцентный индикатор EL40S

## ПРОЗРАЧНЫЕ ДИСПЛЕИ TASEL

Электролюминесцентные прозрачные дисплеи серии ELT (TASEL) финской компании BENEQ позволяют реализовать оригинальный дизайн приборов, который едва ли возможен при использовании обычных дисплеев (табл. 2). Прозрачные дисплеи (рис. 4) ориентированы на высокотехнологичные приложения.

Компания BENEQ предлагает несколько моделей прозрачных TFEL-дисплеев для де-

Таблица 1. Основные параметры тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев

Параметр	EL160.80.50	EL160.120.39	EL240.128.45	EL320.240.36	EL320.240.36-HB	EL320.240-FA3
Габаритные размеры, мм	109×57×21	94×6×20	140×77×15	148×105×19	148×105×20	150×105×20.6
Размер экрана, мм	80×40	62.3×46.7	108×58	115×86	115×86	99.15×74.36
Формат матрицы, пикселей	160×80	160×120	240×128	320×240		
Яркость кд/м <sup>2</sup> (частота, Гц)	107 (240)	70 (150)	130 (240)	50 (120)	150 (250)	95
Контрастность (освещенность, лк)	50:1 (500)	59:1 (500) 32:1 (1000) 4.3:1 (10 000)	97:1 (500) 13:1 (5000)	31:1 (500)	90:1 (500) 8:1 (10 000) 2:1 (50 000)	1000:1 (0) 2.5:1 (20 000) 1.5:1 (75 000)
Размер пикселя, мм	0.5×0.5	0.39×0.39	0.45×0.45	0.36×0.36	0.36×0.36	0.31×0.31
Цвет	желтый					16 цветов
Время отклика, мс	<1					
Угол обзора, град.	179					
Напряжение питания, В	5; 12	5; 8...18		5; 12	5; 8...18	5; 8...18
Потребляемая мощность, Вт (частота, Гц)	2.0 (60) 2.7 (120) 4.4 (240)	3.0 (150)	3.1 (120) 5.8 (240)	7.0 (120)	3.5 (120) 5.5 (250)	4.7
Диапазон рабочих температур, °С	-40...65	-50...70	-40...70	-40...65	-40...85	-50...85
Относительная влажность, % (стандарт)	93 (IEC 68-2-3)					
Наработка до отказа, тыс. ч	>50		>100	>50		
Масса, г	77	65	115	183	183	198

Продолжение таблицы 1. Основные параметры тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев

Параметр	EL480.240-R3	EL640.480-AA1	EL640.480-AF	EL640.480-AG	EL640.480-AM
Габаритные размеры, мм	189×108×21.5	262×205×22	182×129×20	218×156×20	266×192×20
Размер экрана, мм	146.3×73.1	211.1×158.3	129.3×97.0	165.1×123.8	211.1×158.3
Формат матрицы, пикселей	480×240	640×480			
Яркость кд/м <sup>2</sup> (частота, Гц)	50 (120)	21	65 (120)	55 (120)	65 (120)
Контрастность (освещенность, лк)	50:1 (500)	10:1 (500)	50:1 (500)	33:1 (500)	40:1 (500)
Размер пикселя, мм	0.31×0.31	0.33×0.33	0.202 × 0.202	0.258×0.258	0.33×0.33
Цвет	желтый	красный/зеленый/желтый	желтый		
Время отклика, мс	<1				
Угол обзора, град.	179	140	179		
Напряжение питания, В	5; 12	5; 12	5; 12	5; 12/5; 8...18	5; 12
Потребляемая мощность, Вт (частота, Гц)	6.5 (120)	10	4.5 (120)	6.5 (120)	11 (120)
Диапазон рабочих температур, °С	-25...65/-25...75	-25...65	-40...85	-40...85	-60...65
Относительная влажность, % (стандарт)	93 (IEC 68-2-3)				
Наработка до отказа, тыс. ч	>100	>50			
Масса, г	310	720	300	450	650

**Таблица 2. Основные параметры прозрачных электролюминесцентных дисплеев**

Параметр	ELT15S-1500	ELT15S	ELT15S-Green	ELT24S-Round	ELT160.80.50	ELT256.120.90
Размер дисплея, мм	60×145×12			86×171×14	129×55	280×193.4×12.1
Размер экрана, мм	55×62×2.2			Диаметр экрана 86 мм	80×40	230.4×108
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	1500	750 (1.67 кГц)	200 (1.5 кГц)	500	75 (240 Гц) 19 (60 Гц)	80 (240 Гц)
Формат матрицы, пикселей	–	–	–	–	160×80	256×120
Размер пикселя, мм	–	–	–	–	0.50×0.50	0.80×0.80
Прозрачность, %	> 80				прозрачный	73
Время отклика, мс	1					
Угол обзора, град.	360					
Цвет (TFEL)				зеленый	желтый	
Напряжение питания, В	–	–	–	–	–	5; 24
Потребляемая мощность, Вт	< 3				2.0 (60 Гц) 4.4 (240 Гц)	17 (ном.) 36 (макс)
Разъем питания	Mini USB (USB 2.0)				–	–
Диапазон рабочих температур, °С	–		0...40		–	0...40
Гарантия	3 мес.					–

**Рис. 4. Электролюминесцентные прозрачные дисплеи TASEL**

монстрации их возможностей, а также для знакомства с технологией и концепцией нового поколения дисплеев. Это ELT15S-1500, ELT15S, ELT15S-Green, ELT24S-Round, ELT160.80.50 и ELT256.120.90. Дисплей ELT256.120.90 обеспечивает полную прозрачность экрана, благодаря чему можно улучшить функциональность изделия.

Дисплеи TASEL сочетают в себе все преимущества стандартных тонкопленочных электролюминесцентных дисплеев, т.е. надежность, прочность конструкции и прозрачность. Эти дисплеи ориентированы на применение в потребительской электронике и других сферах, в которых внешний вид приборов имеет первостепенное значение.

Кроме того, компания BENEQ поставляет тонкопленочное электролюминесцентное стекло, что дает возможность создавать заказные дисплеи в соответствии с требованиями заказчика к их типоразмеру или форме.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря высокой надежности, а также сочетанию электротехнических и оптических характеристик TFEL-дисплеев, их широко применяют в военной и гражданской авиации, судостроении, горной промышленности, военной технике, нефтегазодобывающем оборудовании и др.

Дополнительную информацию о электролюминесцентных дисплеях компании BENEQ можно найти в сети Интернет по адресу: <http://beneq.com> или в фирме VD MAIS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [www.beneq.com](http://www.beneq.com).
2. [www.lumineq.com](http://www.lumineq.com).

Gaïa позволит вам летать!



## Надежные, экономичные, малогабаритные DC/DC-преобразователи MGDI-75/150 с выходной мощностью 75/150 Вт

Основные характеристики	MGDI-75	MGDI-150
Выходная мощность, Вт	75	150
Диапазон входных напряжений (4:1), В	"24" (9-36) или "48" (18-75)	
Выходное напряжение, В	3,3, 5, 12, 15 или 24	
Диапазон регулировки вых. напряжения, % $U_{ном}$	90-110	10-110
КПД, тип., %	до 88	до 84
Диапазон рабочих температур, °C	-40...105	
Защита	UVLO, OVLO, OCP, OVP, OTP	
Мягкий старт	+	+

Широкий спектр применения в жестких условиях эксплуатации: наземный и железнодорожный транспорт, промышленное оборудование, авиа- и морская техника



REDEFINING THE SOURCE OF POWER

**Gaïa**  
CONVERTER  
AUTHORIZED DISTRIBUTOR  
[www.gaia-converter.com](http://www.gaia-converter.com)

**VD MAIS** – официальный дистрибьютор компании Gaïa Converter в Украине  
тел./факс: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (032) 245-5478,  
(048) 734-1954, (095) 274-6897, [info@vdmiais.ua](mailto:info@vdmiais.ua); [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)

## ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОМПАНИИ INTERPOINT

**В** статье рассматриваются DC/DC-преобразователи компании Interpoint.



**INTERPOINT'S HI-REL DC/DC CONVERTERS**

Abstract – **T**he article discusses the features of the DC/DC converters of Interpoint.

*V. Oхrimenko*

*V. Oхrimenko*

Компания Interpoint (подразделение корпорации CRANE Aerospace & Electronics) занимается разработкой и производством высоконадежных DC/DC-преобразователей и других электронных изделий для военных и космических приложений класса space. При производстве изделий осуществляется контроль технологического процесса, отбор компонентов и проведение испытаний в соответствии с рекомендациями действующих стандартов. Компания Interpoint выпускает также изделия класса Hi-Rel.

В табл. 1 приведены параметры DC/DC-преобразователей класса space (рис. 1), в табл. 2 – преобразователей SMFLHP283R3S и SMFLHP2805S (рис. 2). Входное напряжение 19...40 В (допускаются броски напряжения до 80 В длительностью до 50 мс). Имеется возможность синхронизации от внешнего сигнала, а также дистанционного вкл./выкл. Для повышения выходной мощности допускается параллельное соединение до трех преобразователей. Предусмотрена возможность регулировки выходного напряжения в небольшом диапазоне с помощью внешнего резистора.

В табл. 3 приведены параметры некоторых DC/DC-преобразователей, относящихся к классу Hi-Rel (рис. 3). Выпускаемые DC/DC-

преобразователи класса industrial компания рекомендует заменить в новых разработках на аналогичные класса Hi-Rel.

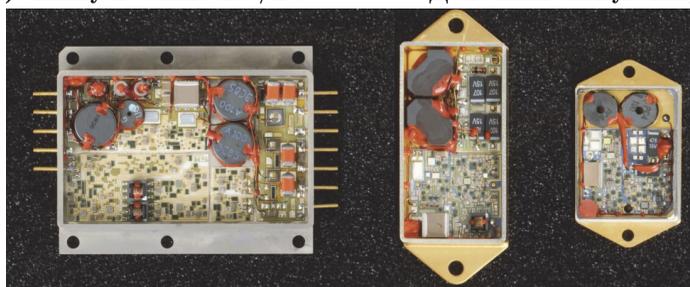
Продукция компании сертифицирована (ISO 9001) и внесена в квалификационный перечень производителей QML (Qualified Manufacturers List), а также список поставщиков космического агентства NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Компания Interpoint выпускает радиационно-стойкие модификации DC/DC-преобразователей с предельной поглощенной дозой радиации 30, 50 и 100 крад (Si), что соответствует категории P, L и R (RHA). Для фильтров подавления электромагнитных помех предельная поглощенная доза составляет 1000 крад (Si) – категория H (RHA).

Продукция компании класса space характеризуется высокой устойчивостью к воздействию заряженных частиц, вызывающих одиночные эффекты (SEE), при пороговых линейных потерях энергии (LET) до 86 МэВ·см<sup>2</sup>/мг.

Благодаря высокой надежности и стабильности характеристик, продукция компании широко применяется в военном оборудовании ведущих производителей вооружения, а также космических аппаратах.

Дополнительную информацию о продукции



**Рис. 1.** DC/DC-преобразователи класса space

Таблица 1. Параметры DC/DC-преобразователей класса *space*

Тип	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходная мощность, Вт	КПД (тип.), %	Диапазон рабочих температур, °С	Тип фильтра
SMFLHP	19...40	3.3/5/12/15/ ±5/±12/±15	53...100	72...87	-55...125	SFME28-461
SMFL	16...40		40...60	72...85		SFME28-461
SMRT28	19... 56	3.3/5/8.7/12/15/ ±5/±12/±15	23...35	64... 80		Встроенный фильтр
		3.3, ±12/3.3, ±15/ ±5/±12/±15				
SMTR	16...40	3.3/5/12/15/ ±5/±12/±15	18...30	70...83		SFMC28-461
MFP	3...6	0.6...3.5	5.6...16.5	73... 92		—
SMHF	16... 45	3.3/5/5.2/12/15/ ±5/±12/±15	8...15	73...82		SFMC28-461
SMSA	16...40		5	65...74		SFMC28-461
SLH	16...40	5/12/15/±5/±12/±15	1.5	79...88	STF28-461	

Таблица 2. Параметры DC/DC-преобразователей *SMFLHP283R3S* и *SMFLHP2805S*

Параметр	SMFLHP283R3S	SMFLHP2805S
Вх. напряжение, В	19...40	
Вых. напряжение, В	3.23...3.37	4.875...5.125
Вых. ток (макс.), А	16	
Число выходов	1	
Частота преобразования, кГц	550...650	
Вых. мощность, Вт	53	80
КПД (тип.) при температуре 25 °С, %	72	80
Уровень шумов и пульсаций вых. напряж., п-п, макс., в полосе 10 кГц...20 МГц и диапазоне температур -55...125 °С, мВ	40	90
Прочность изоляции, кВ	8 (MIL-PRF-38534, 3.9.5.8.2, MIL STD 883 Method 3015 CLASS 3B)	
Сопротивление изоляции (мин.), МОм	100	
Диапазон рабочих температур при полной нагрузке, °С	-55...125	
Габаритные размеры, мм	76.33×38.23×10.16	
Масса (макс.), г	86	

компании Interpoint можно найти в сети Интернет по адресу: [www.cranee.com/interpoint](http://www.cranee.com/interpoint)

или в фирме VD MAIS.

**Таблица 3. Параметры некоторых DC/DC-преобразователей класса Hi-Rel**

Тип	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходная мощность, Вт	КПД, (тип.), %	Диапазон рабочих температур, °C	Тип фильтра
MOR	16...40	3.3/5/6.3/9.5/12/15 /±3.3/±5/±6.3/±9.5 /±12/±15	66...120	77...87	-55...125	FMCE-1528
MHP270	160...400	5/12/15/28/±5/±12/±15	50...65	74...82	-55...100	FME270
MFL	16...40	3.3/5/12/15/28/±5/±12/±15	40...65	76...87	-55...125	FMCE-0828
MFX	16...50	3.3/5	50	89...91		FMCE-0528
MWR	14...50	3.3, ±12/3.3, ±15/5, ±12/5, ±15	30...35	81...85		
MFK	16...50	1.8/2.5/3.3/5/5.7/12 /15/28/±5/±7/±12/±15	10...25	72...86		
MTR 50		3.3/5/8.5/12/15/±5/±12/±15	20...30	76...84		
MSA	16...40	5/5.2/12/15/±5/±12/±15	5	71...76	FMCE-0328 / FMSA	
MCH	12...50	5/12/15/±5/±12/±15	1.5	76...79		



**Рис. 2. DC/DC-преобразователи SMFLHP283R3S и SMFLHP2805S**

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Crane Aerospace & Electronics. Power Solutions Interpoint® DC-DC Converters and EMI Filters. Space Catalog.
2. Crane Aerospace & Electronics. Power Solutions Interpoint® DC-DC Converters and EMI Filters. High Reliability Catalog.



**Рис. 3. DC/DC-преобразователи класса Hi-Rel**

## ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ БЛОКИ ПИТАНИЯ КОМПАНИИ GAIA



### HI-REL POWER SUPPLY OF GAIA

**В** статье рассматриваются высоконадежные блоки питания компании Gaia.

Abstract – The article discusses the features of Hi-rel power supply of Gaia.

*V. Oхрименко*

*V. Oхрименко*

### ВВЕДЕНИЕ

Использование стандартных DC/DC- и AC/DC-преобразователей, а также других дополнительных модулей (фильтров помех, корректоров мощности и пр.) позволяет создавать разнообразные блоки питания на базе модульной архитектуры.

Французская компания GAIA Converter, созданная в начале 1990 г.г., в основу концепции построения универсальных блоков питания положила принцип модульной архитектуры, что во многом упрощает процесс разработки сложных блоков питания для разных приложений.

Модульные блоки питания и высоконадежные DC/DC-преобразователи компании Gaia Converter предназначены для эксплуатации в жестких условиях окружающей среды. Это аппаратура для гражданской и военной авиации, наземной и морской военной техники, а также промышленное оборудование, медицинская техника и системы связи [1-5].

Высокая надежность изделий компании достигается благодаря схемотехническим, технологическим и конструктивным решениям, а также благодаря автоматизации процесса сборки, тестированию и отбору изделий.

Продукция компании GAIA Converter содержит тысячи модификаций DC/DC- и AC/DC-преобразователей, а также разнообразных входных модулей, способных удовлетворить требования придирчивых заказчиков (рис. 1). Изделия подразделяются на две категории. Для промышленных и высоконадежных приложений, имеющие, соответственно, обозначение Industrial (I) или Hi-rel (M) Grade (табл. 1, 2). Модули имеют широкий диапазон входных напряжений от 4.5 до 480 В и один,

два или три выходных канала. Входные модули имеют встроенные функции защиты от переходных процессов, содержат фильтры электромагнитных помех, а также обеспечивают защиту от провалов входного напряжения. Изделия для высоконадежных приложений отличаются расширенным диапазоном рабочих температур (-40...105 °С), меньшими пульсациями выходного напряжения и лучшей стабильностью выходных параметров.

К источникам питания для военного оборудования предъявляются жесткие требования. Это защита от пропаданий до нуля и скачков входного напряжения, возникающих при переходных процессах, защита от электромагнитного излучения, а также высокая надежность при эксплуатации в жестких условиях окружающей среды и др. Поэтому большинство источников питания разработано с учетом этих и других специфических требований.

Многие известные компании используют блоки питания компании GAIA Converter в своих изделиях. Это Airbus, Boeing, Bombardier, Embraer, Dassault в гражданской авиации и аэрокосмической сфере; в военной авиации – M2000, Rafale, Typhoon, JAS39, Tornado, F-16 Falcon, F/A-22 Raptor, F-35 JSF, AWACS, Nimrod MR4A, P3C Orion; Eurocopter в гражданских и военных вертолетах; в танках – Leclerc/Leopard; ракетах – MILAN, Eryx; в торпедах и беспилотных летательных аппаратах; кораблях военно-морского флота, на транспорте и пр.

Блоки питания компании широко используются в промышленной сфере. Это оборудование электроснабжения, системы контроля окружающей среды и сейсмоактивности, устройства гидролокации, нефтегазодобывающее оборудование и др.

### Источники питания компании GAIA

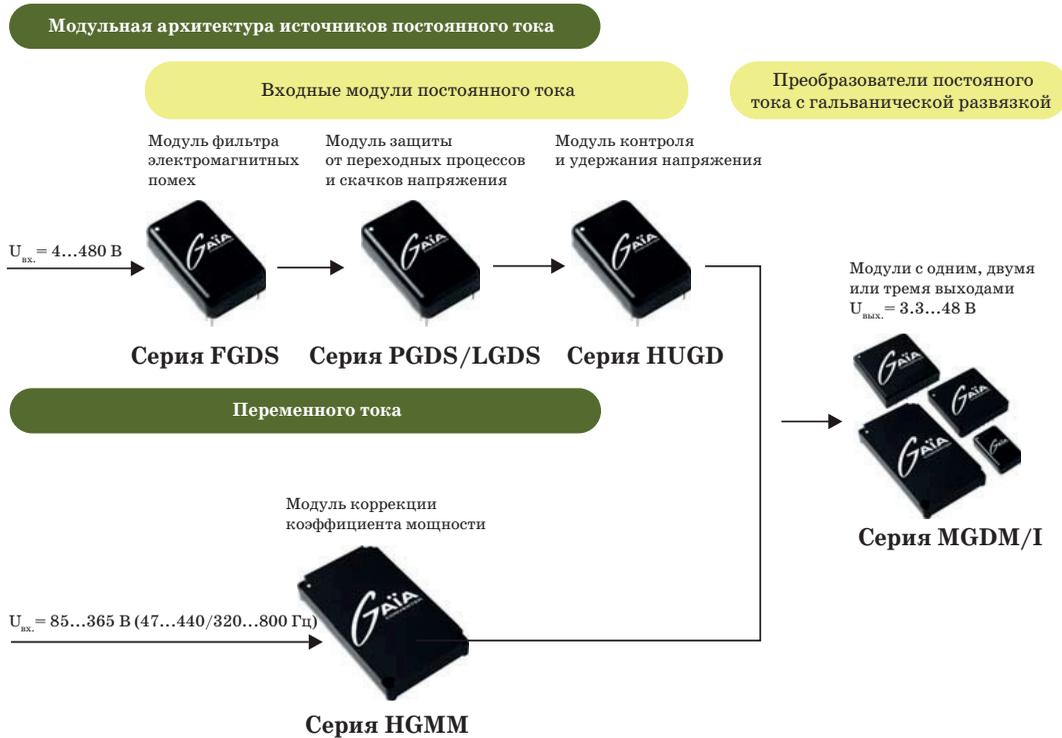


Рис. 1. Продукция компании GAIA Converter

Таблица 1. Сравнительные параметры продукции в зависимости от категории исполнения

Параметр	Высоконадежные (M Grade)	Промышленные (I Grade)	
Область применения	Авиация, военные приложения, транспорт	Транспорт, промышленное оборудование	
КПД, %	83...92	80...87	
Погрешность установки вых. напряжения, %	±2		
Уровень выходных шумов и пульсаций, п-п, мВ	3.3/5В	40	50
	12 В	50	100
	15/24 В	60	150
Прочность изоляции, В	1500		
Сопротивление изоляции, МОм	100		
Диапазон рабочих температур (корпуса), °С	-40...105	-40...95	

Высоконадежные (Hi-rel) DC/DC-преобразователи MGDD-60 мощностью 60 Вт изготавливаются в металлическом корпусе и ориентированы на применение в системах с распределенной архитектурой электропитания, в которых входное напряжение изменяется в широ-

ком диапазоне (от 12 до 160 В), и, кроме того, которые отличаются кратковременными пропадающими и скачками входного напряжения.

Основные параметры модификаций преобразователей MGDD-60 даны в табл. 3. Структура преобразователя MGDD-60 приведена на рис. 2.

Таблица 2. DC/DC-преобразователи компании Gaia Converter

Тип	Габаритные размеры, мм	Мощность, Вт	Исполнение	Входное напряжение, В	Число выходов
MGDxx-04	38.1×19.05	4	M/I	4.5-5.5, 18-36, 9-36, 16-40, 36-140	1/2/3
MGDDx-08	25.4×19.05	8	M	4.5-33, 9-60	2
MGDxx-10	25.4×38.2	10	M/I	4.5-5.5, 18-36, 4.7-16, 9-36, 16-40, 36-140	1/2/3
MGDSx-18		18	M/I	4.5-5.5, 4.7-16, 9-36, 16-40, 36-140	1
MGDxx-20	50.8×50.8	20	M/I	4.5-5.5, 18-36, 4.7-16, 9-36, 16-40, 36-140	1/2/3
MGDDx-20	25.4×38.2	20	M/I	12-160	2
MGDD-21	25.4×31.75	20	M	4.5-33, 9-60	2
MGDxx-25	50.8×50.8	25	M/I	9-36, 16-40, 18-75	1/2/3
MGDSx-26		26	M/I	9-36, 16-40	1
CGDx-30	76.2×50.8	30	M/I	18-36, 4.7-16, 9-36, 16-40, 36-140	до 6
MGDxx-35		35	M/I	9-36, 16-75, 36-140	1/2/3
MGDSx-60		60	I	14-55, 36-140	1
MGDDx-60		60	M/I	12-160	2
MGDSx-75	57.91×36.83	75	M/I	9-45, 16-80, 155-480	1
MGDSx-100	76.2×50.8	100	M/I	14-55, 36-140, 10.7-100	
MGDSx-150	60.95×57.91	150	M/I	9-45, 16-80, 120-480	
MGDS-155	57.91×36.83	155	M	9-45, 16-80, 155-480	
MGDS-200	73.6×48.5	200	M	9-45, 16-80	

Их отличительные особенности – повышенный уровень входного напряжения и два выхода с возможностью синхронизации от внешнего сигнала, предусмотрено также дистанционное вкл./выкл. Для увеличения выходного напряжения допускается последовательное соединение выходов преобразователей, а для повышения выходной мощности – параллельное.

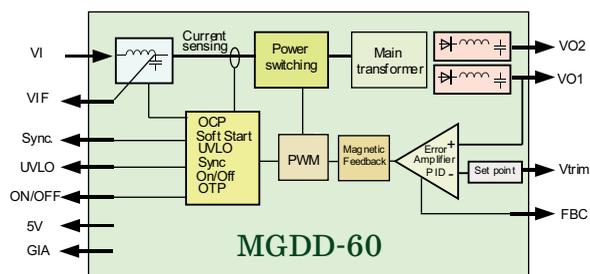


Рис. 2. Структура преобразователя MGDD-60

Кроме того, предусмотрена защита от снижения входного напряжения ниже допустимого уровня, перенапряжения на входе и выходе, перегрузки и перегрева. Наличие функции "мягкого" старта позволяет ограничить уровень входного и выходного тока при включении преобразователей.

Предусмотрена также возможность регулировки выходного напряжения с использованием внешнего резистора, который подключается к специально предназначенным выводам.

Преобразователи содержат входной LC-фильтр. Для увеличения емкости конденсатора этого фильтра за счет подключения внешнего конденсатора предусмотрен дополнительный вывод.

Высокотемпературные (Hi-Temp) DC/DC-преобразователи серии HTPS-15 мощностью 15 Вт изготавливаются в металлическом корпусе (рис. 3) и ориентированы, главным образом, на применение в оборудовании для бур-

Таблица 3. Основные параметры преобразователей MGDD-60

Параметр	Обозначение			
	MGDD-60-R-C	MGDD-60-R-E	MGDD-60-R-F	MGDD-60-R-I
Вых. напряжение, В	5	12	15	24
Вых. ток, А	5	2.5	2	1.25
Вх. напряжение, В	12...160			
Число выходов	2			
Вых. мощность, Вт	60			
КПД, %	91			
Частота преобразования, кГц	270			
Время старта, мс	30			
Погрешность установки вых. напряжения, % $U_{ном}$	±2			
Уровень вых. шумов и пульсаций, п-п, мВ (макс.) при $U_{вх. ном.}$ и полной нагрузке в полосе 20 МГц	5 В	200		
	12 В	240		
	15 В	300		
	24 В	520		
Прочность изоляции, В	1500			
Сопротивление изоляции, мин., МОм	100			
Наработка до отказа, тыс. ч при температуре 40 °С (MIL-HDBK-217F)	680			
Габаритные размеры, мм	82.51×48.5×12.5			
Масса, г	70			

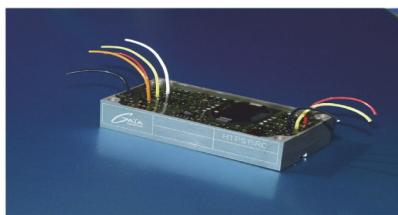


Рис. 3. DC/DC-преобразователь HTPS-15

ния скважин. Основные параметры модификаций DC/DC-преобразователей HTPS-15 даны в табл. 4.

Отличительная особенность этих преобразователей – расширенный диапазон рабочих температур. Гарантированная продолжительность работы при температуре 150, 175 и 185 °С составляет, соответственно 1000, 400 и 100 ч. Входное напряжение 150...300 В (допускаются

броски напряжения до 330 В длительностью до 100 мс). Модули герметизированы защитным компаундом. В процессе производства 100% продукции подвергается тестированию.

Модульный блок питания GPack 800 DC-DC Power System суммарной мощностью до 800 Вт, предназначен для бортовых сетей постоянного тока напряжением 24/28/48 В. Блок питания GPack-800 (рис. 4) ориентирован на применение в авиации, военном, морском и наземном оборудовании специального назначения.

Блок питания GPack-800 имеет габаритные размеры 120×180×60 мм и может содержать до четырех модулей серии MGDM200. Структура блока GPack-800 приведена на рис. 5. Встраиваемые модули MGDM200 можно использовать как в автономном режиме работы, так и в других режимах, в которых выходы независи-

Таблица 4. Основные параметры DC/DC-преобразователей HTPS-15

Параметр	Обозначение		
	HTPS-15-R-C	HTPS-15-R-B	HTPS-15-R-F
Вых. напряжение, В	3.3	5	15
Вых. ток, А	2	2	1
Номинальное вх. напряжение, В	200		
Вх. напряжение, В	150...300		
Вых. мощность, Вт	15		
КПД, тип., %	75		
Частота преобразования, кГц	220		
Время старта, мс	100		
Погрешность установки вых. напряжения, % $U_{ном}$	±2		
Уровень вых. шумов и пульсаций, п-п, мВ при $U_{вх.ном}$ , в полосе 20 МГц	3.3 В	50	
	5 В	50	
	15 В	150	
Сопротивление изоляции, мин., МОм	1		
Габаритные размеры, мм	68.5×33.0×15.2		
Масса, г	65		

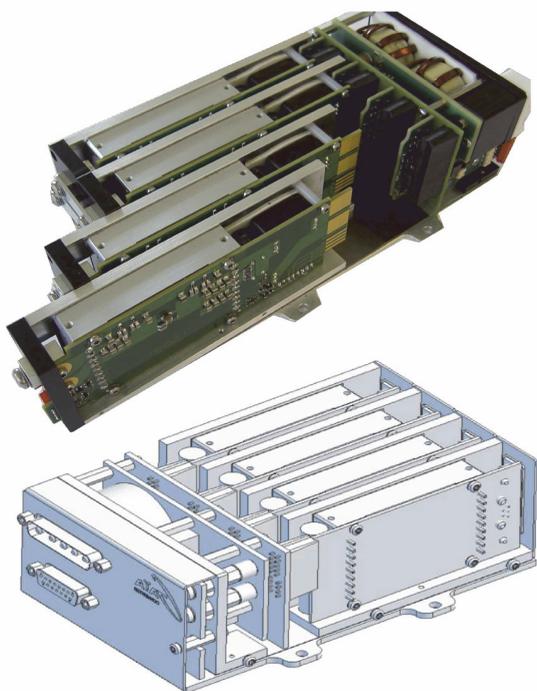


Рис. 4. Модульный блок питания GPack-800

мых модулей могут соединяться параллельно или последовательно. Конфигурация блока задается пользователем или производителем.

Основные параметры блока GPack-800:

- мощность до 800 Вт
- входное напряжение 9...45 В (допускаются броски напряжения до 60 В длительностью до 100 мс) или 16...80 В (100 В/100 мс)
- четыре независимых выхода с возможностью их параллельного или последовательного соединения
  - выходное напряжение 5/12/15/24 В
  - естественное охлаждение
  - КПД до 88%
  - габаритные размеры 120×180×60 мм
  - масса 1.8 кг.

Модульный блок питания GPack-800 содержит средства управления и мониторинга, что позволяет осуществлять:

- дистанционное вкл./выкл. блока и каждого встроенного модуля
- параллельное или последовательное соединение выходов модулей
- синхронизацию модулей от внешнего тактового сигнала
  - параллельное соединение до трех блоков GPack-800 с суммарной мощностью 2.4 кВт
  - контроль перегрузки по току, снижения напряжения и перегрева блока питания.

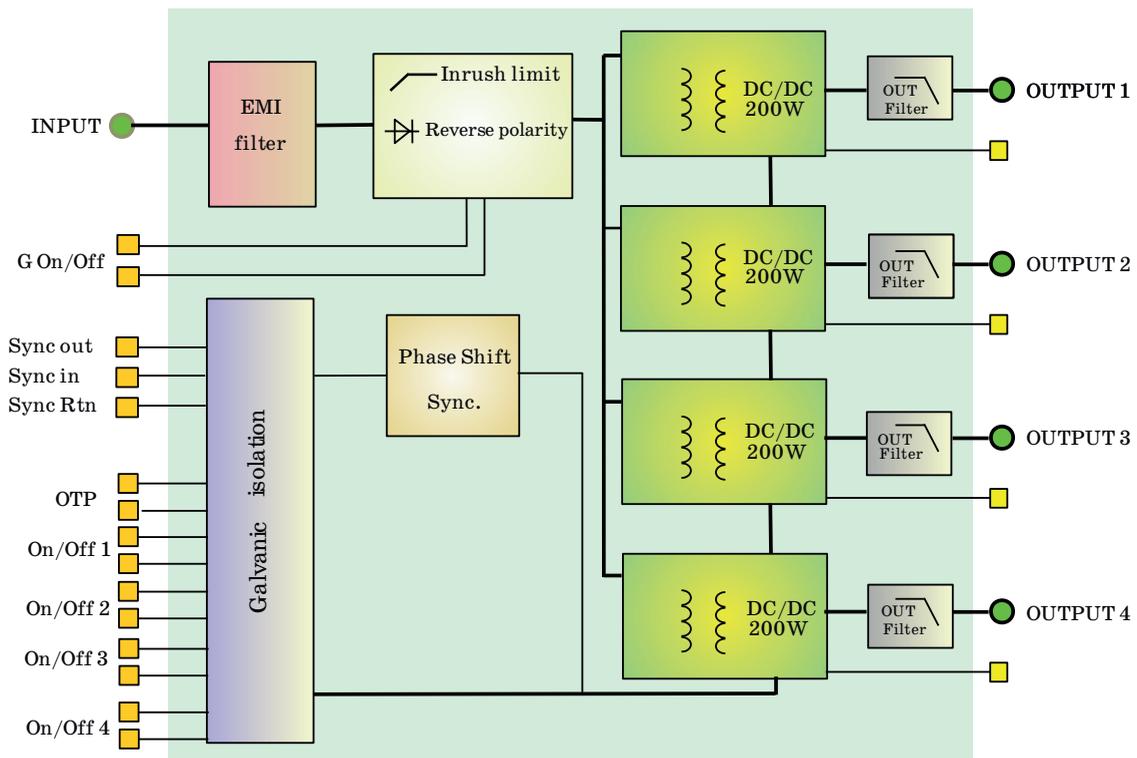


Рис. 5. Структура блока питания GPack-800

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Блоки питания компании Gaia Converter выполнены в соответствии с рекомендациями стандартов DO-160 и MIL-STD-704/461/810. Благодаря высокой надежности они применяются в военной и гражданской авиации, военной технике (танках, торпедах и беспилотных летательных аппаратах, оборудовании кораблей военно-морского флота), на транспорте (локомотивах и метро), в приборах гидролокации, нефтегазодобывающем оборудовании и пр.

Более полную информацию о продукции компании Gaia Converter можно получить в

сети интернет по адресу: <http://gaia-converter.com/> или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе Gaia Converter в Украине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Modular Power Converters. Quick Selection Guide.
2. Hi-Rel DC/DC converter MGDD-60: 60W power.
3. Hi-Temp 185°C DC/DC converter HTPS-15: 15W power.
4. GPack-800 series.
5. <http://gaia-converter.com>.

### *Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!*

Для оформления бесплатной подписки достаточно прислать по электронной почте на адрес [ekis@vdmatis.ua](mailto:ekis@vdmatis.ua) заявку с указанием: Фамилии Имени Отчества, адреса электронной почты, названия организации в которой Вы работаете и города в котором она располагается. Подписчики журнала могут бесплатно получить любую статью из прошлогодних номеров. Содержание журналов доступно на сайте <http://www.ekis.kiev.ua/archive.php>.

Для получения статьи достаточно прислать заявку по адресу [ekis@vdmatis.ua](mailto:ekis@vdmatis.ua) с указанием номера журнала и названия статьи.

## ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЕ СИРЕНЫ КОМПАНИИ CORTEM GROUP EXPLOSION-PROOF SIREN COMPANY CORTEM GROUP



Cortem Group – ведущая мировая компания, которая занимается производством взрывозащищенного электрооборудования и пылевлагозащищенного электрооборудования (в том числе для пожароопасных зон).

Компания занимается производством взрывозащищенного и пылевлагозащищенного электротехнического оборудования с 1968 года. Продукция и услуги компании Cortem присутствует на рынках многих стран мира. Оборудование группы Cortem установлено на разнообразных объектах более чем в 100 странах мира. Компания является лидером в производстве взрывозащищенного электрооборудования, все оборудование сертифицировано в соответствии с европейскими нормами.

Компания Cortem является третьей в списке поставщиков мирового уровня среди компаний нефтеперерабатывающего сектора PVD SA. В группу Cortem входят компании ELFIT и FONDISONZO.

Использование современных технологий обеспечивает качество и надежность продукции Cortem. Вся продукция контролируется на каждом этапе производства.

Среди продукции компании взрывозащищенные:

- коробки
- шкафы управления, пускатели, щиты освещения, модули коммутации и защиты, силовое оборудование, заземляющие устройства
- посты управления, индикации, сигнализации, оповещения и видеонаблюдения
- разъемы, зажимы заземления, концевые выключатели
- заградительные огни, светосигнальные устройства, светофоры, табло оповещения, устройства звуковой сигнализации (сирены)
- фитинги, гибкие соединения, трубные коробки и аксессуары к трубной проводке и многое другое.

Рассмотрим основные характеристики взрывозащищенных устройств звуковой сигнализации.

Взрывозащищенные всепогодные сирены



серии ETH [1] используются в качестве акустических сигнальных устройств во взрывоопасных зонах (в шахтах, на предприятиях нефтегазового и химического комплекса и т.п.).

Они позволяют формировать двухтоновый или пятитоновый сигнал (двухтоновый – визг – вопль – прерывистый – тон с постоянной частотой) с максимальным уровнем звукового давления 110 дБ.

Сирены предназначены для работы в зонах 1, 2, 21 и 22 при температуре окружающей среды от -50 до 85 °С, класс защиты IP65. Соответствуют европейским стандартам: CENELEC EN 60079-0: 2006/09, EN 60079-1: 2004/07, EN 61241-0: 2006, EN 61241-1: 2004, EN 60079-31: 2009 и европейским директивам 94/9/EC: 1994.

Механические характеристики сирен:

Корпус и крышка: алюминиевый сплав с низким содержанием меди.

Контрольная проволока: сталь.



**Основные характеристики сирен серии ETH**

Тип	Колич. програм. тонов	Упит., В	Рпотр., Вт	Диапазон частот излучаемых сигналов, Гц	Звуковое давление, дБ/м	Масса, кг	Габаритн. размеры, мм
ETH-12MD/12/5T	5	12 - 24 AC/DC	4	440...1600	1021	1.5	230×150×150
ETH-12MD/48/5T	5	48 AC	4	440...1600	102	1.5	230×150×150
ETH-12MD/110VCA	5	115 AC	4	440...1600	106	1.5	230×150×150
ETH-12MD/230VCA	5	230 AC	4	440...1600	106	1.5	230×150×150
ETH-20MD/12/5T	5	12 - 24 AC/DC	19	440...900	105	3.7	390×280×280
ETH-20MD/110VCA	5	115 AC	16	440...900	110	3.7	390×280×280
ETH-20MD/230VCA	5	230 AC	16	440...900	110	3.7	390×280×280

Колоколообразный корпус: хромированный цветной пластик АВС (акрилонитрил-бутадиен-стирен).

Уплотняющие прокладки: силикон устойчивый к высокой температуре, кислотам и органическим растворителям.

Болты и винты: нержавеющая сталь.

Монтаж: болтом 3/4" или на монтажный кронштейн (по запросу).

Покрытие: эпоксидное покрытие RAL 7000.

Основные характеристики Взрывозащитных сирен серии ETH приведены в таблице.

В сиренах предусмотрена возможность дискретной установка 32 основных тонов.

Краткая характеристика сложных звуков приведена ниже.

Двухтональный сигнал – длительность тона с частотой 440 Гц составляет 0.4 с, а с частотой

554 Гц – 0.1 с.

Визг – увеличения и уменьшения частоты с высокой скоростью в диапазоне частот от 650 до 1600 Гц.

Вопль (плачущий звук) – увеличения и уменьшения частоты с низкой скоростью в диапазоне частот от 650 до 1600 Гц.

Периодический – излучение тона с частотой 554 Гц в течение 1 с, пауза 1 с.

Фиксированный тон – излучение тона с частотой 554 Гц в течение длительного времени.

Более полную информацию о продукции компании Cortem Group можно получить в научно-производственной фирме VD MAIS, являющейся официальным дистрибьютором компании в Украине.

<http://www.cortemgroup.com/en/products/Signalling%20equipment/ETH>

**VD MAIS**  
Печатные платы

- проектирование печатных плат
- технологическая подготовка производства
- изготовление любого количества плат:
  - по ГОСТ 23752-79
  - по стандарту IPC-A-600
- проектирование и изготовление трафаретов для нанесения паяльной пасты.

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.  
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua



**VD MAIS**  
Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)

- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха
- Устройства трафаретной печати
- Системы установки компонентов
- Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

**Дистрибуция и прямые поставки:**  
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essentec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha Techwin, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua



## НОВЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОМПАНИИ RECOM

**RECOM**  
DC/DC Converter

## NEW DC/DC-CONVERTERS RECOM COMPANY

### RXXP22005D/RKZ-XX2005D

RxxP22005D/RKZ-xx2005D (рис. 1) – компактные DC/DC-преобразователи в корпусе типа SIP7 выходной мощностью до 2 Вт, ориентированные на использование с драйверами высокоскоростных МОП-транзисторов, изготовленных с использованием карбид-кремниевой (SiC) технологии. Благодаря своим параметрам эти транзисторы являются ключевыми компонентами в изделиях силовой электроники.

Преобразователи RxxP22005D/RKZ-xx2005D между собой отличаются величиной максимальной емкости нагрузки, временем наработки до отказа, уровнем пульсаций выходного напряжения и габаритными размерами.

Основные технические характеристики:

- входное напряжение 5/12/15/24 В
- выходная мощность 2 Вт
- выходное напряжение 20 и -5 В
- КПД до 87%
- прочность изоляции (вход/выход) до 5.2 кВ постоянного тока
- диапазон рабочих температур до -40...100 °С
- наработка до отказа при температуре 25 °С (RxxP22005D) 2079 тыс. ч
- гарантия 3 года.



Рис. 1. Компактные DC/DC-преобразователи RxxP22005D/RKZ-xx2005D

### R13

Новые DC/DC-преобразователи серии R13 (рис. 2) – компактные DC/DC-преобразователи

в корпусе типа SIP4 выходной мощностью до 3 Вт. Модификации преобразователей R13 между собой отличаются входным и выходным напряжением, током нагрузки и КПД.

Основные технические характеристики DC/DC-преобразователей R13:

- входное напряжение 5/12/15/24 В
- выходная мощность 3 Вт
- выходное напряжение 5/9/12/15 В
- уровень шумов и пульсаций вых. напр., п-п, в полосе 20 МГц – 100 мВ (тип.)
- выходной ток до 600 мА
- частота преобразования 40 кГц (тип.)
- КПД до 90%
- прочность изоляции (вход/выход) до 3 кВ постоянного тока
- диапазон рабочих температур -40...100 °С
- наработка до отказа (при температуре 25 °С) 4395 тыс. ч
- габаритные размеры 11.5×10.2×7.6 мм
- масса 2.2 г.

Дополнительную информацию о DC/DC-преобразователях компании RECOM можно найти в сети Интернет по адресу [www.recom-power.com](http://www.recom-power.com) или в фирме VD MAIS, официальном дистрибьюторе RECOM в Украине.

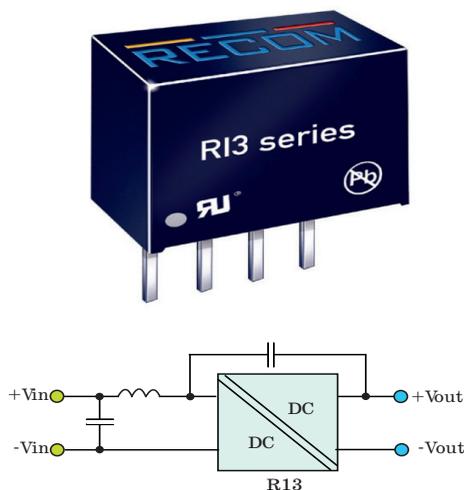
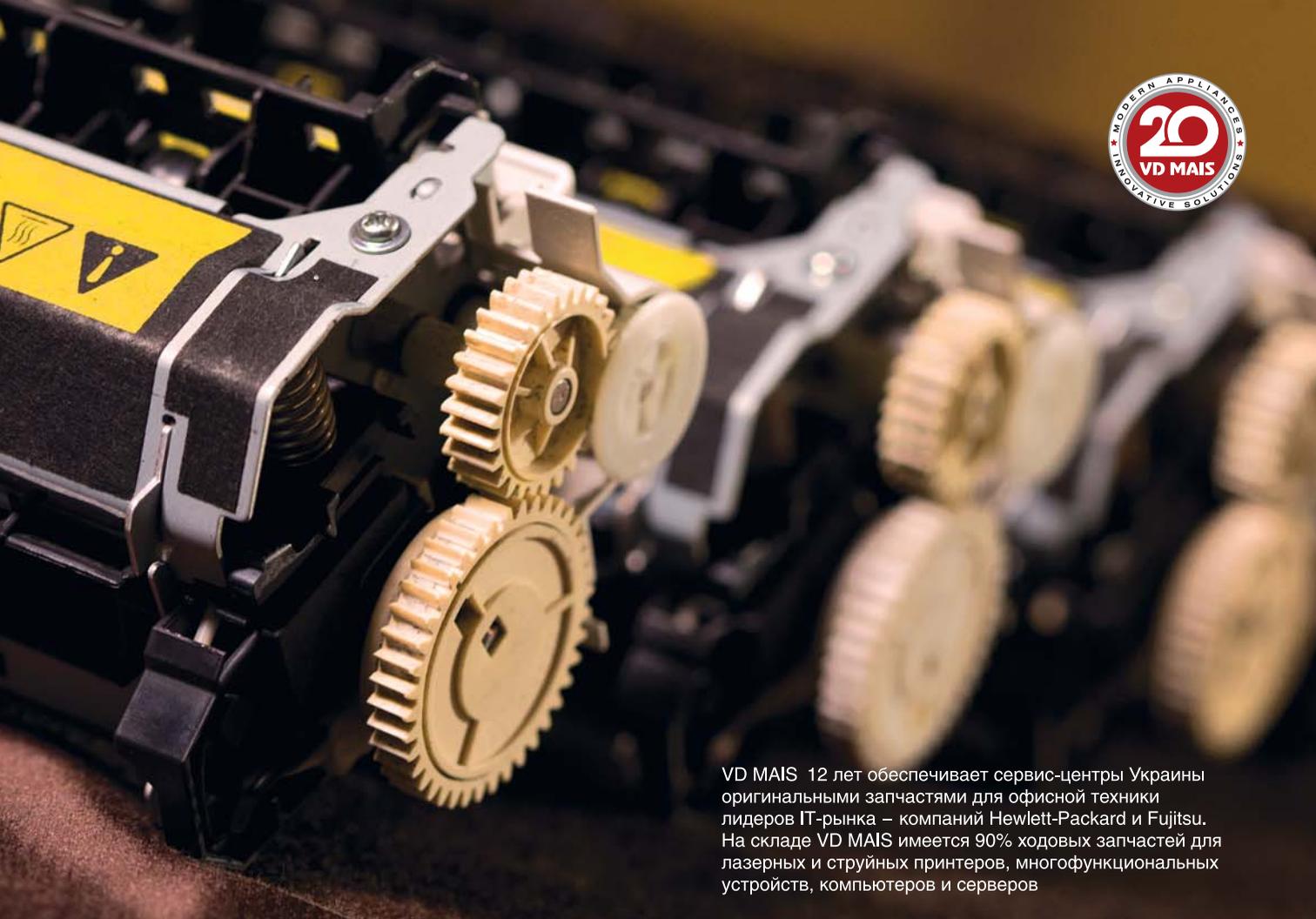


Рис. 2. DC/DC-преобразователи серии R13



VD MAIS 12 лет обеспечивает сервис-центры Украины оригинальными запчастями для офисной техники лидеров IT-рынка – компаний Hewlett-Packard и Fujitsu. На складе VD MAIS имеется 90% ходовых запчастей для лазерных и струйных принтеров, многофункциональных устройств, компьютеров и серверов

HP ▪ Canon ▪ Xerox ▪ Epson ▪ OKI ▪ Samsung ▪ Brother ▪ Lexmark ▪ Fujitsu ▪ Acer ...

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ ЗАПАСНЫЕ ЧАСТИ – КАЧЕСТВО ГАРАНТИРОВАНО



- узлы крепления тонера
- платы электроники
- валы, ролики, шестерни
- механические узлы
- корпусные части



- материнские платы
- винчестеры
- жидкокристаллические экраны
- клавиатуры
- аккумуляторы



Certified HP Genuine Replacement Parts  
Quality assured

**VD MAIS** – авторизованный поставщик (Authorized Part Reseller) запасных частей Hewlett-Packard в Украине

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 274-6897, (032) 245-5478, (048) 734-1954  
info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua



**VD MAIS** – авторизованный Сервис-Партнер (Service Partner) компании Fujitsu Technology Solutions в Украине



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) 220-0101, 492-8852  
Факс: (+38-044) 220-0202  
E-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua)  
[http:// www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

### Ukraine

03061 Kyiv, M. Dontsia St. 6  
tel.: (+38-044) 220-0101, 492-8852  
fax: (+38-044) 220-0202

### Региональные представительства:

**61070 Харьков**  
ул. Академика Проскуры, 1  
тел./факс: (057) 719-6718, 716-4266  
[s.momot@vdmajs.ua](mailto:s.momot@vdmajs.ua)

**49006 Днепр**  
пр. Пушкина, 55, оф. 504  
тел./факс: (0562) 319-128  
[a.bandurko@vdmajs.ua](mailto:a.bandurko@vdmajs.ua)

**65005 Одесса**  
ул. Головкинская, 36, оф. 20  
тел./факс: (048)734-1954  
[a.bilous@vdmajs.ua](mailto:a.bilous@vdmajs.ua)

**79058 Львов**  
пр. В. Чорновола, 67, оф. 319  
тел./факс: (032) 245-5478  
[s.luschak@vdmajs.ua](mailto:s.luschak@vdmajs.ua)

Запорожье  
Руслан Моисеенко  
[r.moisejenko@vdmajs.ua](mailto:r.moisejenko@vdmajs.ua)  
тел. (095) 274-6897