



### Датчики и системы для статических и динамических измерений ускорений и вибраций

#### **В номере:**

- Средства защиты входных цепей АЦП
- Методы уменьшения искажений в прецизионных АЦП
- Биометрическая идентификация личности
- Новые драйверы светодиодов компании Mean Well
- Спецификации Zhaga Book 13 для светодиодных систем освещения
- Модули питания Resom для интернета вещей
- **Новые датчики Dytran для аэрокосмических систем**
- Радиационно-стойкие микросхемы
- Особенности архитектуры синтезаторов прямого цифрового синтеза СВЧ-диапазона



**От ремесла к искусству!**

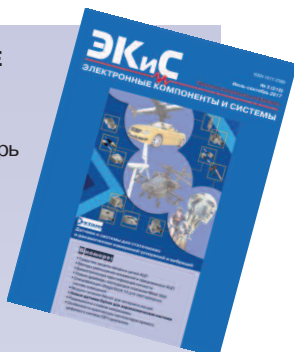
# Проектирование печатных плат

Проектирование печатных плат в НПФ VD MAIS – это:

- применение различных CAD/CAM-систем: P-CAD, Mentor Graphics, CAM-350
- контроль качества на каждом этапе выполнения работ
- система менеджмента качества фирмы сертифицирована на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003
- проектирование и изготовление трафарета для нанесения паяльной пасты
- монтаж печатных плат любой сложности при серийном и мелкосерийном производстве

**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

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ  
И СИСТЕМЫ**2017 июль-сентябрь  
№ 3 (219)МАССОВЫЙ  
НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**Учредитель и издатель:**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ  
ФИРМА VD MAISЗарегистрирован  
Министерством информации  
Украины 24.07.96 г.  
Свидетельство о регистрации:  
серия КВ, № 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 30.03.2017Перепечатка опубликованных в журнале  
материалов допускается с разрешения редакции.  
За рекламную информацию ответственность несет  
рекламодатель.**В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

А. Уолш

**Средства защиты входных цепей АЦП** .....3

С. Кси

**Анализ и методы ослабления искажений  
в прецизионных АЦП** .....5

Ч. Тран

**Одна микросхема обеспечивает коэффициент усиления  
от 1/4 до 6** ..... 10

А. Патил

**Почему замена линейного стабилизатора более  
экономичным аналогом может привести к потере  
работоспособности устройства в целом** ..... 11**СЕНСОРЫ И ДАТЧИКИ**

В. Романов, И. Галелюка

**Биометрическая идентификация личности и перспективы  
ее применения в Украине** ..... 14**СВЕТОДИОДНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ**

В. Котигорожко

**Новые драйверы светодиодов компании Mean Well** ..... 19

В. Котигорожко

**Спецификации Zhaga Book 13 для светодиодных  
систем освещения** .....27**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И СВЯЗЬ**

Дж. Морриссей, П. Уолш

**Чипсет приемопередатчика с полосой 24 ГГц для применения  
в автомобильных радарх** .....30**ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**

В. Макаренко

**Модули питания Resom для интернета вещей** .....32**СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ**

В. Котигорожко

**Газовые разрядники компании Littelfuse** .....39**КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В. Макаренко

**Новые датчики Dytran для аэрокосмических систем** .....46

В. Котигорожко, В. Раздобудько

**Радиационно-стойкие микросхемы** .....55**ГЕНЕРАТОРЫ**

В. Макаренко

**Особенности архитектуры синтезаторов частоты прямого  
цифрового синтеза СВЧ-диапазона** .....68

**ASK THE APPLICATIONS ENGINEER**

- A. Walsh  
**Protecting ADC Inputs** .....3  
 S. Xie  
**Analyzing and Solving Fixed Issues in High Precision  
 ADC Signal Chains**.....5  
 Ch. Tran  
**Single IC Gain Block Provides Accurate Gains  
 from 1/4 to 6** .....10  
 A. Patil  
**Burned by Low Power? When Lower Current Consumption  
 Can Get You Into Trouble** ..... 11

**SENSORS**

- V. Romanov, I. Galelyuka  
**Biometric identification of personality and perspectives  
 of its application in Ukraine** ..... 14

**LED LIGHTING SYSTEM**

- V. Kotigorozko  
**New Mean Well LED power supply** .....19  
 V. Kotigorozko  
**Specifications Zhaga Book 13 for led lighting systems** .....27

**TELECOMMUNICATION**

- J. Morrissey, P. Walsh  
**High Performance Integrated 24 GHz FMCW Radar  
 Transceiver Chipset for Auto and Industrial Sensor  
 Applications** .....30

**POWER SUPPLIES**

- V. Makarenko  
**Power Supplies Recom For a Smarter World** .....32

**PROTECTION SYSTEM**

- V. Kotigorozko  
**Gas Discharge Tube** .....39

**DUAL-USE COMPONENTS**

- V. Makarenko  
**Sensors For Space Applications** .....46  
 V. Kotigorozko, V. Razdobudko  
**Radiation tolerant solutions** .....55

**GENERATORS**

- V. Makarenko  
**Features of architecture of frequency synthesizers  
 DDS of microwave range** ..... 68


**ELECTRONIC  
 COMPONENTS  
 AND SYSTEMS**

July-Септембег 2017  
 No. 3(219)

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. Iliа Bronz,  
 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@vdmals.ua

**Web address:**

www.vdmals.ua

www.ekis.kiev.ua

Printed in Ukraine

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



# СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ АЦП \*

## PROTECTING ADC INPUTS

**В** статье рассмотрены особенности защиты входных цепей АЦП от перенапряжения.

А. Уолш

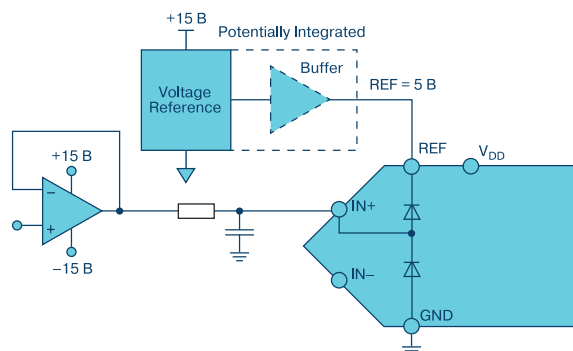
**A** common issue that arises when designing an ADC circuit is how to protect the ADC inputs from over voltage

A. Walsh

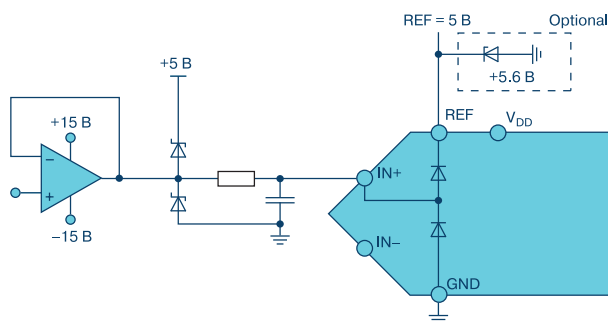
Перенапряжение на входах АЦП, как правило, вызвано тем, что размах напряжения питания усилителя драйвера больше размаха напряжения питания АЦП. Обычно напряжение питания АЦП находится в пределах 0...5 В, а усилителя-драйвера от +15 до -15 В. Перенапряжение на входах АЦП (даже краткосрочное) приводит к выходу из строя ИМС преобразователя. В настоящей статье рассмотрены особенности защиты входных цепей АЦП поразрядного уравнивания семейства ИМС AD798х. Предложенные решения могут быть также использованы для АЦП других типов.

На рис. 1 на примере АЦП семейства PuISAR AD7980 показаны встроенные защитные цепи на основе диодов, которые включены между входом собственно АЦП, входом его опорного источника и шиной земли. Максимальный ток перегрузки, который может протекать через цепь защиты, составляет 130 мА, причем в таком нагруженном режиме диоды могут работать не более нескольких миллисекунд. В преобразователях подобного типа AD768х/AD769х защитные диоды подключены одним полюсом к источнику питания  $V_{DD}$ , напряжение которого, как правило, больше напряжения  $V_{REF}$ . Такое включение менее чувствительно к разрушающему действию перенапряжения. В схеме, рис. 1, размах напряжения питания усилителя составляет  $\pm 15$  В, поэтому возможное перенапряжение на входе АЦП может существенно превысить напряжение опорного источника, что приведет к потере работоспособности АЦП. На рис. 2 в схему защиты входных цепей АЦП включены внешние стабилизаторы и диоды Шоттки, что улучшает степень защиты АЦП от перенапряжения, как следует из осциллограммы на рис. 3.

В многоканальных АЦП с одновременной выборкой и общим опорным источником преобразование в разных каналах может иметь разную точность, ко-



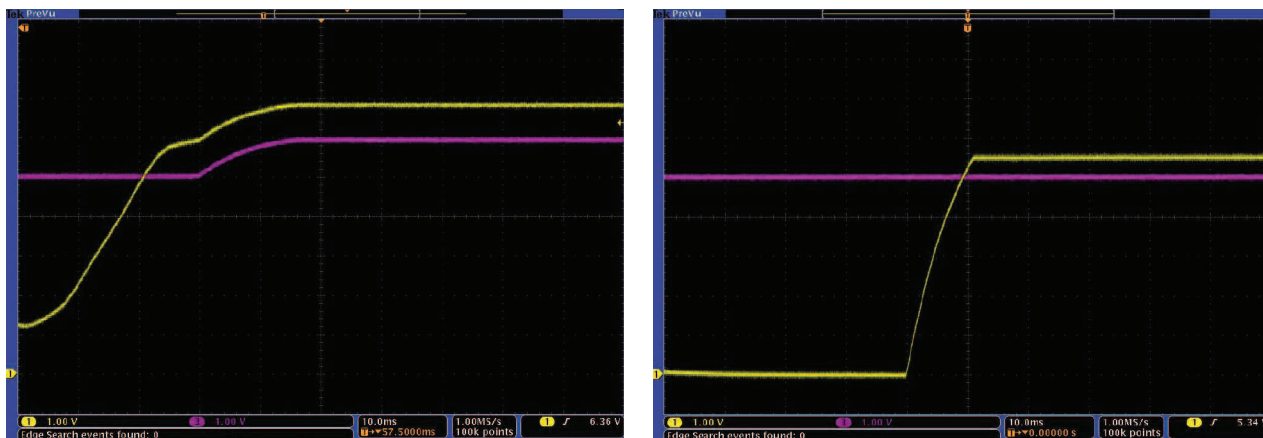
**Рис. 1. Схема включения АЦП AD7980 с внутренними цепями защиты от перенапряжения на входе преобразователя**



**Рис. 2. Включение внешних диодов Шоттки и стабилитрона для защиты от перенапряжения входных цепей АЦП AD7980**

торая определяется погрешностью общего опорного источника. Одним из методов устранения такого недостатка является включение на выходе усилителя диодов Шоттки, например, типа BAT54, рис. 2. Использование диодов Шоттки объясняется малым падением прямого напряжения на их переходе. Внешний резистор, рис. 2, предназначен для ограничения тока во входной цепи АЦП. Если источник опорного напряжения имеет низкую нагрузочную способность по выходу при росте тока пере-

\* Walsh A. Protecting ADC Inputs. Technical article. [www.analog.com](http://www.analog.com).  
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



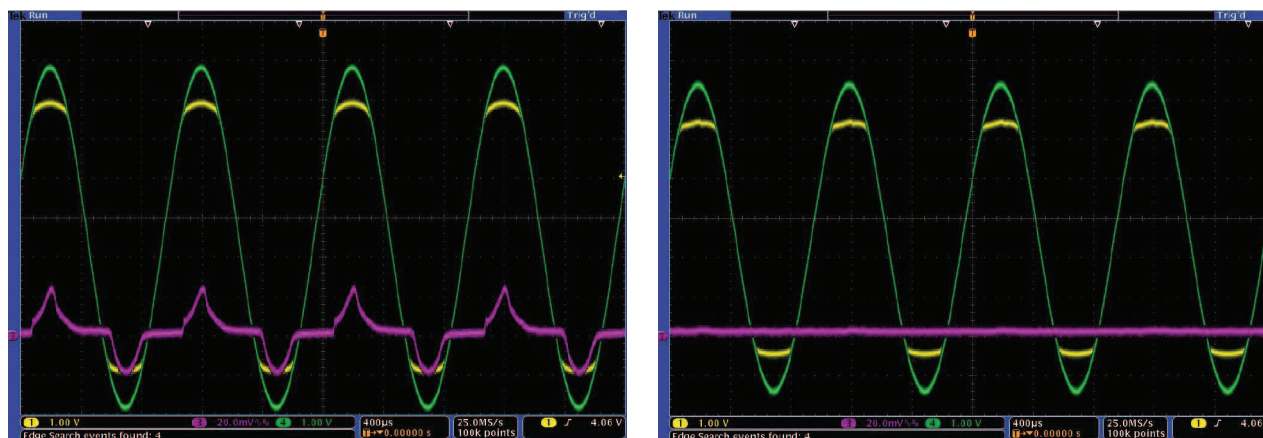
**Рис. 3. Осциллограммы входных скачкообразных сигналов АЦП (входные цепи – желтая кривая, цепь REF – бордовая кривая) для схемы включения с внутренними цепями защиты (слева) и внешними цепями защиты (справа)**

грузки, то в качестве его защиты используются стабилитроны с напряжением пробоя 5.6 В (что справедливо для напряжения опорного источника 5 В), как показано на рис. 2. На рис. 3 представлены осциллограммы напряжения для скачкообразного входного сигнала на выходе усилителя-драйвера, на входе АЦП и на входе опорного источника для схем, приведенных на рис. 1 (слева) и на рис.2 (справа). Как следует из рис. 4 (осциллограмма слева), в АЦП без использования диодов Шоттки в цепях защиты наблюдаются нелинейные искажения напряжения при входном синусоидальном сигнале.

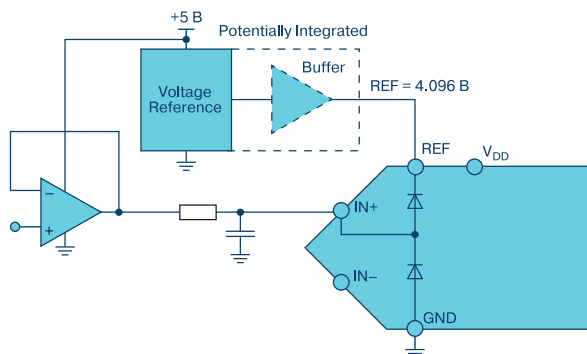
Выбирая диоды Шоттки, следует обратить внимание на обратный ток утечки этих диодов, который может привести к дополнительным нелинейным искажениям в работе АЦП. Диоды Шоттки типа BAT54 имеют ток утечки не более 2 мкА при температуре

25 °С и до 100 мкА при температуре 125 °С.

Еще одним путем защиты АЦП от перенапряжения является использование усилителя-драйвера с одним напряжением питания. В этом случае входное напряжение АЦП никогда не будет меньше нуля, и не превысит уровень положительного напряжения питания (для случая, когда усилитель-драйвер и АЦП имеют одинаковое напряжение питания). Если напряжение опорного источника несколько ниже 5 В и составляет 4.096 В, защита от перенапряжения может быть выполнена по схеме, приведенной на рис. 5. Включение на входе RC-фильтра позволяет уменьшить ток перегрузки, вызванный перенапряжением на выходе усилителя-драйвера. Однако следует отметить, что чем больше величина сопротивления R этого фильтра, тем действительно меньше ток перегрузки, но в то же время и больше искажения сигнала на входе АЦП. Поэтому величину со-



**Рис. 4. Осциллограммы входных синусоидальных сигналов усилителя-драйвера (зеленый цвет), входных сигналов АЦП (желтый цвет) и сигналов на входе REF (бордовый цвет) для схемы включения АЦП без внешних диодов Шоттки и стабилитрона (слева) и с внешними диодами Шоттки и стабилитроном (справа)**



**Рис. 5. Схема включения АЦП AD7980 при одинаковых уровнях однополярного питания усилителя-драйвера и преобразователя**

противления R следует подбирать с учетом этих противоречивых факторов.

## ВЫВОДЫ

1. В современных АЦП высокой точности и быстродействия необходимо использовать внешние цепи защиты от перенапряжения, если напряжение питания усилителя-драйвера превышает напряжение питания преобразователя.

2. При использовании входа REF преобразователя для подключения цепей защиты следует обеспечить высокую линейность напряжения опорного источника, а в случае слабой нагрузочной способности источника опорного напряжения по выходу использовать специальные схемотехнические решения, позволяющие устранить негативное влияние цепей защиты АЦП на качество опорного напряжения.

## АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ АЦП \*

### ANALYZING AND SOLVING FIXED ISSUES IN HIGH PRECISION ADC SIGNAL CHAINS

**В** статье рассмотрены подходы к определению причин возникновения искажений в прецизионных АЦП и методы их ослабления.

С. Кси

**Abstract -** The article introduces approaches for determining the causes of spur issues in precision ADC applications and solutions to solve them.

S. Xie

Современные высокоточные поразрядные и сигма-дельта АЦП обеспечивают высокое разрешение и низкий уровень шумов. Однако разработчикам, использующим эти преобразователи в своих системах, не всегда удается получить гарантируемые технической документацией (data sheet) параметры, прежде всего, такие как отношение «сигнал/шум» (SNR) и динамический диапазон неискаженного сигнала (SFDR). Искажения могут быть вызваны как внутренними цепями проектируемой системы, так и внешними источниками.

Рассмотренные в настоящей статье подходы к анализу искажений и методы их ослабления позволяют повысить точность, улучшить электромагнитную совместимость проектируемых устройств и их надежность.

В статье проанализированы следующие источники искажений:

- искажения, вызванные dc/dc-источником питания, который расположен на плате контроллера
- искажения, вызванные шумами внешнего ac/dc-преобразователя (адаптера)
- искажения, возникающие в кабеле входного аналогового сигнала
- искажения, вызванные наводками на цепи входного аналогового сигнала
- наводки, вызванные излучением осветительного прибора.

**Искажения и динамический диапазон неискаженного сигнала.** Известно, что динамический диапазон неискаженного сигнала (SFDR) может быть определен как отношение мощности полезно-

\* Xie S. Analyzing and Solving Fixed Issues in High Precision ADC Signal Chains. Analog Dialogue, 51-04, April, 2017. [www.analog.com/www.analogdialogue.com](http://www.analog.com/www.analogdialogue.com).  
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

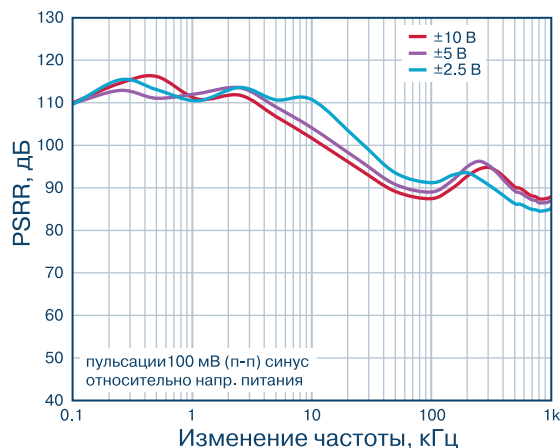
го сигнала к мощности наиболее мощной паразитной частотной составляющей. Для прецизионных АЦП SFDR определяется как отношение между динамическим диапазоном на основной частоте и на частоте второй или третьей гармоники. Однако искажения, снижающие точность преобразователя, могут иметь другую природу. Такие искажения можно разделить на искажения, зависящие от частоты входного сигнала, и искажения фиксированной частоты. В настоящей публикации рассмотрены искажения на фиксированной частоте, причиной которых являются конкретные источники. Это источники питания, различные внешние источники помех, внешние и внутренние интерфейсы и др. Все эти искажения можно ослабить, тем самым улучшить параметры проектируемой системы в целом.

**Искажения, вызванные шумом DC/DC источника питания, который расположен на печатной плате вместе с АЦП.** Как правило, линейные источники питания генерируют меньший шум по сравнению с импульсными источниками. DC/DC источники питания с широтно-импульсной модуляцией генерируют пульсации с постоянной частотой в диапазоне от десятков килогерц до нескольких мегагерц в зависимости от типа источника. Поэтому шум, вызванный этими пульсациями, попадает в измерительный канал преобразователя.

Разработчики используют импульсные источники питания для прецизионных АЦП, так как их габариты меньше габаритов линейных источников. При этом прецизионный АЦП должен иметь высокий коэффициент ослабления нестабильности питания (PSRR), т.е. такой, чтобы шумы по цепям питания ослаблялись до величины, меньшей собственных шумов АЦП. В противном случае точность преобразователя будет снижаться.

Так, например, монолитная 16-разрядная система сбора данных AD7616 с одновременной выборкой сигналов в двух каналах, которая предназначена для мониторинга цепей питания, имеет высокий коэффициент PSRR (почти 100 дБ), что позволяет использовать для ее питания импульсный источник. Отсюда, если источник питания имеет пульсации амплитудой 100 мВ, то уровень шума в измерительном канале АЦП будет на порядок ниже единицы младшего разряда. На рис. 1 приведена зависимость коэффициента PSRR от частоты пульсаций для AD7616.

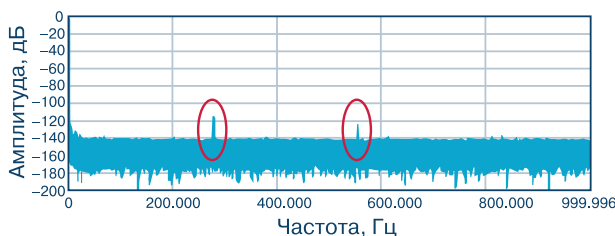
**Искажения, вызванные излучением DC/DC источника питания,** не всегда удастся ослабить в преобразователе с высоким коэффициентом PSRR.



**Рис. 1. Зависимость коэффициента ослабления нестабильности питания АЦП (PSRR) от частоты пульсаций**

Это связано с тем, что искажения поступают в измерительные цепи преобразователя не через цепи питания, а через входные цепи. Рассмотрим этот случай на примере 18-разрядного АЦП AD4003 с частотой выборки 2 МГц. Для тестирования этого АЦП использовалась оценочная плата EVAL - AD4003FMCZ. Спектр искажений гармонического сигнала частотой 277.5 кГц с уровнем -115 дБ приведен на рис. 2. В спектре видны выбросы первой и второй гармоник тестового сигнала. Этот тест позволяет определить, является ли источником шума входная цепь АЦП. Если источником шума являются входные цепи АЦП, то в этом случае:

- уровень искажений можно уменьшить, если заменить симметричный вход преобразователя несимметричным
- уровень искажений уменьшится при включении на входе АЦП ФНЧ.



**Рис. 2. Спектр сигнала на выходе АЦП AD4003 при уровне входного сигнала -115 дБ**

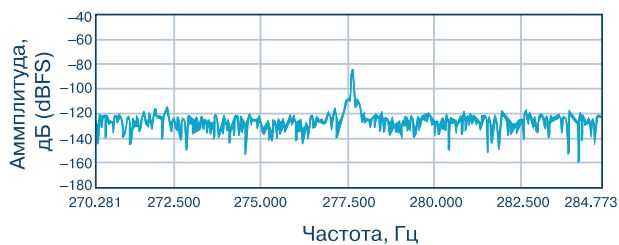
Если же при размыкании цепи “сенсор-АЦП” и при исключении входного сигнала интерфейса (остается напряжение только на неинвертирующем входе буферного каскада – ADA 4807-1) искажения остаются на том же уровне, то это свидетельствует



о том, что источник шума расположен вблизи оценочной платы. Чтобы в этом убедиться, необходимо использовать медный экран, как для оценочной платы, так и для платы контроллера, рис. 3. Если источником шума являются DC/DC источники питания, то при их экранировании, в частности, экранировании индуктивности L5, уровень шума в измерительной цепи АЦП существенно уменьшается, кроме того, помехи в измерительной цепи АЦП (рис. 4) можно уменьшить, снизив напряжение импульсного источника.



**Рис. 3. Пример экранирования узлов на печатной плате, излучающих помехи**



**Рис. 4. Влияние пульсаций источника питания с частотой коммутации 277.5 кГц на спектр сигнала на выходе АЦП AD7616**

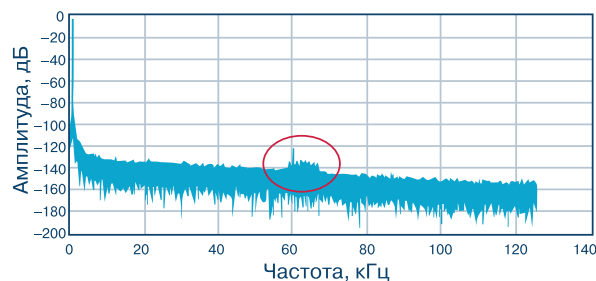
Таким образом, к методам ослабления искажений, вызванных DC/DC источником питания, можно отнести следующие:

- использование ФНЧ между буферным каскадом и входом АЦП
- использование экранирования индуктивности в цепи импульсного источника питания
- использование более низкого уровня напряжения питания, формируемого импульсным источником, например, вместо напряжения 3.3 В использовать напряжение 2.5 В.

**Внешний AC/DC-преобразователь является источником помех в цепях постоянного напряжения.** Покажем это на примере сигма-дельта АЦП

AD7175-2. Тестирование осуществлялось с помощью оценочной платы EVAL-AD7175SDZ.

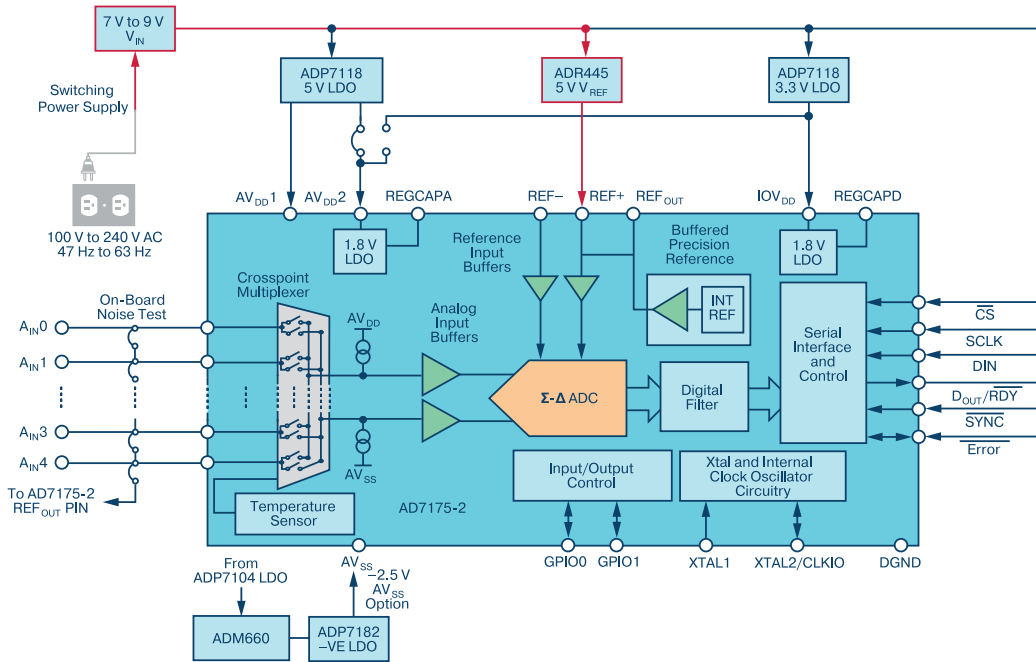
Искажения зафиксированы на частоте 60 кГц, как видно из рис. 5. При проверке входных цепей и цепей питания источники искажений не были обнаружены. Однако при проверке цепей источника опорного напряжения было обнаружено, что именно по этим цепям искажения поступают в измерительные цепи АЦП. Это объясняется тем, что напряжение питания опорного источника напряжением 9 В формируется импульсным преобразователем, который подключен к AC/DC-адаптеру, как видно из рис. 6. Замена данного AC/DC-адаптера более высококачественным аналогом позволяет существенно снизить уровень искажений.



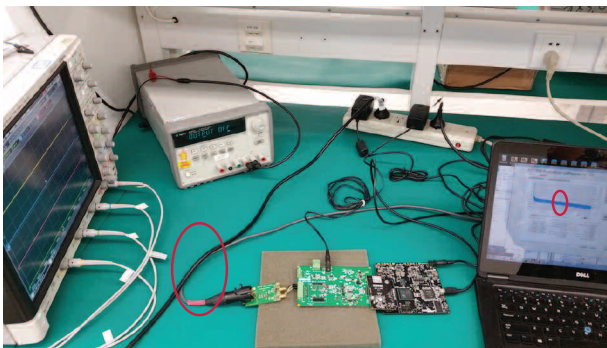
**Рис. 5. Выбросы в спектре сигнала, вызванные AC/DC-преобразователем**

**Искажения, вызванные наводками,** объясняются недостатками конструкции проектируемого изделия, а именно длинными кабелями между сенсором и входом АЦП, некорректным подключением аналоговых и цифровых интерфейсов к АЦП, плохой защитой от наводок цепей опорного источника и т.п. На рис. 7 можно видеть, что силовой кабель цифрового осциллографа находится в непосредственной близости от кабеля входного сигнала АЦП, что является источником искажений в измерительном канале преобразователя. Как только силовые и сигнальные кабели были разнесены в пространстве, оценочная плата не зафиксировала искажений в АЦП.

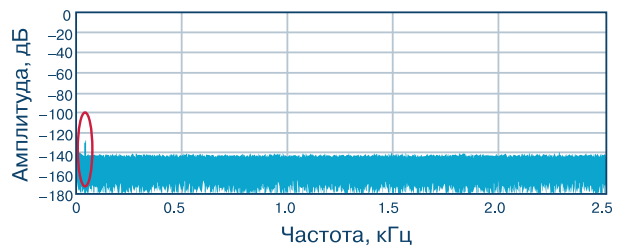
**Искажения, вызванные электромагнитным излучением люминесцентной лампы,** были определены в результате тестирования прецизионного АЦП с помощью оценочной платы EVAL-AD7960FMCZ, как показано на рис. 8. Уровень составляющих в спектре, вызванных им, составляет -130 дБ на частоте 40 кГц, причем, чем ближе оценочная плата с прецизионным АЦП находилась к источнику электромагнитного излучения, тем выше уровень помех (рис. 9). Экспериментально установлено, что



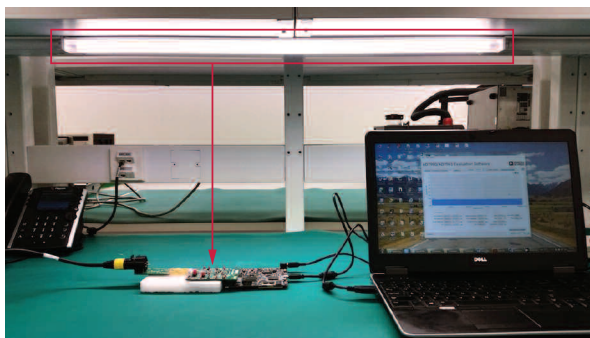
**Рис. 6. Оценочная плата с сигма-дельта АЦП и источником питания на основе AC/DC-преобразователя**



**Рис. 7. Пример некорректного размещения входных цепей АЦП и кабеля питания осциллографа**



**Рис. 9. Выброс помехи в спектр сигнала, возникающей в цепях АЦП в результате воздействия люминисцентного светильника**



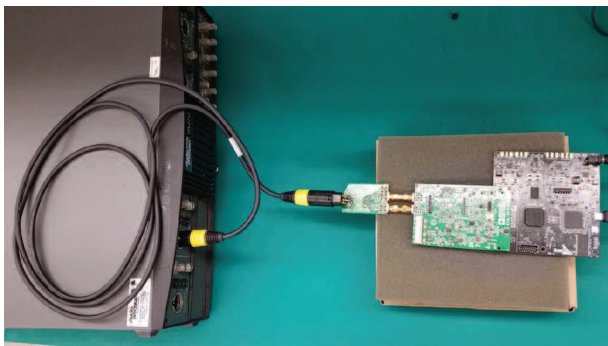
**Рис. 8. Пример оценки влияния люминисцентного излучения на оценочную плату с АЦП AD7960**

мого люминисцентным светильником, на входные цепи прецизионного АЦП. Поэтому, если прецизионные АЦП используются в помещениях с люминисцентным освещением, то для защиты их от помех следует использовать защитный экран.

**Искажения, вызванные использованием кабеля входного сигнала большой длины,** исследовались с помощью оценочной платы EVAL-AD4003FMCZ и генератора сигналов APSY2712. Генератор использовался для формирования и передачи по высококачественному микрофонному кабелю длиной 2 м свободного от шумов синусоидального сигнала (рис. 10). При этом уровень искажений составил около -125 дБ на частоте 700 кГц, как показано на рис. 11. Для уменьшения уровня искажений можно воспользоваться следующими рекомендациями:

- уменьшить длину кабеля и использовать высокочастотные разъемы высокого качества

включение ФНЧ в цепь входного сигнала АЦП снижает уровень помех на 10 дБ, что подтверждает влияние электромагнитного излучения, создаваемое

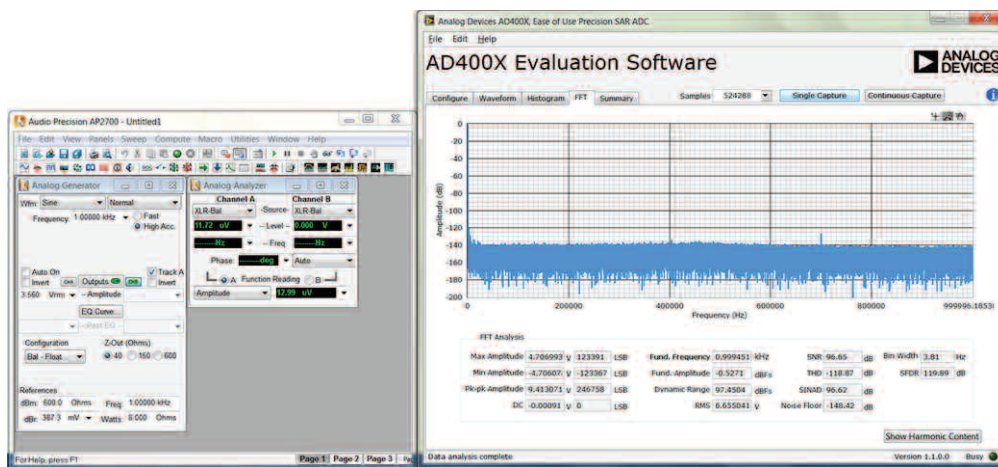


**Рис. 10. Пример анализа искажений в АЦП AD4003, вызванных кабелем большой длины**

- увеличить выходной импеданс источника сигнала (в нашем случае генератора SY2712) с 40 до 600 Ом
- включить ФНЧ на входе АЦП.

## ВЫВОДЫ

1. Для достижения гарантируемых технической документацией параметров прецизионных АЦП следует строго придерживаться схмотехнических и конструктивных решений, направленных на ослабление искажений, генерируемых внутренними и внешними источниками.
2. Источниками искажений могут быть пульсации DC/DC и AC/DC преобразователей, внешние и внутренние интерфейсы, плохо защищенные входные цепи и цепи опорных источников прецизионных АЦП и др.
3. Меры, рассмотренные в настоящей публикации, позволят обеспечить гарантируемые по точности параметры прецизионных АЦП разных типов.



**Рис. 11. Окно с результатами измерения спектра искажений в АЦП AD4003, вызванных наличием входного кабеля большой длины**

### 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

### VD MAIS

Электромеханические компоненты и компоненты систем автоматизации

- Низковольтная коммутационная аппаратура
- Программируемые промышленные контроллеры и компьютеры, ПО
- Шкафы • Крейты • Соединители • Корпуса
- Вентиляторы • Инструмент • Кабельная продукция • СКС • Системы маркировки

Дистрибуция и прямые поставки:  
Acme-Portable, AMP Netconnect, Belden, Bopla, Eaton, EBM-Papst, HARTING, Hoffman, Kroy, Lapp Group, Molex, Phoenix Contact, Rittal, Schroff, Siemens, TE Connectivity, TKD, Wago

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

# ОДНА МИКРОСХЕМА ОБЕСПЕЧИВАЕТ КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ОТ 1/4 ДО 6 \*

SINGLE IC GAIN BLOCK PROVIDES ACCURATE GAINS FROM 1/4 TO 6

В статье рассмотрена интегральная схема усилительного блока со встроенными резисторами.

Abstract - Analog block with integrated amplifiers and internal resistors is considered.

Ч. Тран

Ch. Tran

Во многих случаях проектирования электронных систем возникает необходимость в использовании простых усилительных устройств для ослабления или усиления аналоговых сигналов. Подобные устройства, как правило, строятся на операционных усилителях с внешними дискретными резисторами, которые ограничивают точность проектируемого устройства в целом. Так, например, резисторы с погрешностью 1% и ТКС 100 ppm/°C не позволяют получать коэффициент усиления с погрешностью менее 2%. Замена резисторов низкой точности прецизионными существенно увеличивает стоимость усилителя. Кроме того, точные дискретные резисторы имеют большие габариты, поэтому их использование приводит к увеличению размеров печатной платы. Еще одним недостатком применения дискретных резисторов в схемах усилителя является большой разброс их по ТКС.

На рис. 1, 2 приведены недорогие монолитные блоки усиления AD8273, один из которых (рис. 1) обеспечивает коэффициент усиления 3 или 6, а другой – 1/2 или 1/4. Усилительный блок, представленный на рис. 1, является двухканальным усилителем с четырьмя встроенными резисторами в каждом канале. Комбинируя схемы включения путем коммутации резисторных цепей, можно получить усилитель с коэффициентом усиления 1, 2, 3, 4 и 6 или аттенюатор с коэффициентом передачи 1/2 или 1/4. ИМС AD8273 может работать при однополярном и двухполярном напряжении питания при максимальном токе потребления не более 5 мА.

Отметим, что высокая точность этих усилителей обеспечивается лазерной подгонкой ре-

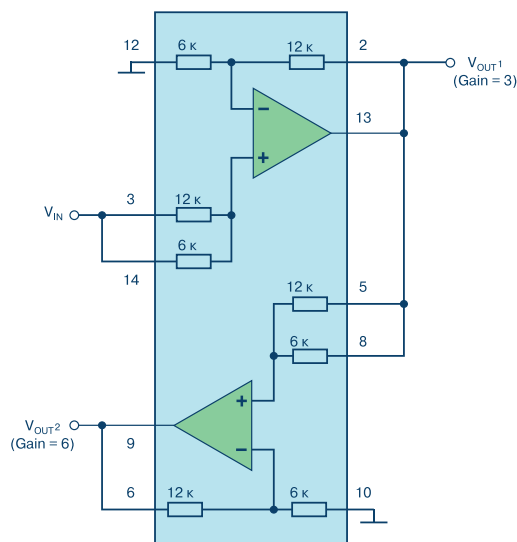


Рис. 1. ИМС усилителя AD8273 с коэффициентом усиления 3 или 6

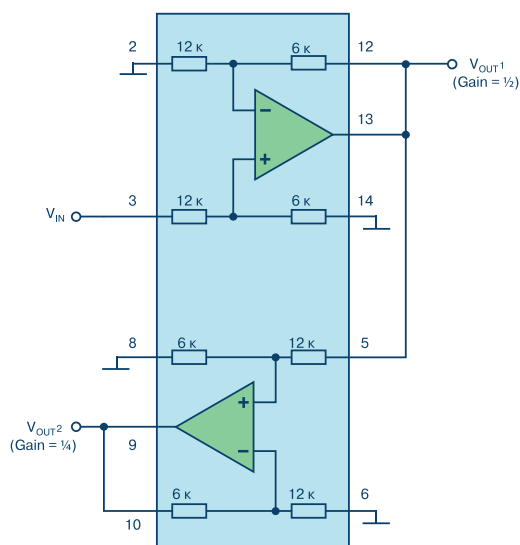


Рис. 2. ИМС аттенюатора AD8273 с коэффициентом передачи 1/2 или 1/4j

\* Tran Ch. Single IC Gain Block Provides Accurate Gains from j to 6. Technical article. www.analog.com. Сокращенный перевод с английского В. Романова.



зисторов. Все они выполнены в едином технологическом цикле, поэтому имеют одинаковые ТКС. За счет малых размеров резисторов и их непосредственной близости к выводам встроенного усилителя величина паразитной емкости в этих усилителях незначительна, что обеспечивает стабильный КОСС в широкой полосе частот. Широкий диапазон питающих напряжений:  $\pm 2.5$ ,  $0 \dots 5$ ,  $\pm 18$ ,  $0 \dots 36$  В, позволяет использовать эту ИМС в промышленном оборудовании широкого профиля. Конфигурация ИМС AD8273, показанная на рис. 2, используется как аттенюатор с коэффициентом передачи сигнала 1/2 или 1/4.

Погрешность коэффициента усиления AD8273 при любой конфигурации не хуже

0.1%, температурный коэффициент усиления не более  $5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ .

## ВЫВОДЫ

1. Твердотельный усилительный блок AD8273 включает кроме собственно усилителя все необходимые резисторы для формирования требуемого коэффициента усиления.

2. Благодаря единому технологическому циклу изготовления резисторов с последующей лазерной подгонкой обеспечивается высокая точность усиления как в широкой полосе частот, так и в большом температурном диапазоне.

## ПОЧЕМУ ЗАМЕНА ЛИНЕЙНОГО СТАБИЛИЗАТОРА БОЛЕЕ ЭКОНОМИЧНЫМ АНАЛОГОМ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ПОТЕРЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВА В ЦЕЛОМ \*

### BURNED BY LOW POWER? WHEN LOWER CURRENT CONSUMPTION CAN GET YOU INTO TROUBLE

В статье даны рекомендации по замене линейных стабилизаторов новыми аналогами.

А. Патил

Abstract - One of the rarely asked questions is considered.

A. Patil



При замене в действующем устройстве линейного стабилизатора с большим током потребления более экономичным аналогом устройство потеряло работоспособность. Почему это произошло? Рассмотрим подробный ответ консультанта компании Analog Devices.

В практике компании Analog Devices был аналогичный случай. Разработчик изолированного прие-

мо-передатчика RS-485 решил заменить вторичный источник питания более экономичным аналогом. Аналог был полностью совместим с используемым источником. Поэтому разработчик заказал большое количество новых линейных стабилизаторов, однако при замене стабилизаторов новые приемопередатчики потеряли работоспособность.

Исследования показали, что новый линейный стабилизатор не обеспечивал (даже путем регулировки) напряжение менее 5 В, как ожидалось, но в нем наблюдался непредусмотренный рост выходного напряжения.

При беглом сравнении параметров (без детального изучения) обоих стабилизаторов оказалось, что дрейф и потребление нового экономичного аналога ниже. Но всегда ли это лучше? Используемый до замены линейный стабилизатор имел типовое потребление 15 мА со стороны шины, а новый

\* Patil A. *Burned by Low Power? When Lower Current Consumption Can Get You Into Trouble*. Analog Dialogue 51-07, July, 2017. [www.analog.com](http://www.analog.com). Сокращенный перевод с английского В. Романова.

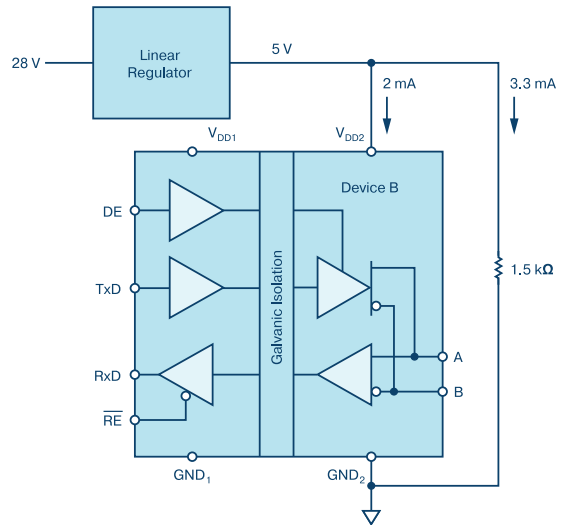
аналог потреблял максимум 2 мА, что, собственно, и толкнуло разработчиков на замену. Несмотря на то, что линейные стабилизаторы относятся к достаточно простым устройствам, следует учитывать, что в этих устройствах необходимо строго обеспечивать ток нагрузки в заданном технической документацией диапазоне. Нарушение этого условия может привести к потере работоспособности. Кроме того, следует строго придерживаться регламентированного уровня максимального входного напряжения линейного стабилизатора.

Разработчики современных стабилизаторов сопровождают свои изделия специальными рекомендациями о том, как исключить некорректные режимы их применения. В ранее выпускаемых стабилизаторах проблема решалась регулировкой величины резистора обратной связи. В новых линейных стабилизаторах, как отмечалось выше, требования к току нагрузки жестко регламентированы, как следует из таблицы.

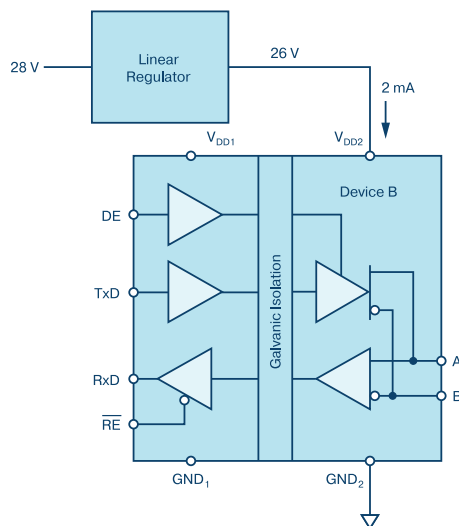
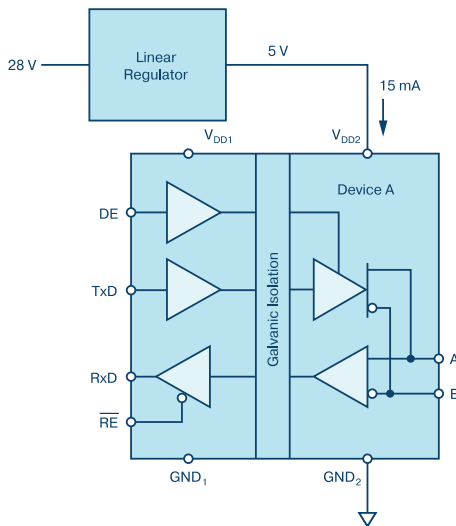
**Требования к току нагрузки линейных стабилизаторов напряжения**

Диапазон тока нагрузки	$10 \text{ mA} \leq I_{out} \leq I_{max}$	$T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	0.1 – 0.3%
		Диапазон рабочих температур	0.3 – 1%
Мин. ток нагрузки	Диапазон температур -40...125 °C	1 мА	

На рис.1 приведены схемы включения старого и нового линейных стабилизаторов, причем в схеме справа не обеспечен минимальный ток нагрузки линейного стабилизатора. Проблема просто решается применением приведенной на рис. 2 схемой включения.



**Рис.2. Схема включения нового линейного стабилизатора, совместимого по параметрам с ранее используемым**



**Рис.1. Слева схема включения и параметры старого линейного стабилизатора, справа схема включения и параметры нового линейного стабилизатора**

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



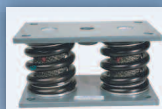
Тросовые амортизаторы



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



# БИОМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИЧНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В УКРАИНЕ

## BIOMETRIC IDENTIFICATION OF PERSONALITY AND PERSPECTIVES OF ITS APPLICATION IN UKRAINE

В статье рассмотрены разработанные в Украине стандарты для биометрической идентификации личности и перспективы их применения.

*В. Романов, И. Галелюка*

**Abstract** – Developed in Ukraine standards of biometric identification of personality and its future application are considered.

*V. Romanov, I. Galelyuka*

Безвизовый режим Украины с Евросоюзом вступил в силу 11 июня 2017 года. С момента вступления в силу безвизового режима граждане Украины могут посещать без визы 30 стран Европы. Основным документом, который необходим для посещения любой страны Евросоюза без визы, является биометрический паспорт.

Биометрический паспорт – это государственный документ, имеющий форму книжки, в обложку которой встроен электронный чип. В чип внесены данные паспорта, оцифрованные изображения лица, оцифрованная подпись и отпечаток указательного пальца.

Украинский биометрический паспорт выполнен в соответствии с серией международных стандартов по биометрической идентификации ISO/IEC 19784, ISO/IEC 19785. Разработка национальных стандартов для такого паспорта выполнена в Институте кибернетики им. В.Глушкова НАН Украины по заданию технического комитета Украины ТК 20 и его подкомитета SC 37 “Биометрия”. Подкомитет по биометрии возглавляет профессор В.А.Романов.

В перечень разработанных и введенных в действие в Украине стандартов вошли следующие документы:

1. Биометрический прикладной профильный интерфейс. Часть 1. Спецификация биометрического прикладного интерфейса. ДСТУ ISO/IEC 19784-1:2012.

2. Биометрический прикладной программный интерфейс. Часть 2. Интерфейс поставщика функций биометрического архива. ДСТУ ISO/IEC 19784-2:2012.

3. Форматы обмена биометрическими документами. Часть 2. Данные изображения отпечатка пальца – контрольные точки. ДСТУ ISO/IEC 19784-2:2012.

4. Общая структура форматов обмена биометрическими данными. Часть 2. Процедуры работы регистрационного органа в сфере биометрии. ДСТУ ISO/IEC 19785-2:2011.

5. Общая структура форматов обмена биометрическими данными. Часть 3. Спецификация формата ведущей организации. ДСТУ ISO/IEC 19785-3:2012.

6. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 4. Данные изображения отпечатка пальца. ДСТУ ISO/IEC 19784-4:2012.

7. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 5. Данные изображения лица. ДСТУ ISO/IEC 19794-5:2012.

Однако за последние несколько лет перечень действующих в Евросоюзе стандартов существенно увеличился и пополнился новыми документами, регламентирующими идентификацию личности по дополнительным признакам. К таким характерным признакам относятся изображение радужной оболочки глаза, динамика подписи, изображение сосудистого русла тыльной стороны ладони, геометрия контура кисти руки, ДНК, изображение складок ладони, голосовые данные. Кроме того, учитывая большой объем идентификационных данных, которые необходимо обрабатывать, передавать и принимать в реальном масштабе времени, Евросоюз разработал стандарты, регламентирующие сжатие данных при обмене и анализе биологических идентификационных признаков.

В связи с этим в ИК НАН Украины разработаны и подготовлены для ввода в действие новые стандарты по биометрической идентификации личности:

1. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 6. Данные изображения радужной оболочки. ДСТУ ISO/IEC 19794-6:201\_.

2. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 7. Временные данные подписи. ДСТУ ISO/IEC 19794-7:201\_.

3. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 9. Данные изображения сосудов. ДСТУ ISO/IEC 19794-9:201\_.

4. Форматы обмена биометрическими данными.



Часть 10. Данные геометрии контура кисти руки. ДСТУ ISO/IEC 19794-10:201\_.

5. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 11. Обработанные динамические данные под-писи. ДСТУ ISO/IEC 19794-11:201\_.

6. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 14. Данные ДНК. ДСТУ ISO/IEC 19794-14:201\_.

Кроме того, в перечень стандартов этой серии включены стандарты, направленные на повышение эффективности идентификации личности по отпечаткам пальцев. К ним относятся следующие стандарты:

1. Формат обмена биометрическими данными. Часть 3. Спектральные данные шаблона отпечатка пальца. ДСТУ ISO/IEC 19794-3:201\_.

2. Формат обмена биометрическими данными. Часть 8. Скелетные данные шаблона отпечатка пальца. ДСТУ ISO/IEC 19794-8:201\_.

Кратко остановимся на идентификационных признаках и методах их анализа, которые регламентируются новыми стандартами.

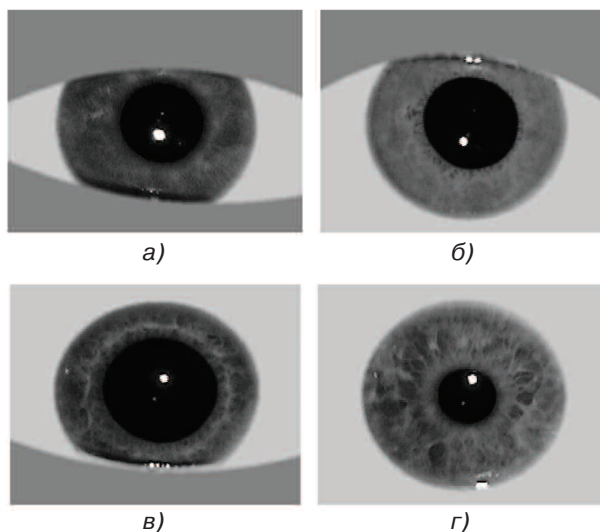
Стандарт, который определяет порядок обмена данными изображений радужной оболочки глаза, регламентирует формат записи данных для хранения и передачи изображения радужной оболочки глаза и критерии соответствия.

Изображение радужной оболочки глаза может быть необрезанным, рис. 1, а и обрезанным, рис. 1, б. Если применяется сжатие изображения радужной оболочки глаза, то оно должно быть выполнено без потери полезной информации. Для сжатия изображения используются форматы JPEG 2000 или PNG.

В стандарте содержатся требования к фиксации изображения радужной оболочки глаза, а именно к особенностям фотографирования и разрешающей способности камеры, контрастности изображения, видимой области радужной оболочки глаза, уровню освещения. Необходимо также исключить искажения, вызванные аберрацией или астигматизмом.

Стандарт, который устанавливает требования к форматам обмена данными динамики подписи в виде временной последовательности с использованием планшета или профессионального пера, содержит описание данных, полученных от устройства фиксации, описание форматов хранения данных, сжатия данных, описание компактного формата для использования в смарт-картах.

Стандарт, который устанавливает формат обмена обработанными данными динамики подписи, ориентирован на работу уже с обработанными дан-



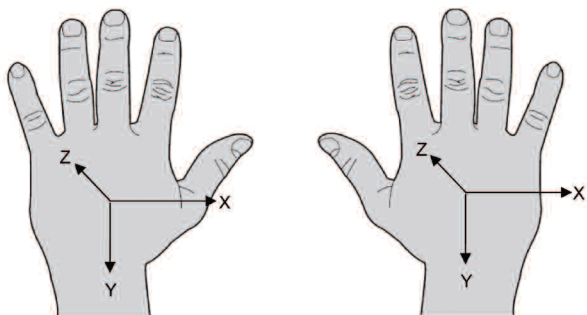
**Рис. 1. Примеры изображений радужной оболочки глаза, а) радужная оболочка перекрыта нижним и верхним веком, б) радужная оболочка перекрыта верхним веком, в) радужная оболочка перекрыта нижним веком, г) радужная оболочка не перекрыта веками**

ными подписи. Он может быть использован для широкого круга прикладных программ, которые работают с рукописными подписями. Стандарт содержит требования к описанию обработанных данных динамики подписи, хранению этих данных, а также содержит рекомендации относительно соответствия динамики подписи задаче идентификации.

Биометрическая идентификация личности по изображению сосудов тыльной стороны ладони применяется достаточно давно. Однако вплоть до настоящего времени применение этой технологии ограничивалось отсутствием серийного оборудования, а имеющиеся образцы, как правило, были плохо совместимы друг с другом.

Целью нового стандарта является установление особенностей обмена биометрической информацией изображения сосудов тыльной стороны ладони. Стандартное положение и система координат тыльной стороны ладони, необходимые для идентификации личности по изображению сосудов, приведены на рис. 2. Настоящий стандарт определяет требования к форматам обмена изображением при идентификации личности по изображению сосудов на тыльной стороне ладони. Информация, упорядоченная согласно этому стандарту, может быть записана на машинном носителе или передана в устройство идентификации личности.

Геометрия кисти руки рассматривается как дополнительный параметр идентификации личности.



**Рис. 2. Стандартное положение и система координат тыльной стороны кисти руки для биометрической идентификации личности по изображению сосудов**

В настоящее время разработано несколько таких систем идентификации, однако каждая система имеет свои шаблоны и алгоритмическое обеспечение. Отсутствие совместимости отдельных систем ограничивает их массовое применение.

Разработанный стандарт содержит требования к форматам обмена данными, что в свою очередь, определяет требования к совместимости данных геометрии кисти руки. Стандартная ориентация кисти руки приведена на рис. 3. Настоящий стандарт не определяет методы фиксации контура и последовательность обработки контура кисти руки. Однако после фиксации и обработки, каждый такой контур должен соответствовать рис. 3.



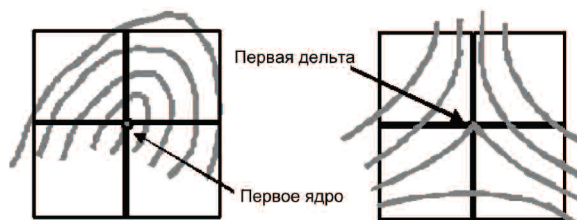
**Рис. 3. Изображения контура кисти руки, как идентификационного признака**

За последние 20 лет судебная молекулярная биология превратилась в серьезное научное направление. Судебная генетика, основанная на анализе ДНК, имеет в настоящее время широкое применение. Это и получение доказательств в совершении преступления, идентификация тел погибших, проверка мигрантов, тестирование на отцовство (материнство) и т.п.

Целью разработанного стандарта является определение требований к обмену данными ДНК

для идентификации личности. Формат данных подготовлен с учетом минимального участия человека в регистрации и сравнении ДНК. Отметим, что стандарт не предназначен для обмена медицинскими данными относительно здоровья человека. В стандарте содержится метод тестирования по данным ДНК.

Новый стандарт “Спектральные данные шаблона отпечатка пальца” устанавливает формат обмена спектральными данными отпечатка пальца, что делает компактным представление передаваемых данных. Представление отпечатков пальца в виде спектра обеспечивает совместимость оборудования при распознавании этих отпечатков при небольшом объеме анализируемых данных. Это позволяет использовать недорогие сенсоры для фиксации отпечатка пальца, отличающиеся ограниченной рабочей поверхностью, небольшим динамическим диапазоном и невысокой разрешающей способностью. Для сохранения данных в спектральном формате могут быть использованы любые портативные устройства, в том числе смарт-карты. На рис. 4 показаны спектральные компоненты ячеек шаблона отпечатка пальца. Пример размещения ядра и дельты в шаблоне отпечатка пальца показан на рис. 5.



**Рис. 4. Пример ячеек с характерными признаками отпечатка пальца**

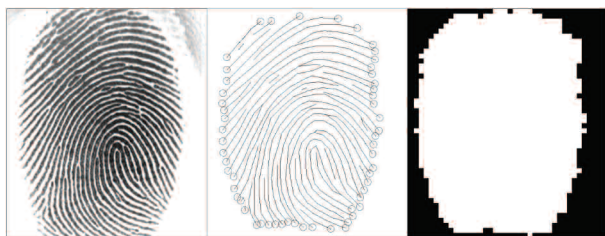


**Рис. 5. Примеры характерных признаков на изображении отпечатка пальца**

Стандарт “Скелетные данные шаблона отпечатка пальца” использует скелетное представление гребней, устанавливает формат обмена данными,

которые описывают все характеристики отпечатка пальца, предназначенные для записи на машинные носитель с ограниченным объемом памяти. Стандарт поддерживает работу со спектральными характеристиками и другими характерными признаками отпечатка пальца. На рис. 6 показан изображение отпечатка пальца (слева), скелетное изображение гребней (в середине) и бинарная карта качества с разрешающей способностью 25 пикселей на сантиметр, которая получена путем восстановления скелетного изображения отпечатка пальца.

Необходимо отметить, что данные для биометрической идентификации личности носят конфиденциальный характер. Поэтому все биометриче-



**Рис. 6. Изображение отпечатка пальца (слева), изображение скелетных данных этого отпечатка (в середине), бинарная карта качества с разрешающей способностью 25 пикселей/см (справа)**

ские системы, которые предназначены для идентификации личности, должны быть проверены на безопасность. Группа соответствующих стандартов разработана в ИК НАН Украины. К ним относятся следующие стандарты:

1. Методы защиты. Оценивание безопасности в биометрии. ДСТУ ISO/IEC 19792:2015
2. Методы защиты. Защита биометрической информации. ДСТУ ISO/IEC 24745:2015
3. Методы защиты. Контекст аутентификации для биометрии. ДСТУ ISO/IEC 24761:2015

Оценивание безопасности биометрической системы идентификации личности включает (согласно ДСТУ ISO/IEC 19792:2015) измерение статистической вероятности ошибок, оценку уязвимости, характерной для систем биометрической идентификации, а также проверку конфиденциальности системы. В связи с тем, что биометрическая информация может включать персональные данные проверяемого, включая изображение лица, отпечатки пальцев и др., данный стандарт предусматривает, что все персональные данные должны быть надежно защищены и не могут быть использованы для других целей, кроме идентификации. Для пред-

отвращения незаконного использования информации конфиденциального характера этим стандартом предусмотрено механизм удаления такой информации из системы биометрической идентификации, включая все данные, полученные в процессе идентификации.

Защита биометрической информации (стандарт ДСТУ ISO/IEC 24745:2015) предусматривает анализ угроз и мероприятия по обеспечению противодействия этим угрозам, обеспечение требований безопасности при обмене данными, использование специальных правил по защите конфиденциальных данных личности при обработке ее биометрических данных.

Стандарт – Контекст аутентификации для биометрии – определяет структуру и элементы данных контекста аутентификации, который используется для проверки достоверности результатов биометрической идентификации личности в удаленном режиме.

## ВЫВОДЫ

1. Таким образом, в Украине имеется полный комплект стандартов для обеспечения биометрической идентификации личности в соответствии с международными требованиями.

2. Включение в перечень идентификационных признаков новой информации, такой как изображение радужной оболочки глаза, сосудистого русла тыльной стороны ладони, динамики подписи, контура кисти рук, ДНК и других, с последующим введением этих признаков Евросоюзом как обязательных при идентификации личности потребует от Украины разработки или приобретения (в большом количестве) нового наукоемкого оборудования.

3. Отметим, что создание отечественных систем биометрической идентификации личности позволит сэкономить средства на приобретение дорогих зарубежных аналогов. В Украине имеются современные контрактные производства электроники, такие как, например, контрактное производство электроники Научно-производственной фирмы VD MAIS, которое ежегодно выпускает несколько миллионов электронных модулей и систем для украинских и иностранных потребителей. Поэтому создание новых систем и устройств биометрической идентификации личности непосредственно в Украине позволит обеспечить как высокий уровень аппаратно-программных средств, так и их высококачественное обслуживание отечественным производителем.



# LEDiL



## ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПАНИИ LEDiL

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

Поддержка  
приложений

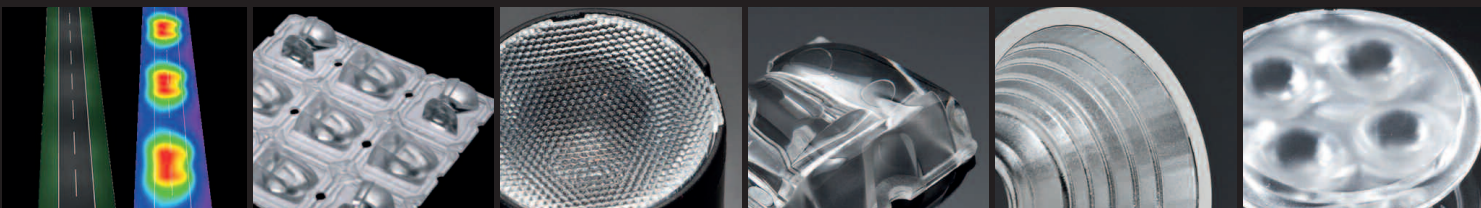
Пользовательские  
решения

Симметричные

Асимметричные

Рефлекторы

Массивы



НПФ VD MAIS – официальный дистрибьютор компании LEDiL в Украине

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



# НОВЫЕ ДРАЙВЕРЫ СВЕТОДИОДОВ КОМПАНИИ MEAN WELL: HLG-480H-C, LDC-35/50/80(DA), FDLC-70/100, IDLC/IDLV/IDPC/IDPV-25, ODLC/ODLV-45/65

## NEW MEAN WELL LED POWER SUPPLY: HLG-480H-C, LDC-35/50/80(DA), FDLC-70/100, IDLC/IDLV/IDPC/IDPV-25, ODLC/ODLV-45/65

В статье приведены основные технические характеристики и возможности новых драйверов светодиодов компании Mean Well.

Abstract – The main characteristics and possibilities of new LED power supplies are considered in the article.

*В. Котигорожко*

*V. Kotigorozko*

Компания Mean Well, производитель разнообразных блоков питания и драйверов светодиодов, предлагает новые серии драйверов:

- HLG-480H-C
- LDC-35/50/80(DA)
- FDLC-70/100
- IDLC/IDLV/IDPC/IDPV-25 и ODLC/ODLV-45/65.

Некоторые из них выпускаются серийно, например, HLG-480H-C выходной мощностью до 480 Вт или FDL-65 (65Вт), некоторые только разрабатываются (FDLC-150), производство других планируется освоить в ближайшее время [1-3].

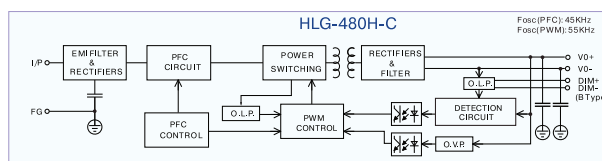
### ДРАЙВЕРЫ HLG-480H-C

Мощные высоконадежные программируемые драйверы светодиодов HLG-480H-C (рис. 1) соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP65 (вариант исполнения А) или IP67 (вариант исполнения В) и ориентированы на применение в системах светодиодного уличного освещения, декоративной архитектурной подсветки супермаркетов, офисов и пр. Конструктивно драйверы выполнены в закрытом металлическом корпусе габаритными размерами 262.0×125.0×43.8 мм. Гарантийный срок семь лет.



**Рис. 1. Драйвер светодиодов HLG-480H-C**

Основные технические характеристики драйверов приведены в табл. 1, структура драйверов HLG-480H-C – на рис. 2. Драйверы обеспечивают максимальный выходной ток до 3.5 А. Драйверы HLG-480H-C содержат встроенный активный корректор коэффициента мощности. При входном напряжении 277 В и нагрузке 100% коэффициент PF 0.95.



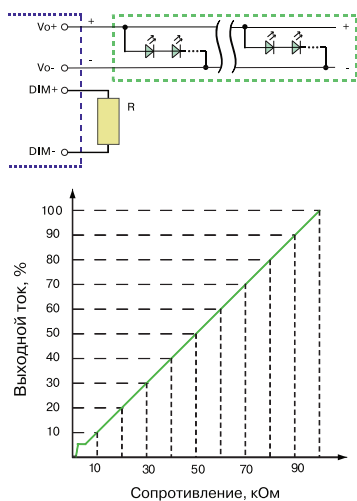
**Рис. 2. Структура драйвера светодиодов HLG-480H-C**

В драйверах HLG-480H-C предусмотрена возможность плавного регулирования выходного тока и, соответственно, уровня освещения с использованием или сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В, или ШИМ-сигнала амплитудой 10 В с регулируемой скважностью. Кроме того, возможна регулировка выходного тока с помощью встроенного или внешнего резистора, соответственно, в модификациях с классом защиты IP65 или IP67. Зависимость выходного тока от сопротивления резистора приведена на рис. 3. Сигналы управления уровнем выходного тока подаются на выводы драйвера "DIM+" и "DIM-".

В некоторых модификациях драйверов HLG-480H-C (варианты исполнения Dxx) предусмотрена возможность регулировки освещенности в автоматическом режиме. Такие драйверы содержат встроенный программируемый таймер, обеспечивающий заданное изменение яркости в процессе работы (т.е. с течением времени) – т.н. режим "Smart timer dimming function". Такой режим может быть востребованным, к примеру, в системах улич-

**Таблица 1. Основные технические характеристики драйверов светодиодов серии HLG-480H-C**

Характеристика	Значение				
<b>Вход</b>					
Диапазон входных напряжений	90...305 В переменного тока (47-63 Гц), 127...431 В постоянного тока				
Входной ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	5 (115), 2.45 (230), 2 (277)				
Коэффициент мощности PF (тип.)	PF 0.98 (115 В), PF 0.97 (230 В), PF 0.95 (277 В) при нагрузке 100%				
Коэффициент гармоник (THD), не более, %	20				
КПД (тип.), %	95				
Ток утечки, не более, мА	0.75 (277 В переменного тока)				
<b>Выход</b>					
Номинальный вых. ток, мА	1400	1750	2100	2800	3500
Диапазон регулировки вых. ток, мА	70...1400	875...1750	1050...2100	1400...2800	1750...3500
Макс. вых. напряжение на х.х., В	420	340	280	210	170
Номинальная вых. мощность, Вт	480	480	481	479	480
Отклонение вых. тока, % $I_{НОМ}$	±5				
Уровень пульсаций вых. тока, % $I_{НОМ}$	±5				
Время старта, мс (вх. напряж. перем. тока, В)	500 (115, 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, ГБИТ17743, ГБИТ17625.1, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61547,UL8750(type"HL"), CSA C22.2 No. 250.13-12; IEC EN61347-1, EN61347-2-13, EN62384, ГБИТ19510.14,ГБИТ19510.1; 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)				
Сопrotивление 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)	421.1				
Диапазон рабочих температур, °С	-40...90				
Относительная влажность воздуха, %	20...95				
Габаритные размеры, мм	252.0×125.0×43.8				
Масса, г	2800				
Гарантия	7 лет				



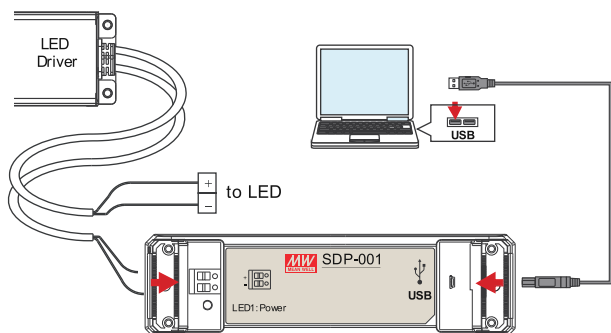
**Рис. 3. График зависимости выходного тока от сопротивления R**

ного освещения. Согласно действующим нормативным документам в ночное время допускается снижение уличного освещения. В зависимости от интенсивности движения допускается уменьшение уровня освещенности до 50%, что позволяет существенно снизить суммарный уровень энергопотребления. Кроме того, наличие таймера в драйвере позволяет исключить провода для дополнительной линии связи с управляющим компьютером и снизить стоимость осветительной системы. Такие драйверы дают возможность запрограммировать величину выходного тока в зависимости от времени, прошедшего от момента включения драйвера.

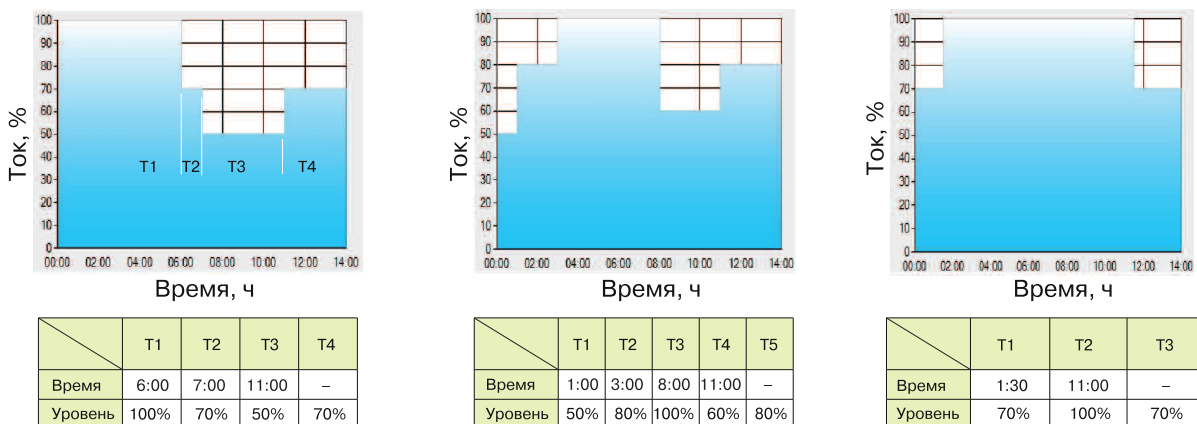
Управление током через светодиоды может осуществляться как в фиксированном, так и в адаптивном режиме. При этом всегда включение и выключение светильника происходит по команде оператора (в ручном режиме) или по сигналу датчика (в автоматическом режиме). Инициализация про-

граммы изменения тока всегда начинается с момента старта при каждом включении светильника. Фиксированный режим подразумевает то, что драйвер всегда работает в соответствии с запрограммированной последовательностью изменения тока через светодиоды. Однако в этом случае не учитываются сезонные изменения освещенности, т.е. в летний и зимний периоды, что практически не позволяет эффективно использовать фиксированный режим в наружном освещении. В таких случаях целесообразно использовать адаптивный режим, в котором алгоритм управления током подстраивается к сезонным изменениям освещенности. Разработаны разные адаптивные алгоритмы, которые улучшают эффективность использования программируемых светильников. На рис. 4 приведены некоторые варианты изменения выходного тока с течением времени.

Для работы с программируемыми драйверами светодиодов компания Mean Well выпускает программатор SDP-001. На рис. 5 приведена структурная схема подключения программатора. Для работы с программируемыми драйверами необходим компьютер.



**Рис. 5. Структурная схема подключения программатора SDP-001**



**Рис. 4. Возможные варианты изменения выходного тока при регулировке освещения**

## ДРАЙВЕРЫ LDC-35/50/80(DA)

Драйверы светодиодов LDC-35/50/80 (DA) изготавливаются в металлическом корпусе, соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP65 и ориентированы на применение в системах освещения и подсветки витрин и прилавков в супермаркетах, офисах, торговых центрах и т.п., в качестве источников питания светотехнических устройств акцентирующего освещения различных зон в торговом помещении, а также объектов или товаров, размещаемых в витрине. Эти драйверы могут использоваться как в системах освещения больших торговых помещений, выставочных залов и офисов, так и для интерьерного освещения жилых помещений.

Конструктивно драйверы выполнены в закрытом металлическом корпусе габаритными размерами 280×30×21/320×30×21/360×30×21 мм. Отличительная особенность этих драйверов – удлиненная форма корпуса с малой площадью поперечного сечения. Драйверы имеют встроенный активный корректор коэффициента мощности.

В драйверах LDC-35/50/80 предусмотрена воз-

можность плавного регулирования выходного тока и, соответственно, яркости подключенных светодиодов с использованием или сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В, или ШИМ-сигнала (амплитудой 10 В) с регулируемой скважностью или внешнего резистора. Кроме того, предусматриваются модификации драйверов (вариант исполнения DA) с интерфейсом DALI (Digital Addressable Lighting Interface), что позволяет изменять освещенность объектов дистанционно.

Потребляемая мощность при отсутствии нагрузки менее 0.5 Вт. Гарантийный срок пять лет. Основные параметры драйверов серии LDC даны в табл. 2.

## ДРАЙВЕРЫ FDLC-70/100

Параметры драйверов FDLC-70/100, изготовление которых планируется освоить в ближайшее время, и уже выпускаемого драйвера FDL-65, приведены в табл. 3. Драйверы соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP65 и содержат встроенный активный корректор коэффициента мощности (PF).

Структура драйвера FDL-65 приведена на рис. 6.

**Таблица 2. Основные параметры драйверов серии LDC**

Наименование параметра	Обозначение		
	LDC-35(DA)	LDC-55(DA)	LDC-80(DA)
Диапазон вх. напряжений, В	180...264 переменного тока, 254...373 постоянного тока		
Коэффициент гармоник (THD), не более, %	10		
КПД, %	90		
Вых. напряжение, В	27...57		
Вых. ток, мА	300...1000	500...1600	700...2100
Время старта, мс (вх. напряж. перем. тока, В)	500 (230)		
Защита от КЗ и перегрева	+		
Стандарты	EN55015, EN61000-3-2 Class C, EN61000-3-3, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61547, ГБИТ17743, ГБИТ17625.1, UL8750, ENEC EN61347-1, EN61347-2-13, EN62384, ГБИТ19510.14, ГБИТ19510.1, IEC62386-101, 102, 207 (DA-Type)		
Прочность изоляции, кВ	3.75 кВ (перем. тока, выв. I/P-O/P), 2 кВ (I/P-FG), 1.5 кВ (O/P-FG)		
Диапазон рабочих температур, °С	-25...90		
Габаритные размеры, мм	280×30×21	320×30×21	360×30×21
Гарантия	5 лет		



Таблица 3. Основные параметры драйверов серии FDLС и FDL

Наименование параметра	Обозначение		
	FDL-65	FDLC-70	FDLC-100
Диапазон вх. напряжений, В	180...295 переменного тока, 254...417 постоянного тока		
КПД (тип.), %	90		
Вых. напряжение, В	25.2...42	30...48	
Вых. ток, мА	770...1550/900...1800	—	
Защита от КЗ и перегрева	+		
Стандарты	EN55015, EN61000-3-2 Class C, EN61000-3-3, EN61547, ГБИТ17743, ГБИТ17625.1, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11), LVD EN61347-1, EN61347-2-13, ГБИТ19510.1, ГБИТ19510.14		
Прочность изоляции, кВ	3.75 кВ (перем. тока, выв. I/P-O/P), 2 кВ (I/P-FG), 1.5 кВ (O/P-FG)		
Диапазон рабочих температур, °С	-40...70	-30...70	
Габаритные размеры, мм	151.0×53.0×31.5	175.0×53.0×31.5	
Гарантия	3 года		

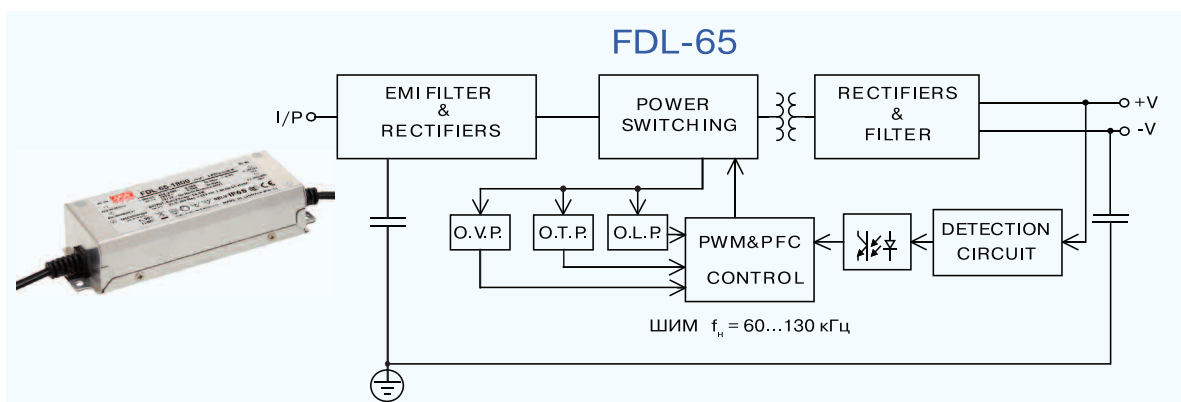


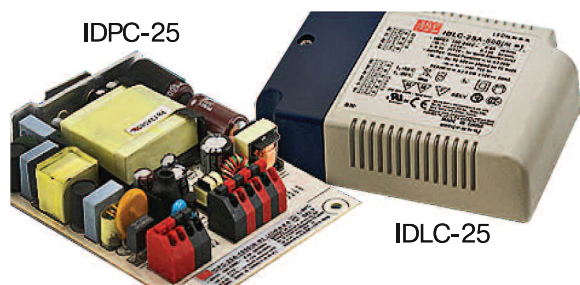
Рис. 6. Структура драйвера FDL-65

Потребляемая мощность при отсутствии нагрузки менее 0.5 Вт. Драйверы изготавливаются в металлическом корпусе. Нароботка до отказа драйвера FDL-65 составляет 594.9 тыс. ч (MIL-HDBK-217F, 25 °С). Типовое значение коэффициента мощности 0.95. В этих драйверах не предусмотрена возможность регулировки яркости светодиодов. Масса 420 г. Гарантийный срок три года.

### ДРАЙВЕРЫ IDLC/IDPC/IDLV/IDPV-25, ODLC/ODLV-45/65

Драйверы светодиодов IDLC-25 в пластмассо-

вом корпусе и IDPC-25 в бескорпусном исполнении мощностью 25 Вт (рис. 7) ориентированы на применение в системах светодиодного освещения помещений, в которых требуются минимальные пульсации светового потока и высокая энергоэффективность. Модификации драйверов выпускаются с номинальным током стабилизации 350/500/700/1050 мА и соответствуют существующим международным стандартам безопасности. В драйверах реализована возможность регулирования выходного тока с использованием или внешнего сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В, или ШИМ-сигнала амплитудой 10 В. Потребляемая мощность при



**Рис. 7. Драйверы светодиодов IDPD-25 и IDLC-25**

отсутствии нагрузки менее 0.5 Вт. Модификации этих драйверов содержат дополнительный встроенный блок питания 12 В/50 мА. Основные параметры драйверов IDLC-25 приведены в табл. 4.

Драйверы светодиодов IDLV-25 и IDPV-25 мощностью 25 Вт, параметры которых во многом аналогичны параметрам драйверов IDLC-25 и IDPC-25, работают, в отличие от них, в режиме стабилизации выходного напряжения (12/24/36/48/60 В). КПД более 90%. Диапазон рабочих температур -20...90 °С. Габаритные размеры 110×75×22 мм. Гарантия три года.

ODLC-45/65 (рис. 8) – драйверы светодиодов мощностью 45 и 65 Вт, ориентированные на применение в светильниках наружного и внутреннего освещения (например, типа "Армстронг"), к которым предъявляются повышенные требования к пульсации светового потока. Драйверы соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP67 и содержат встроенный активный корректор коэффициента мощности (типовое значение PF > 0.95). КПД более 85%. Драйверы работают в режиме стабилизации выходного тока. Выпускаются модификации драйверов с номинальным током 350/500/700/1050/1400/1750 мА. В драйверах реализована возможность регулирования выходного тока с использованием или внешнего сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В, либо ШИМ-сигнала (частотой 300...3000 Гц, амплитудой 10 В) с регулируемой скважностью. Потребляемая мощность при отсутствии нагрузки менее 0.5 Вт. Модификации этих драйверов выпускаются с дополнительным встроенным блоком питания 12 В/50 мА, который можно использовать в качестве источника питания внешних датчиков или контроллеров, размещаемых в корпусе светильников. Диапазон рабочих температур -20...85 °С. Нарботка до отказа – 408.8 тыс. ч (MIL-HDBK-217F, 25). Габаритные размеры ODLC-45/65 соответственно 111×77×28.5 и



**Рис. 8. Драйвер светодиодов ODLC-45**



**Рис. 9. Драйвер светодиодов ODLV-45**

121×77×28.5 мм. Гарантия три года.

ODLV-45/65 (рис. 9) – драйверы светодиодов мощностью 45 и 65 Вт, параметры которых во многом аналогичны параметрам драйверов ODLC-45/65. Драйверы ODLV-45/65 работают в режиме стабилизации выходного напряжения. В драйверах ODLV-45/65 не гарантируется низкий уровень пульсаций светового потока. Одна из предполагаемых областей применения – питание светодиодных лент. Выпускаются модификации драйверов с номинальным напряжением 12/24/36/48/60 В и, соответственно, с максимальным током 3/1.88/1.25/0.94/0.75 А. Диапазон рабочих температур -20...85 °С. Нарботка до отказа – 388.8 тыс. ч (MIL-HDBK-217F, 25). Гарантия три года.

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. 480W constant current mode LED driver HLG-480H-C series ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).
2. Standard LED driver manufacturer. – MeanWell, May 2017 ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).
3. 45W Constant current mode LED driver ODLC-45 series ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).

Таблица 4. Основные параметры драйверов серии IDLC-25

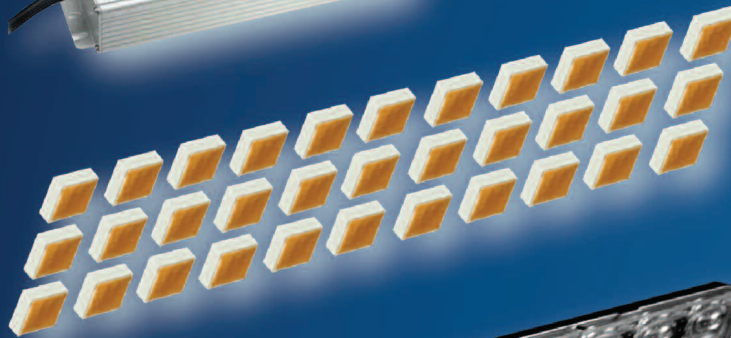
Наименование параметра	Обозначение			
	IDLC-25-350	IDLC-25-500	IDLC-25-700	IDLC-25-1050
<b>Вход</b>				
Диапазон вх. напряжений, В	90...295 переменного тока (47...63 Гц), 127...417 постоянного тока			
Вх. ток, А ( $U_{\text{вх.перем. тока}}$ , В)	0.4 (115), 0.16(230), 0.13(277)			
КПД, типов., %	82	81.5	81.5	80
Коэффициент мощности (PF), типов.	0.95 (115 В), 0.92 (230 В), 0.9 (277 В) при нагрузке 100%			
Коэффициент гармоник (THD), не более, %	20 • при напр. перем. тока 115/230 В и нагрузке 70% • при напр. перем. тока 277 В и нагрузке 75%			
Ток утечки, не более, мА	0.175 (277 В переменного тока)			
Потребляемая мощность при отсутствии нагрузки, не более, Вт	0.5/1.2			
<b>Выход</b>				
Макс. вых. напряжение на х.х., В	100	75	63	36
Номинальный вых. ток, мА	350	500	700	1050
Номинальная вых. мощность, Вт	24.2	25	25.2	25.2
Диапазон вых. напряж., в режиме стабилизации вых. тока, В	47...70	35...50	25.2...36	16.9...24
Отклонение вых. тока, % $I_{\text{НОМ}}$	7			
Уровень пульсаций $I_{\text{ВЫХ}}$ , % $I_{\text{НОМ}}$	5			
Время старта, мс	500 (230 В), 1200 (115 В)			
Защита от КЗ и перегрева	+			
<b>Надежность, безопасность, окружающая среда</b>				
Стандарты	UL8750, CSA C22.2 NO.250.13-12; ENEC EN61347-1 & EN61347-2-13, EN62384, ГБИТ19510.1, ГБИТ19510.14, EN55015, EN61000-3-2 (С), EN61000-3-3, ГБИТ17743, ГБИТ17625.1, EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8, 11; EN61547			
Прочность изоляции, кВ	3.75 кВ (перем. тока, выв. I/P-O/P)			
Сопrotивление изоляции, не менее, МОм	100 (500 В пост. тока, 25 °С, влажность 70%)			
Наработка до отказа, мин., тыс. ч (MIL-HDBK-217F, 25 °С)	418.9			
Диапазон рабочих температур, °С	-20...90			
Относительная влажность воздуха, %	20...90 (без конденсата)			
Габаритные размеры, мм	110×75×22			
Масса, кг	0.196			
Гарантия	3 года.			

# Недорогие светильники для промышленного освещения

на базе светодиодов XLamp MHB-B



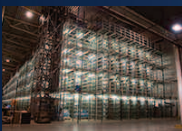
HLG-120H-C500  
HV output



XLamp MHB-B  
33 шт.



FLORENCE-3R



Основные преимущества XLamp® MHB-B:

- самая низкая удельная стоимость на единицу светового потока [лм/\$] из всех светодиодов, выпускаемых компанией Cree
- керамический корпус
- температура кристалла до 105 °C
- время, за которое деградация светового потока составляет 10%, не менее 21 400 часов.

Применение светодиодов серии MHB-B вместо светодиодов средней и малой мощности позволяет уменьшить стоимость светодиодов, несмотря на более высокую стоимость одного экземпляра (при той же интенсивности света потребуется меньшее число светодиодов), уменьшить габариты и массу светильника.



**VD MAIS** – официальный дистрибьютор компаний **MEAN WELL**, **CREE** и **LEDIL** в Украине

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



# СПЕЦИФИКАЦИИ ZHAGA BOOK 13 ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

## SPECIFICATIONS ZHAGA BOOK 13 FOR LED LIGHTING SYSTEMS

В статье дана краткая информация о спецификации для светодиодных систем освещения – Zhaga Book 13.

*В. Котигорожко*

Abstract - The article discusses the features of the Zhaga Book 13.

*V. Kotigorojzko*

# Zhaga

Consortium for the standartization of LED light engines

Стандартизацией светодиодных систем освещения занимается консорциум Zhaga, в который входят ведущие производители осветительных систем и компонентов для светодиодных светильников из Европы, США и Японии. Среди них: CREE, General Electric, LG, Molex, OSRAM ГмбитН, Panasonic, Philips, Toshiba, Samsung, и другие [1, 2].

Созданный в 2010 г. консорциум Zhaga – это, по сути, отраслевой альянс, ориентированный на разработку и продвижение международных стандартов на светодиодные системы освещения и светодиодные подсистемы, включающие LED-модули, микросхемы драйверов светодиодов, линзы и другие конструктивные и оптические компоненты, используемые в светодиодных светильниках.

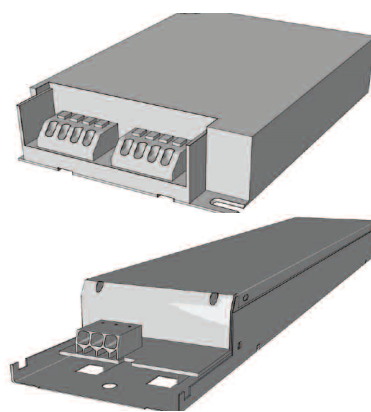
Цель консорциума Zhaga – продвижение разработанных стандартизированных высокоэффективных решений для светодиодного освещения, что будет гарантировать взаимозаменяемость светодиодных светильников и их составляющих (драйверов, радиаторов для отвода тепла, оптических компонентов и пр.), изготовленных разными производителями. Кроме того, это позволит снизить стоимость сервисного обслуживания при эксплуатации и уменьшить бизнес-риски при продвижении новых моделей светильников на рынок.

Участники альянса, в первую очередь, намерены унифицировать геометрические размеры источников света, способы их механического крепления с теплоотводом, требования к световому потоку и пр., что позволит использовать изделия разных производителей в однотипных светильниках, с унифицированными драйверами, теплоотводами, и унифициро-

ванными методами регулировки яркости свечения.

В Zhaga-спецификациях (т. н. Zhaga Books) описаны не только физические размеры заменяемых светодиодных элементов, но также их светотехнические, электрические и тепловые характеристики [1].

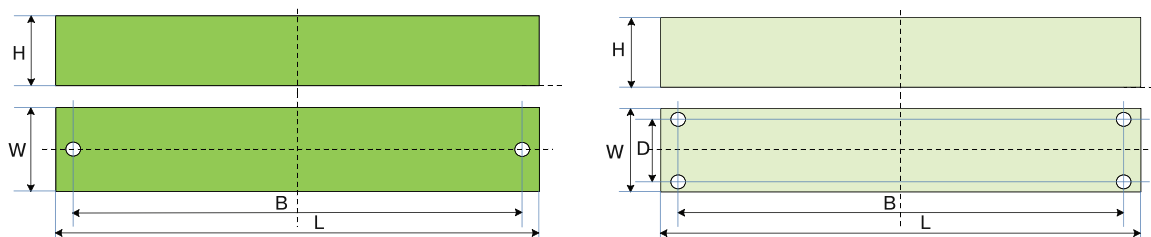
В июне 2017 г. была выпущена новая редакция спецификаций Zhaga Book 13 (Zhaga Interface Specification Book 13. Edition 2.0. June 2017. Electronic control gear for led modules), где приведены рекомендованные стандартизированные типоразмеры LED-драйверов (рис. 1) с двумя и четырьмя монтажными отверстиями (табл. 1, 2, рис. 2) [2].



**Рис. 1. LED-драйвер**

Стандарты на эксплуатационные показатели светильников, например, срок службы и качество освещения, консорциум Zhaga не устанавливает.

В светотехнической индустрии, как правило, ориентируются на стандартные источники освещения. Светодиодные технологии дают массу преимуществ при изготовлении и об-



**Рис. 2. Габаритные размеры LED-драйверов с двумя и четырьмя крепежными отверстиями**

**Таблица 1. Габаритные размеры LED-драйверов с двумя монтажными отверстиями**

Условное обозначение	Размеры, мм			
	L	W	H	B
Z43-3-3a	426	32	27	415
Z36-3-3a	361	31	27	350
Z36-3-2a	361	31	22	350
Z36-3-2b	361	31	17	350
Z36-3-1a	361	31	12	350
Z28-3-2a	281	31	22	270
Z28-3-2b	281	31	17	270
Z28-3-1a	281	31	12	270
Z21-3-2a	211	31	22	200
Z17-5-3a	169	51	33	159
Z13-8-3a	126	80	34	123
Z11-6-3a	109	58	31	100
Z24-6-4a	241	60	38	226
Z24-4-3a	241	44	30	223
Z17-7-4a	169	69	39	156
Z15-9-4a	151	91	41	139
Z13-8-4a	134	78	41	122.5

служивании светодиодных устройств в процессе эксплуатации. Однако отсутствие до недавнего времени соответствующих международных стандартов затрудняло процесс замены неисправных компонентов и систем при сервисном обслуживании светодиодных источников освещения.

Изготовленные в соответствии с рекомендациями Zhaga-спецификаций светодиодные модули и узлы позволяют обеспечить их совместимость по конструктивным, фотометри-

**Таблица 2. Габаритные размеры LED-драйверов с четырьмя монтажными отверстиями**

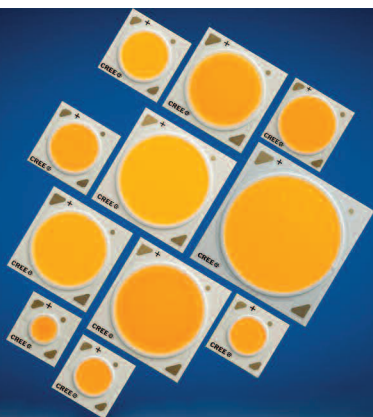
Условное обозначение	Размеры, мм				
	L	W	H	B	D
Z13-8-3b	128	82	34	115	75
Z12-8-3a	116	76	33	100	65
Z11-7-3a	107	68	31	95	59
Z10-4-3a	98	44	31	90	35
Z19-7-4a	188	68	41	173	34
Z17-10-4a	171	101	41	161	90
Z18-5-4a	178	47	38	144.3	27.35
Z13-4-3a	131	44	31	114.5	33
Z15-9-4b	151	91	41	134	70
Z25-7-4a	252	70	41	227	42.9

ческим, тепловым, электрическим и другим характеристикам. Т. е. светодиодные компоненты разных производителей можно будет устанавливать в однотипные светильники без необходимости изменений конструкции, что обеспечит их взаимозаменяемость.

Более полную информацию о других спецификациях, разработанных консорциумом Zhaga, можно найти в [1, 2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Making LED light sources interchangeable ([www.zhagastandard.org/](http://www.zhagastandard.org/)).
2. Zhaga Interface Specification Book 13. Edition 2.0. June 2017. Electronic control gear for led modules ([www.zhagastandard.org/](http://www.zhagastandard.org/)).



# CREE

## Светодиоды Cree Xlamp семейства CXA2

рекордные значения светового потока в своих классах  
 Xlamp CXB1310 — среди светодиодов  
 со светоизлучающей поверхностью диаметром 6 мм,  
 Xlamp CXB1520 — среди светодиодов  
 со светоизлучающей поверхностью диаметром 9 мм.  
 Xlamp CXB1520 — 6000 лм, Xlamp CXB1310 — 3200 лм.

### Матрицы семейства CXA2 (СХВ) это:

- максимальный световой поток 18 000 лм
- максимальная энергоэффективность 200 лм/Вт
- широкий диапазон токов и мощностей
- лучшая управляемость источника света
- широкое применение – от систем промышленного и зонального до уличного и декоративного освещения



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

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

## 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".



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: Вадим Черный

**VD MAIS**  
 The Professional Distributor



## ЧИПСЕТ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА С ПОЛОСОЙ 24 ГГц ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АВТОМОБИЛЬНЫХ РАДАРАХ \*

### HIGH PERFORMANCE INTEGRATED 24 GHZ FMCW RADAR TRANSCIVER CHIPSET FOR AUTO AND INDUSTRIAL SENSOR APPLICATIONS

Особенности чипсета приемопередатчика и микросхем в его составе рассмотрены в настоящей публикации.

Abstract - The features of transceiver chipset and applications are considered.

Дж. Морриссей, П. Уолш

J. Morrissey, P. Walsh

В состав чипсета приемопередатчика входят следующие микросхемы; рис. 1:

- ADF5904 – 4-канальный приемник
- ADF5901 – 2-канальный передатчик
- ADF4159 – генератор с ФАПЧ.

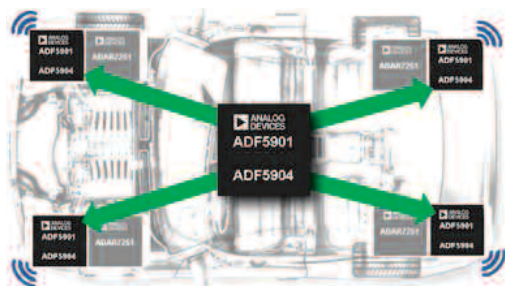


Рис. 1. Структура четырехканального приемника ADF5904 с полосой 24 ГГц

ADF5904 – микросхема высоколинейного многоканального экономичного приемника. Ее основные параметры:

- четыре входных канала с коэффициентом усиления 22 дБ
- уровень шума при коэффициенте усиления 10 дБ составляет -10 дБм
- потребляемая мощность при всех включенных каналах 0.5 мВт
- входной диапазон внутреннего осциллятора от 8 до 5 дБм
- уровень изоляции каналов приемника промежуточной частоты 30 дБ
- диапазон радиочастотного сигнала 250 МГц
- встроенный температурный сенсор с аналоговым выходом.

В составе приемника ADF5904 имеется многоканальный АЦП. Цифровой сигнал на выходе АЦП об-

рабатывается с использованием БПФ и других, характерных для радаров алгоритмов, с целью определения положения, скорости и расстояния до цели. Каждый из четырех каналов приемника имеет малошумящий (LNA) усилитель на входе, малошумящий смеситель и усилитель с дифференциальным выходом. В составе приемника имеется четырехпроводный SPI-интерфейс, который, кроме передачи данных, обеспечивает чтение данных цифровых регистров приемника с целью их коррекции при обнаружении ошибки.

Микросхема ADF5901 – двухканальный передатчик, в составе которого содержится ГУН с диапазоном промежуточной частоты в полосе от 24 ГГц до 24.25 ГГц. При работе совместно с генератором ADF4159 образует радиочастотный канал радара на частоте 24 ГГц. Два передающих канала передатчика ADF5901 управляются независимо друг от друга. Как в приемнике, так и в передатчике имеется встроенный температурный сенсор. Напряжение питания передатчика 3.3 В, максимальное потребление составляет 700 мВт.

Генератор ADF4159, лучшее в своем классе устройство, формирующее сигналы сложной формы (треугольные, пилообразные и др.). Генератор не требует включения внешних пассивных компонентов при работе с передатчиком и приемником ADF5901 и ADF5904 соответственно.

Упрощенная функциональная схема чипсета для построения автомобильного радара приведена на рис. 2. Благодаря высокопроизводительному сигнальному процессору автомобильный радар на основе рассматриваемого чипсета обладает возможностью выбора более опасных для водителя объектов. Например, это может быть маленький ребен-

\* Morrissey J., Walsh P. High Performance Integrated 24 GHz FMCW Radar Transceiver Chipset for Auto and Industrial Sensor Applications. Technical article. [www.analog.com](http://www.analog.com).

Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

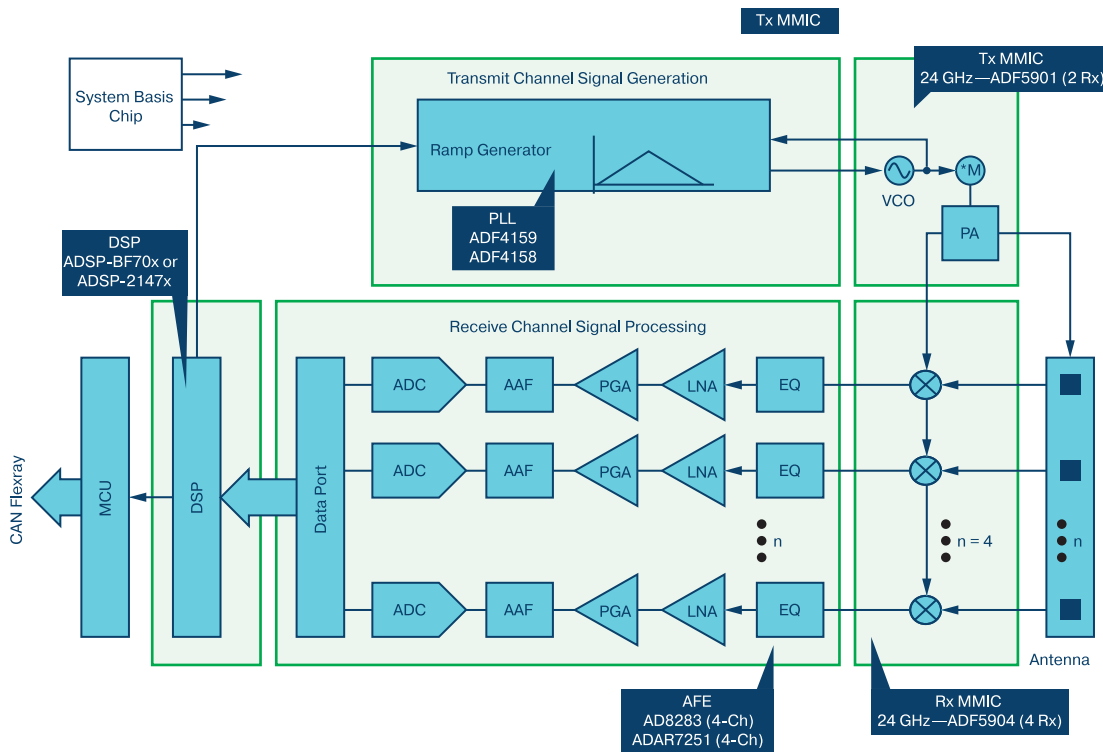


Рис. 2. Функциональная схема чипсета для автомобильного радара

нок или невысокий столбик, по сравнению с которыми объекты типа высокой стены или вышки можно увидеть с достаточно большого расстояния. Преимущества применения нового чипсета в автомобильных радарах показаны на рис. 3. Так, оборудованные новым радаром автомобили благодаря его более широкому частотному диапазону могут обнаруживать большее число представляющих потенциальную опасность автомобилей или других движущихся объектов.

щихся объектов.

### ВЫВОДЫ

Компания Analog Devices разработала новый чипсет для автомобильных радаров, который благодаря использованию микросхем высокопроизводительных приемников и передатчиков обеспечивает лучшие по сравнению с выпускаемыми аналогами параметры автомобильных радаров.

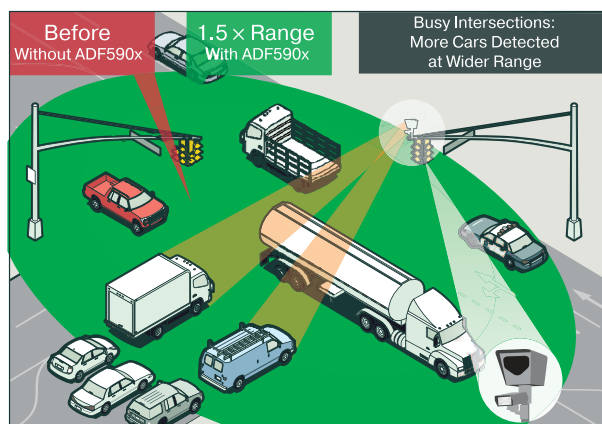


Рис. 3. Пример применения интеллектуального автомобильного радара на основе нового чипсета компании Analog Devices

**VD MAIS**  
Печатные платы

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

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.  
Цены – оптимальные.

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

# МОДУЛИ ПИТАНИЯ RECOM ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

## POWER SUPPLIES RECOM FOR A SMARTER WORLD

В статье приведена краткая информация о DC/DC- и AC/DC-преобразователях компании Recom, предназначенных для "Интернет Вещей".

*В. Макаренко*

Интернет Вещей (Internet of Things или IoT) – это термин, который охватывает несколько связанных понятий: распределенный интеллект, множество связанных датчиков и исполнительных механизмов, децентрализованный контроль.

Ericsson Mobility Report прогнозировал динамичное развитие Интернета Вещей со среднегодовыми темпами роста 23% в период с 2015 по 2021 год. К концу периода ожидается 16 миллиардов IoT-устройств подключенных к сетям по всему миру. При этом уже в 2018 году их количество превысит общее количество мобильных телефонов.

По прогнозам наибольшее распространение Интернет Вещей получит в Азиатско-тихоокеанском регионе и в Западной Европе. К 2021 году число подключенных IoT-устройств вырастет в 4 раза. Основными драйверами для стран Западной Европы станут регулятивные требования, касающиеся развития умных энергосетей, а также параллельное развитие европейской системы экстренных вызовов eCall, которой должны быть оснащены все машины, начиная с 2018 года. Наибольший темп роста прогнозируется среди устройств IoT в сетях сотовой связи (Cellular Internet of Things). Здесь, согласно прогнозу, количество подключенных устройств вырастет до 1.5 млрд к 2021 году.

Новые технологии требуют высокоэффективных источников питания, обеспечивающих низкое потребление в режиме ожидания. Для IoT необходимы малопотребляющие импульсные регуляторы, которые могут накапливать энергию с выхода проводных датчиков, бюджетные изолированные и неизолированные DC/DC-преобразователи для многоканальных систем, повышающие преобразователи с низким входным напряжением, позволяющие получать рабочее напряжение от одной аккумуляторной батареи напряжением 1.5 В, AC/DC-преобразователи малой мощности, имеющие малое энергопотребление в ждущем режиме. Не все модули подходят для применения в IoT. Они должны обладать высоким КПД не только при максимальной, но и при

*Abstract* - The article presents brief information about DC/DC and AC/DC-converters Recom company, designed for "Internet of Things".

*V. Makarenko*

минимальной нагрузке, иметь малые габариты, высокую надежность и низкую стоимость.

Компания Recom выпускает несколько модулей питания, удовлетворяющих всем этим требованиям.

### НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЕРИИ R-78S

Это повышающий преобразователь, предназначенный для работы от одной аккумуляторной батареи. Диапазон входных напряжений от 0.65 до 3.15 В, что позволяет ему работать со щелочными, никель-кадмиевыми, никель-металлогидридными, угольно-цинковыми или литиевыми аккумуляторами. Выходное стабилизированное напряжение 3.3 В обеспечивает питание микропроцессоров, модулей WLAN/Bluetooth и многих других устройств. Высокий КПД и малое потребление в режиме ожидания позволяют значительно увеличить ресурс батареи. Широкий диапазон рабочих температур от -40 до 100 °C, защита от короткого замыкания, соответствие требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС) EN55022, класс А и 3-летняя гарантия свидетельствуют о высоком качестве преобразователей [1].



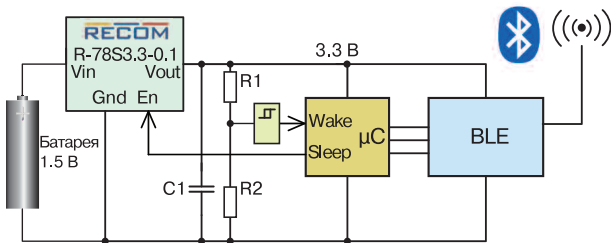
Основные параметры преобразователя:

- диапазон входных напряжений 0.65...3.15 В
- КПД 92% при Uвх.мин., 93% при Uвх.макс. (максимальная нагрузка) и более 80% при нагрузке 10% от максимальной
- выходное напряжение 3.3 В
- максимальный выходной ток 100 мА
- входной ток в режиме ожидания не более 7 мкА
- мощность потребления в активном режиме не более 600 мкВт, в режиме ожидания не более 20 мкВт
- защита от длительного короткого замыкания

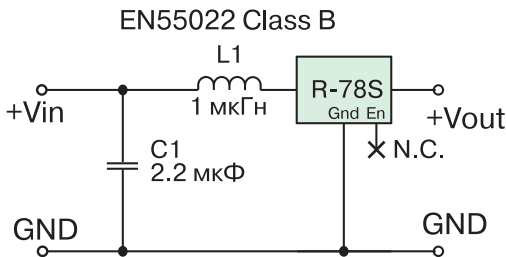


- частота коммутации 1.2 МГц
- соответствие требованиям стандарта IEC/EN62368-1 по безопасности (Audio/video, information and communication technology equipment - Part 1: Safety requirements)
- габаритные размеры 11.6×8.5×10.4 мм
- масса 2 г.

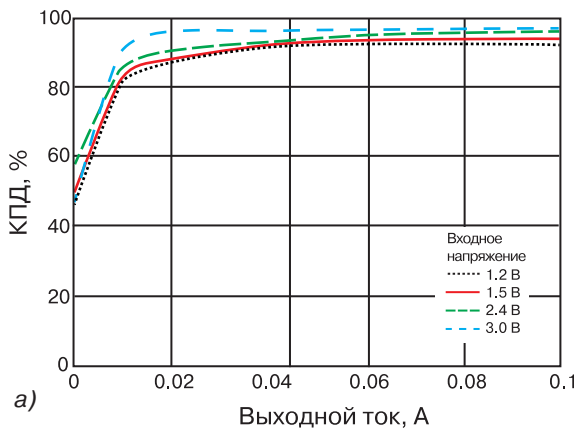
Преобразователь удовлетворяет требованиям по ЭМС EN55022, класс А без подключения дополнительного фильтра помех (рис. 1), и EN55022, класс В – при подключении внешних компонентов (рис. 2). Схема на рис. 2 может использоваться при питании нескольких различных устройств от одного источника энергии.



**Рис. 1. Схема включения R-78S для питания Bluetooth-модуля**

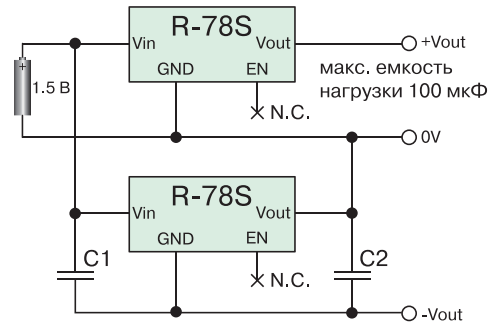


**Рис. 2. Схема включения R-78S с дополнительным фильтром подавления электромагнитных помех**



Зависимость КПД преобразователя от выходного тока приведена на рис. 3,а, а от входного напряжения – на рис. 3,б.

Используя преобразователи R-78S, можно сформировать двухполярное напряжение, как показано на рис. 4.



**Рис. 4. Формирование двухполярного напряжения с помощью преобразователей R-78S**

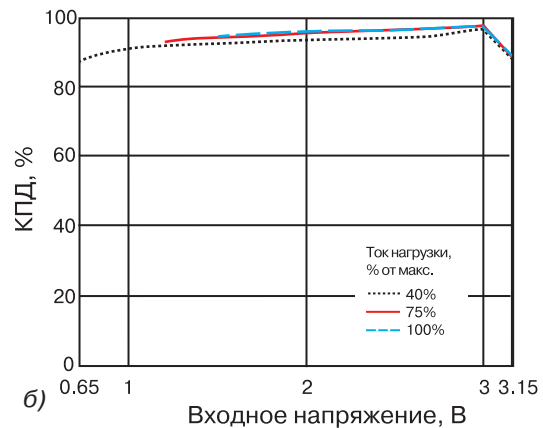
Более детальную информацию о преобразователях R-78S можно найти в [1].

### НИЗКОПРОФИЛЬНЫЕ БЮДЖЕТНЫЕ АС/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (1-2 ВТ)

Низкопрофильные АС/DC-преобразователи мощностью 1 Вт (серия RAC01) и 2 Вт (серия RAC02), основные характеристики которых приведены в табл. 1, предназначены для поверхностного монтажа в компактных устройствах промышленного применения [2,3].



Они имеют универсальный диапазон входного напряжения переменного тока, регулируемое вы-



**Рис. 3. Зависимость КПД преобразователя от выходного тока (а) и от входного напряжения (б)**

**Таблица 1. Основные характеристики низкопрофильных AC/DC-преобразователей малой мощности**

Тип	$P_{\text{Вых.}}$ , Вт	$U_{\text{Вх.}}$ , В (AC)	$U_{\text{Вых.}}$ , В (DC)	$I_{\text{Вых.}}$ , mA	КПД, %	Напряжение изоляции, кВ
RAC01-05SGA	1	85...264	5	200	63	3
RAC01-12SGA	1	85...264	12	83	68	3
RAC01-05СГБИТ	1	85...264	5	200	63	3
RAC01-12СГБИТ	1	85...264	12	83	68	3
RAC02-05SGA	2	85...264	5	400	69	3
RAC02-12SGA	2	85...264	12	167	72	3
RAC02-05СГБИТ	2	85...264	5	400	69	3
RAC02-12СГБИТ	2	85...264	12	167	72	3

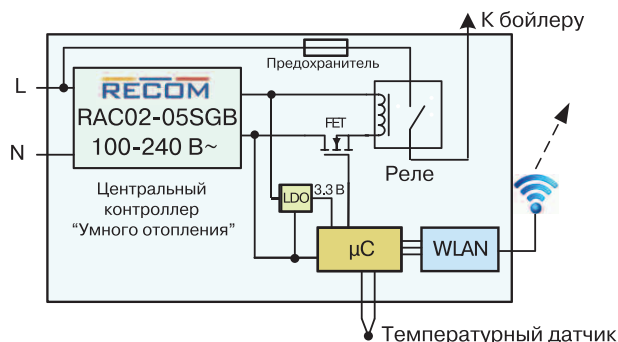
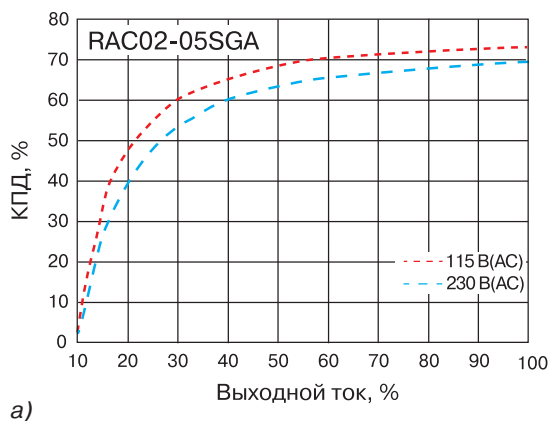
ходное напряжение постоянного тока, защиту от короткого замыкания, малое энергопотребление, широкий диапазон рабочих температур от -25 до 80 °С.

Преобразователи сертифицированы на соответствие требованиям по безопасности стандартов EN60335, EN60950 и EN62368. Гарантия на все типы преобразователей составляет 3 года. Благодаря встроенному фильтру подавления электромагнитных помех (Class A / FCC Part 15) соответствуют требованиям стандарта EN55022, класс А.

Все преобразователи серий RAC01-G и RAC02-G работают при частоте переключения 65 кГц, коэффициент мощности 0.4...0.6. Преобразователи размещены в корпусе 33.7×22.2×9.0 мм, масса 12 г.

На рис. 5 приведен пример использования AC/DC-преобразователя RAC02-05SGA в системе "Умного отопления", а на рис. 6 – зависимости КПД преобразователей с выходным напряжением 5 В (рис. 6,а) и 12 В (рис. 6,б) от тока нагрузки при различных значениях напряжения сети переменного тока.

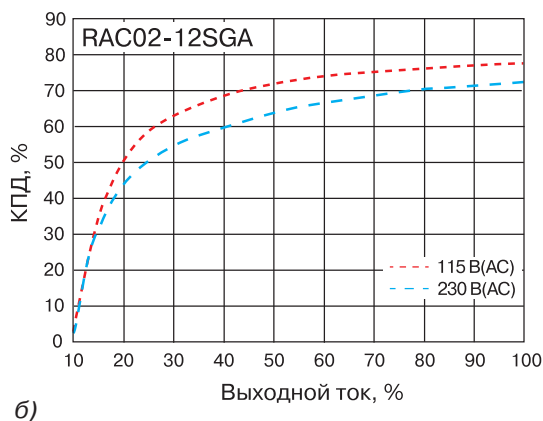
Более подробную информацию о преобразователях RAC01 и RAC02 можно найти в [2,3].



**Рис. 5. пример использования AC/DC-преобразователя RAC02-05SGA в системе "Умного отопления"**

**НИЗКОПРОФИЛЬНЫЕ БЮДЖЕТНЫЕ AC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (2-3 ВТ)**

Основные характеристики AC/DC-преобразователей мощностью 2 Вт (серия RAC02-SE/277) и 3 Вт (серии RAC03-SE/277 и RAC03-SER/277) приведены в табл. 2, Внешний вид преобразователей показан на рис. 7.



**Рис. 6. Зависимости КПД преобразователей RAC02-05SGA (а) и RAC02-12SGA (б) от тока нагрузки при различных значениях напряжения сети переменного тока**

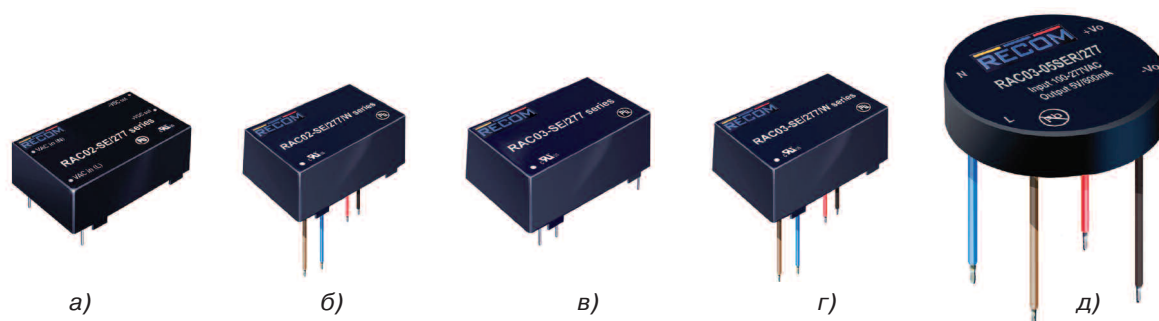


Рис. 7. Внешний вид модулей RAC02-SE (а), RAC03-SE/W (б), RAC03-SE (в), RAC03-SE/W (г) и RAC03-xxSER (д)

Таблица 2. Основные характеристики низкопрофильных AC/DC-преобразователей мощностью 2-3 Вт

Тип	$P_{\text{Вых.}}$ , Вт	$U_{\text{Вх.}}$ , В (AC)	$U_{\text{Вых.}}$ , В (DC)	$I_{\text{Вых.}}$ , мА	КПД, %	Напряжение изоляции, кВ
RAC02-05SE/277	2	80-305	5	400	70	3
RAC02-12SE/277	2	80-305	12	167	73	3
RAC02-24SE/277	2	80-305	24	83	76	3
RAC02-3.3SE/277	2	80-305	3.3	600	67	3
RAC02-05SE/277/W	2	85-305	5	400	70	3
RAC02-12SE/277/W	2	85-305	12	167	73	3
RAC02-24SE/277/W	2	85-305	24	83	76	3
RAC02-3.3SE/277/W	2	85-305	3.3	600	67	3
RAC03-05SE/277	3	80-305	5	600	76	3
RAC03-12SE/277	3	80-305	12	250	78	3
RAC03-24SE/277	3	80-305	24	125	80	3
RAC03-3.3SE/277	3	80-305	3.3	900	71	3
RAC03-05SE/277/W	3	80-305	5	600	76	3
RAC03-12SE/277/W	3	80-305	12	250	78	3
RAC03-24SE/277/W	3	80-305	24	125	80	3
RAC03-3.3SE/277/W	3	80-305	3.3	900	71	3
RAC03-05SER/277	3	85-305	5	600	70	3
RAC03-05SER/277-TRAY	3	85-305	5	600	74	3
RAC03-12SER/277	3	85-305	12	250	76	3
RAC03-12SER/277-TRAY	3	85-305	12	250	68	3
RAC03-24SER/277	3	85-305	24	125	70	3
RAC03-24SER/277-TRAY	3	85-305	24	125	74	3
RAC03-3.3SER/277	3	85-305	3.3	900	76	3
RAC03-3.3SER/277-TRAY	3	85-305	3.3	900	68	3

Модули RAC02-SE/277 выпускаются в ультракомпактном корпусе высотой менее 18 мм (габаритные размеры модуля 33.7×22.2×17.75 мм), масса 24.5 г. В режиме ожидания потребляемая мощность не превышает 35 мВт, что позволяет использовать его в приложениях, в которых большую часть

времени оборудование находится в режиме ожидания.

В модулях интегрирован входной помехоподавляющий фильтр, обеспечивающий соответствие требованиям ЭМС стандарта EN55022, класс В. Система защиты от короткого замыкания автоматиче-

ски восстанавливает работоспособность модуля после устранения замыкания. Как и на все другие модули, на преобразователи RAC02-SE/277 производителем предоставляется трехлетняя гарантия.

Модули RAC02-SE/277/W отличаются только типом корпуса (рис. 7).

Преобразователи RAC03-SE/277 имеют немного большие габаритные размеры 38.25×24.35×17.4 мм и массу 28 г, хотя высота модуля даже меньше чем у RAC02-SE/277.

Преобразователи, приведенные в табл. 2, сертифицированы на соответствие требованиям по безопасности стандартов EN60950 и EN61000 [4...8]. Характеристики модулей по ЭМС и защите от корот-

кого замыкания аналогичны характеристикам преобразователей RAC02-SE/277.

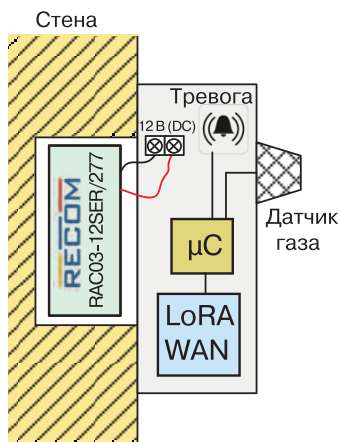
Конструкция корпуса модулей RAC03-xxSER значительно отличается от остальных модулей (рис. 7). Габаритные размеры корпуса 50.3×50.3×11.0 мм. Высота корпуса составляет всего 11 мм, что позволяет устанавливать их в труднодоступных местах или в стенах зданий. На рис. 8 приведен пример размещения датчика газа, питание которого осуществляется от преобразователя RAC03-12SER/277, на стене здания. Модуль питания утоплен в стене и не мешает размещению датчика прямо над ним.

Типовая схема включения маломощного AC/DC-преобразователя приведена на рис. 9.

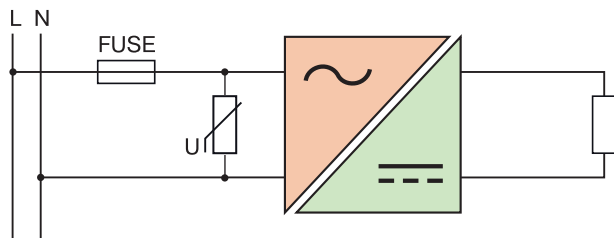
**Таблица 3. Характеристики AC/DC-преобразователей RAC03-SE/277**

Параметр	Условия испытаний	Мин.	Тип.	Макс.
Входное напряжение, В	–	85 (AC)	–	305 (AC)
		120 (DC)	–	430 (DC)
Входной ток, mA	115 В (AC)	–	70	–
	230 В (AC)	–	45	–
Пусковой ток, А (холодный старт при 25 °С)	115 В (AC)	–	15	–
	230 В (AC)	–	30	–
Мощность, потребляемая без нагрузки, мВт	85...305 В (AC), 47...440 Гц	–	–	30
Диапазон частот сети переменного тока, Гц	–	47	–	440
Время включения, мс	115 В (AC)	–	15	–
	230 В (AC)	–	80	–
Частота преобразования, кГц	100% нагрузка, номинальное значение $U_{вх.}$	–	55	–
Минимальное сопротивление нагрузки, %	–	–	2	–
Пульсации и шум выходного напряжения, мВ (п-п)	–	–	200	–
Отклонение $U_{вых.}$ от $U_{ввых.ном}$ , %	–	–	6	–
Диапазон регулировки напряжения $U_{вых.}$ , %	нагрузка 100%	–	±1	±1.5
Изменение $U_{вых.}$ , %	изменение нагрузки 10...100%	–	±6	–
Диапазон рабочих температур, °С	–	-40	–	85
Максимальная температура корпуса, °С	–	–	–	105
Тепловое сопротивление, °С/Вт	–	–	–	10
Влажность, %	–	5	–	95
Вибрации	в соотв. со стандартом	–	MIL-STD-202G	–
Наработка на отказ, тыс. ч.	MIL-HDBK-217F, 115 В (AC), 25 °С MIL-HDBK-217F, 230 В (AC), 25 °С	–	3503 1816	–





**Рис. 8. Пример использования модуля RAC03-12SER/277 в системе контроля концентрации газа в воздухе**



**Рис. 9. Типовая схема включения мало мощного AC/DC-преобразователя**

Все преобразователи Recom имеют высокую надежность, широкий диапазон входных напряжений и рабочих температур, что позволяет использовать их в тяжелых условиях эксплуатации.

В табл. 3 приведены более подробные характе-

ристики AC/DC-преобразователей RAC03-SE/277. Как следует из табл. 3, эти преобразователи по надежности и допустимым вибрациям соответствуют военным стандартам.

Даже краткого обзора параметров преобразователей компании Recom, предназначенных для Интернета Вещей достаточно, чтобы убедиться в том, что они могут использоваться и во многих других приложениях.

Более подробную информацию о продукции Recom можно найти на сайте компании <https://www.recom-power.com/ru/emea/iot.html>.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. <https://www.recom-power.com/pdf/Innoline/R-78Sxx-0.1.pdf>.
2. <https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC01-GA.pdf>.
3. <https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC02-GA.pdf>.
4. [https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC02-SE\\_277.pdf](https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC02-SE_277.pdf).
5. [https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC02-SE\\_277\\_W.pdf](https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC02-SE_277_W.pdf).
6. [https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC03-SE\\_277.pdf](https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC03-SE_277.pdf).
7. [https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC03-SE\\_277\\_W.pdf](https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC03-SE_277_W.pdf).
8. [https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC03-SER\\_277.pdf](https://www.recom-power.com/pdf/Powerline-AC-DC/RAC03-SER_277.pdf).

**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-610H):
  - 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 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.  
 Цены – оптимальные.

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

**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 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.  
 Цены – оптимальные.

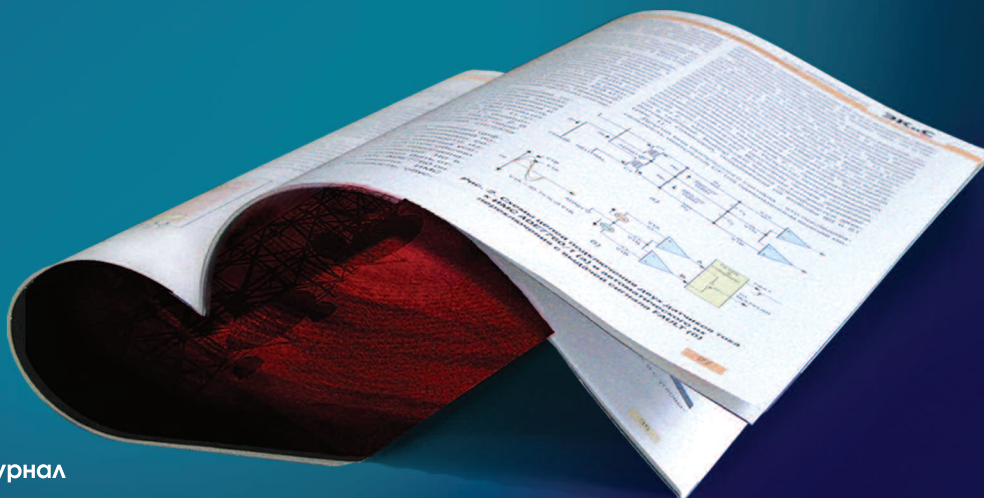
Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
 e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua



# ЭКиС

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

Освещение последних событий в электронике



научно-технический журнал

## ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

Журнал предназначен для разработчиков и производителей электронной и электротехнической аппаратуры, средств телекоммуникаций, компьютерных и управляющих систем, промышленной и транспортной электроники. Издаётся с 1996 года, учредитель и издатель журнала – НПФ VD MAIS.

### Оформление бесплатной подписки

Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!

Для оформления бесплатной подписки **на электронную версию журнала:**

- прислать по электронной почте на адрес [ekis@vdmals.ua](mailto:ekis@vdmals.ua) заявку с указанием:
  - Фамилии Имени Отчества
  - адреса своей 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@vdmals.ua](mailto:ekis@vdmals.ua) с указанием номера журнала и названия статьи.

### В журнале:

АЦП и ЦАП / сенсоры и датчики / микропроцессоры и микроконтроллеры / устройства и системы связи / источники питания / измерительные приборы / системы светодиодного освещения / средства промавтоматики / шкафы и корпуса / технологическое оборудование и материалы / моделирование радиоэлектронных устройств и многое другое.

**ПОДПИСКА  
НЕ ЗАКАНЧИВАЕТСЯ НИКОГДА**

# ГАЗОВЫЕ РАЗРЯДНИКИ КОМПАНИИ LITTELFUSE



## GAS DISCHARGE TUBE

**В** статье рассматриваются характеристики газовых разрядников компании Littelfuse.

**Abstract -** The purpose of this article is to promote a better understanding of gas discharge tube.

В. Котигорожко

V. Kotigorozko

### ВВЕДЕНИЕ

Компания Littelfuse – ведущий мировой производитель компонентов и устройств для защиты электрических и электронных цепей. Компоненты и системы, поставляемые компанией, предназначены для обеспечения безотказной работы разного рода электротехнического оборудования. Это бытовая техника и электроника, автотранспорт, горнодобывающая промышленность, энергетические установки и пр. На рынке электронных компонентов компания предлагает широкий спектр систем защиты электрических цепей [1-3].

Для защиты радиоэлектронных устройств, помимо традиционных плавких и самовосстанавливающихся предохранителей, простейших RC- и LC-фильтров, широко используются другие специализированные приборы для защиты от перенапряжений. Это газонаполненные разрядники (Gas Discharge Tube – GDT), металлооксидные варисторы (Metal-Oxide Varistor – MOV), модификации тиристоров (Silicon Controlled Rectifier – SCR), а также полупроводниковые ограничители напряжения (Transient Voltage Suppression Diode – TVS), некоторые сравнительные характеристики которых приведены на рис. 1 и в табл. 1.

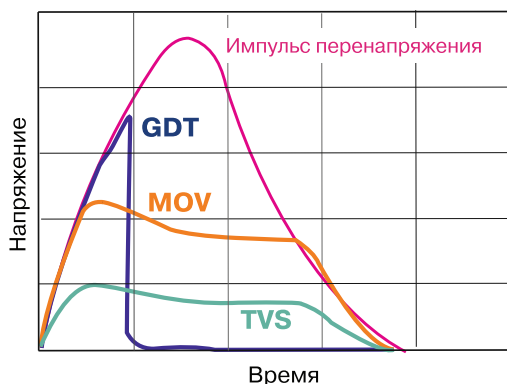
**Таблица 1. Характеристики устройств защиты**

Характеристика	GDT (CG2-230L)	SCR	MOV	TVS
Ток, кА (импульс 8/20 мкс)	20	0.5	0.2	0.05
Напряжение ограничения	Высокое	Среднее	Среднее	Низкое
Время реакции, нс	< 1000	< 100	< 100	< 100
Ток утечки, нА	< 0.001	< 50	< 10000	< 10000
Емкость, пФ	1	50	45	50
Эффект старения	Да	Да	Да	Нет

### ГАЗОВЫЕ РАЗРЯДНИКИ

Для ограничения перенапряжений в электротехническом оборудовании и электрических сетях на протяжении многих лет с успехом применяются разного рода разрядники. В простейшем случае разрядник состоит из двух электродов, разделенных зазором, т.н. искровым промежутком. Разрядники между собой отличаются конструкцией и материалом электродов. Наиболее часто используются газовые разрядники. В этом случае электрический разряд (искра) происходит в закрытом пространстве (керамической трубке), заполненном инертным газом.

В статье рассматриваются параметры и особенности газовых разрядников, выпускаемых компанией Littelfuse (табл. 2, 3). Компания предлагает двух- и трехэлектродные газоразрядники для большого диапазона напряжений, предназначенные как для поверхностного монтажа, так и монтажа в отверстия. Также изготавливаются газоразрядники с тепловой защитой (Failsafe). При перегреве корпуса

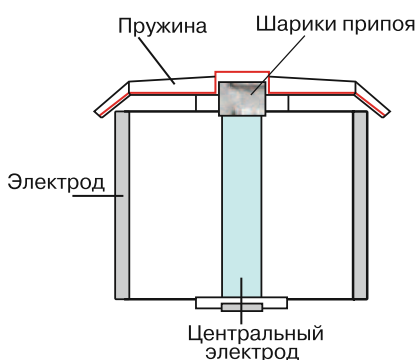


**Рис. 1. Характеристики некоторых устройств защиты**

**Таблица 2. Газоразрядники компании Littelfuse**

Малой и средней мощности	Средней и большой мощности	С повышенным напряжением включения	Повышенной мощности
CG5, CG6, CG7, GTCA25, GTCA26, GTCA28, GTCA35, GTCN35, GTCR25, GTCR36, GTCS23, GTCS25, GTCS26, GTCS35, GTCT35, SL0902A, SL1002A, SL1003A, SL1010A, SL1011A	CG/CG2, CG/CG2-SN, GTCA28, GTCA36, GTCA38, GTCN36, GTCA38, GTCR36, GTCR37, GTCR38, GTCS28, GTCS36, SL1021A, SL1411A	AC, CG3, CG4, GTCA28, GTCN26, GTCN28, GTCR28	SL1021B, SL1026

разрядника устройство тепловой защиты соединяет все электроды с общим проводом (рис. 2), что в результате останавливает процесс горения дуги и позволяет предотвратить проблемы, обусловленные перегревом разрядника.



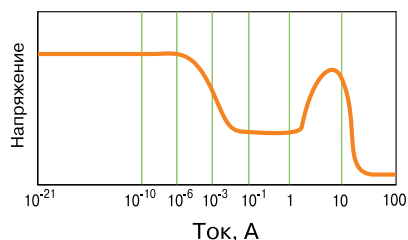
**Рис. 2. Устройство газоразрядника с тепловой защитой**

Сферы применения GDT:

- низкоскоростные интерфейсы (модемы, факсы и пр.), среднескоростные телекоммуникационные интерфейсы (T1/E1/J1/DS1, T3/E3/DS3) и высокоскоростные интерфейсы (USB 2.0/3.0, HDMI, eSATA, DisplayPort, DVI, IEEE 1394)
- линии Ethernet, IP-камеры
- медицинское портативное и стационарное оборудование
- источники питания, входные цепи питания оборудования и пр.

Газоразрядники (GDT) – устройства, предназна-

ченные для ограничения импульсов перенапряжения, возникающих в электрических цепях в результате атмосферных явлений (например, грозových разрядов) или при коммутации мощных электроустановок. Газоразрядник представляет собой герметичную керамическую трубку, заполненную инертным газом с двумя или тремя электродами (рис. 3). В качестве керамики используется оксид алюминия. При напряжении ниже напряжения пробоя сопротивление разрядника более 1 ГОм. При увеличении напряжения выше напряжения пробоя его сопротивление резко уменьшается и газоразрядник переходит в состояние тлеющего разряда (ток примерно 0.5 А, напряжение – 100 В), а впоследствии возникает электрическая дуга (напряжение между электродами примерно 20 В, а протекающий ток может достигать тысячи ампер). Через некоторое время дуга ослабевает, ток уменьшается и разрядник возвращается в нормальное состояние. Типовая вольтамперная характеристика газового разрядника после начальной ионизации приведена на рис. 4.



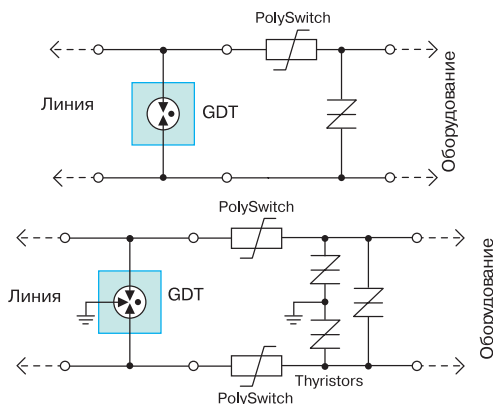
**Рис. 4. Вольтамперная характеристика газоразрядника**



**Рис. 3. Газоразрядники**



В сравнении с другими устройствами защиты от перенапряжений газоразрядники имеют меньшую емкость, способны рассеивать большую мощность и выдерживать токи до десятков килоампер (см. табл. 1). Недостаток газоразрядников – сравнительно большое время срабатывания (единицы микросекунд). Примеры схем подключения приведены на рис. 5.



**Рис. 5. Схемы подключения газоразрядников**

Напряжение пробоя газового разрядника (GDT) определяется размером и конфигурацией зазора между электродами, типом инертного газа (обычно это неон или аргон), давлением газа (обычно ниже

атмосферного) и скоростью нарастания переходного процесса. Газоразрядники классифицируются по напряжению пробоя (включения). Например, напряжение пробоя разрядника типа CG2-230L составляет 230 В ( $\pm 15...20\%$ ) при скорости нарастания напряжения 100 В/с. При скорости 100 В/мкс напряжение пробоя увеличивается до 600 В. Разрядник CG2-230L выдерживает 10 импульсов 8/20 мкс с максимальным током 20 кА или 1000 импульсов 10/1000 мкс с током 500 А.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОРАЗРЯДНИКОВ

В первую очередь, это статическое и динамическое напряжение срабатывания (включения), номинальный и импульсный ток разряда, напряжение в фазе горения электрической дуги (напряжение дуги), сопротивление изоляции, электрическая емкость в состоянии покоя, срок службы (табл. 3). Электрический пробой газоразрядника – многоступенчатый и сравнительно длительный процесс. Для возникновения лавинного пробоя требуется вполне определенное конечное время. Причем, чем выше скорость нарастания напряжения, тем больше напряжение, при котором включается разрядник.

Статическое напряжение срабатывания/включе-

**Таблица 3. Параметры некоторых разрядников компании Littelfuse**

Тип	Напр. вкл., В	Ном. ток, А	Макс. ток (импульс (8/20 мкс), А	Макс. емкость, пФ	Диапазон рабочих температур, °С
Разрядники малой и средней мощности					
CG5	90...600	5	5000	1.5	-40...90
SL0902A					
SL1002A	75...600	10	10000	1.2	
SL1003A	90...500				
SL1010A	90...470	—	5000	1.5	
SL1011A	75...600	5			
Разрядники средней и высокой мощности					
SL1021A	75...600	10	20000	1.5	-40...90
SL1411A			10000		
CG/CG2	75...1000	20	20000		
Повышенной мощности					
SL1021B	75...600	10	20000	1.5	-40...90
SL1026	275...700		40000		
С повышенным напряжением включения					
AC	285...600	—	5000	1.5	-40...90
CG3	1000...7500	—			

ния (DC Breakdown) – напряжение включения при медленной скорости нарастания. Обычно при нормировании характеристик используется скорость нарастания 100 В/с.

Динамическое напряжение срабатывания/включения (Impulse Breakdown) – напряжение включения при высокой скорости нарастания. Обычно при нормировании характеристик используется скорость нарастания 100 и 1000 В/мкс.

Напряжение дуги (Arc Voltage) – напряжение горения дуги. Фактически этот параметр определяет напряжение, до которого ограничивается входная помеха.

Сопrotивление изоляции (Insulation Resistance) определяется током утечки в выключенном состоянии. Значение сопротивления составляет десятки ГОм.

Собственная емкость в состоянии покоя (Capacitance) – емкость разрядника в выключенном состоянии. Емкость GDT составляет единицы пФ, вследствие этого, он практически не влияет на параметры высокоскоростных защищаемых цепей.

Номинальный ток разряда (Nominal Discharge Current Nominal AC Discharge Current) – номинальное значение тока разряда, которое разрядник может выдерживать без разрушения.

Номинальный импульсный ток разряда (Nominal Impulse Discharge Current), как правило, указывает-

ся для конкретных типов импульсов (например, 2/10, 8/20, 10/350 мкс и др.). Чем короче длительность импульса – тем больший ток может выдерживать разрядник. К сожалению, разрядники не являются "вечными" приборами. С течением времени они выходят из строя (разрушаются электроды, ухудшаются параметры инертного газа). Чем мощнее уровень блокируемых ими помех, тем быстрее GDT приходит в негодность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компания Littelfuse выпускает модификации газоразрядников для самых разных приложений. Благодаря их высоким характеристикам они могут применяться в телекоммуникационном, медицинском, военном, коммерческом и другом электронном оборудовании.

Компания Littelfuse предлагает широкую номенклатуру разрядников, что может вызвать некоторые проблемы при выборе оптимальных компонентов. В этом случае можно воспользоваться рекомендациями специалистов компании Littelfuse, некоторые из которых даны в табл. 4 [1, 2]. Параметры разрядников серии SL1411 (рис. 6), SL1002 (см. рис. 3) и разрядников для поверхностного монтажа серии SE (рис. 7) приведены в табл. 5, 6, 7. В табл. 8 даны параметры разрядников типа GTCA.

**Таблица 4. Рекомендуемые сферы применения газоразрядников компании Littelfuse**

Тип	Рекомендуемые сферы применения
CG/CG2, CG5, SL0902A, SL1002A	Высокоскоростные интерфейсы USB 2.0/3.0, HDMI, eSATA, DisplayPort, DVI, IEEE 1394, приемные ВЧ-тракты, Ethernet 10/100/1000BaseT
SL1003A, SL1010A, SL1011A/B, SL1411A	Среднескоростные интерфейсы телекоммуникационного оборудования: ADSL, XDSL, T1/E1/J1/DS1, T3/E3/DS3, Ethernet 10/100/1000BaseT, средства промышленной автоматизации, домашняя электроника
SL1021A/B	Среднескоростные интерфейсы телекоммуникационного оборудования: ADSL, XDSL, системы безопасности, Ethernet 10/100/1000BaseT
SL1026	Телекоммуникационное и промышленное оборудование, базовые сотовые станции
AC	Защита линий электроснабжения переменного тока
CG3	Защита мощных источников питания и входных цепей мощных энергопотребителей

**Таблица. 5. Параметры разрядников серии SL1411**

Тип	Статическое напр. вкл., В. (при скорости нарастания 100 В/с)			Динамическое напряжение вкл., В (при скорости нарастания)		Сопр. изоля- ции, ГОм	Напряже- ние дуги, В	Макс. импульсный ток, кА	
	Мин.	Тип.	Макс.	100 В/мкс	1 кВ/мкс			Тип.	Тип.
SL1411A075	60	75	90	500	700	10	20	12	1
SL1411A090	72	90	108	500	600				
SL1411A150	120	150-	180	500	650				
SL1411A230	184	230	276	550	700				
SL1411A250	200	250	300	600	800				
SL1411A350	280	350	420	800	900				
SL1411A470	376	470	564	1000	1100				
SL1411A600	480	600	720	1200	1400				

**Таблица. 6. Параметры разрядников серии SL1002**

Тип	Статическое напр. вкл., В. (при скорости нарастания 100 В/с)			Динамическое напряжение вкл., В (при скорости нарастания)		Сопр. изоля- ции, ГОм	Напряже- ние дуги, В	Макс. импульсный ток, кА	
	Мин.	Тип.	Макс.	100 В/мкс	1 кВ/мкс			Тип.	Тип.
SL1002A075	60	75	90	400	650	10	15	2	1.5
SL1002A090	72	90	108						
SL1002A230	184	230	276	600	700				
SL1002A250	200	250	300						
SL1002A260	210	260	310	800	900				
SL1002A350	280	350	420	900	1000				
SL1002A470	376	470	564	1100	1200				
SL1002A600	480	600	720	1200	1300				
SL1002A600SP	570	600	780						

**Таблица. 7. Параметры разрядников для поверхностного монтажа серии SE**

Тип	Статическое напр. вкл., В. (при скорости нарастания 100 В/с)			Динамическое напряжение вкл., В (при скорости нарастания)		Сопр. изоля- ции, ГОм	Напряже- ние дуги, В	Макс. импульсный ток, кА	
	Мин.	Тип.	Макс.	100 В/мкс	1 кВ/мкс			Тип.	Тип.
SE140	98	140	182	800	900	1	10	0.5	0.15
SE200	140	200	260	700	1100				
SE230	172	230	276	600	800				
SE350	165	350	495	900	1150				
SE470	329	470	611	1050	1200				
SE500	400	500	600						

**Таблица 8. Параметры разрядников серии GTCA**

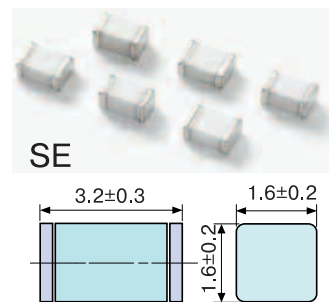
Тип	Статич. напр. вкл., В (при $V_n=100$ В/с)	Динамич. напр. вкл., В (при $V_n=100$ В/мкс)	Допустимое число импульсов 10/1000 мкс (при токе 100 А)	Макс. импульсный ток, кА (8/20 мкс)	
				10 импульсов	1 импульс
GTCA28-801M-R05	800	1400	300	5	—
GTCA28-102M-R03	1000	1700	—	3	10
GTCA28-122M-R03	1200	1900			
GTCA28-212M-R03	2100	2200			
GTCA28-242M-R03	2400	3300			
GTCA28-252M-R03	2500	3500			
GTCA28-262M-R03	3800	4600			
GTCA28-402M-R03	4000	5000			


**Рис. 6. Газоразрядники серии SL1411**

Более полную информацию о газонаполненных разрядниках компании Littelfuse можно найти в [1-3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. GDT. Gas Discharge Tube Products. Product cat-


**Рис. 7. Газоразрядники серии SE**

alog & design guide. – Littelfuse, 2015.

2. Electronics Circuit Protection. Product Selection Guide. – Littelfuse, 2015.

3. Circuit Protection Technology Application Matrix. – Littelfuse, 2013.

### Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!

Для оформления бесплатной подписки достаточно прислать по электронной почте [ekis@vdmals.ua](mailto:ekis@vdmals.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 из любого номера журнала с 2000 по 2014 г. достаточно прислать заявку по адресу [ekis@vdmals.ua](mailto:ekis@vdmals.ua) с указанием номера журнала и названия статьи.

### 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, Bluetech, Cree, DDC, Dynex, Fordata, Foryard, Gaia, Geyer, IXYS, Kendell, Kingbright, Ledil, Littelfuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntan, 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@vdmals.ua, www.vdmals.ua



### VD MAIS

Электро-механические компоненты и системы автоматизации

- Низковольтная коммутационная аппаратура
- Программируемые промышленные контроллеры и компьютеры, ПО
- Шкафы • Крейты • Соединители • Корпуса
- Вентиляторы • Инструмент • Кабельная продукция • СКС • Системы маркировки

Дистрибуция и прямые поставки:

Acme-Portable, AMP Netconnect, Belden, Vopla, Eaton, EBM-Papst, HARTING, Hoffman, Kroy, Lapp Group, Molex, Phoenix Contact, Rittal, Schroff, Siemens, TE Connectivity, TKD, Wago

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





# Датчики и системы для статических и динамических измерений ускорений и вибраций



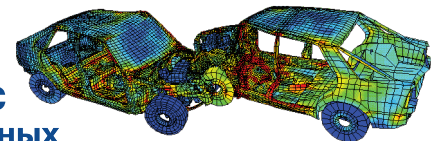
- подушки безопасности
- краш-тесты
- виброиспытания
- авиация и ракетостроение
- автомобильный транспорт
- железнодорожный транспорт
- сейсмический мониторинг
- определение наклонов
- робототехника



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

## Датчики и программное обеспечение DYTRAN

- измерение ускорений до 70 000 g
- чувствительность от 0.05 мВ/г
- частотный диапазон от 0 до 20 000 Гц
- диапазон рабочих температур до 482 °С
- система анализа существенно нелинейных быстропротекающих процессов



### Продукция

- акселерометры
- датчики силы
- ударные молотки
- датчики давления
- специальные датчики
- усилители заряда
- источники питания датчиков
- виброметры
- специальные кабели
- TEDS-адаптеры
- аксессуары
- импедансные головки
- приспособления
- специальное оборудование

### Применение

- для модальных испытаний
- структурное тестирование при летных испытаниях
- испытание двигателей на стендах
- испытание двигателей в реальных условиях
- измерение ударных ускорений
- определение углов наклона по трем координатам
- измерение давления
- краш-тесты

### Система анализа

- столкновение конструкций с их разрушением
- попадание птицы в авиадвигатель
- обрыв лопатки ГТД
- посадка вертолёта/самолёта на воду
- работа подушки безопасности
- взрывы и их воздействие на конструкцию
- штамповка металла и др.

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

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

## НОВЫЕ ДАТЧИКИ DYTRAN ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье приведена краткая информация о параметрах датчиков компании Dytran, предназначенных для проведения испытаний в авиационной, космической и автомобильной промышленности. Даны краткие рекомендации по выбору типов датчиков для различных применений.

*В. Макаренко*

### SENSORS FOR SPACE APPLICATIONS

**A**bstract - The article presents brief information about the sensor parameters of the company Dytran designed for testing in aerospace and automotive industries. The short recommendations on the choice of sensor types for various applications are considered.

*V. Makarenko*

Компания Dytran Instruments (США), основанная в 1980 году, специализируется на разработке и производстве датчиков для виброиспытаний при высоких температурах, трехосных акселерометров общего назначения и для измерения ударных ускорений значительной величины, датчиков давления, датчиков силы, импульсных молотков и кабелей с низким выделением газа (на заказ) [1, 2].

Продукция Dytran находит свое применение при тестировании ударных ускорений, летных испытаниях, испытаниях двигателей и вибраций на стендах, испытаниях на воздействие высокой температуры и др.

Кроме того, они могут найти применение в миниатюрных автономных устройствах навигации (совмещенных с GPS-системами), модулях контроля положения антенных фазированных решеток, системах катапультирования и во многих других приложениях.

Датчики характеризуются динамическим и частотным диапазонами, основной и дополнительными погрешностями, обусловленными действием влияющих факторов, верхней и нижней границей динамического диапазона, собственными шумами.

Следует отметить, что любой датчик или унифицированный ряд датчиков, как правило, создается для решения определенной инженерной задачи и должен обладать набором технических характеристик, соответствующих контролируемому процессу или объекту. И, если хотя бы один из параметров датчика, например, предельная рабочая температура или допустимые уровни вибрации не соответствуют предъявляемым требованиям, то изделие становится непригодным для применения в заданных условиях, какими бы высокими характеристиками оно не обладало.

Пьезоэлектрические акселерометры являются

наилучшим выбором при измерении вибраций в большинстве приложений благодаря широкой частотной характеристике, высокой чувствительности, высокой разрешающей способности и простоте установки. В зависимости от типа выходного сигнала они подразделяются на устройства с зарядовым выходом и акселерометры со встроенным преобразователем сигнала (IEPE – Internal Electronic Piezoelectric) с выходом по напряжению.

В последнее время более широко используются IEPE-акселерометры, поскольку они удобны в применении. Несмотря на разнообразие торговых марок и модификаций, все производители этих устройств придерживаются единого промышленного стандарта, и потому акселерометры взаимозаменяемы. Обычно в состав IEPE-акселерометра входит усилитель заряда, благодаря чему не требуются дополнительные внешние компоненты и используется недорогой кабель. Для питания акселерометра необходим источник постоянного тока. Для измерения вибраций в пределах рабочих температур  $-55...125\text{ }^{\circ}\text{C}$  (до  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  для высокотемпературных моделей) рекомендуется использовать пьезоэлектрические акселерометры IEPE-типа.

Преимущества акселерометров с зарядовым выходом проявляются в возможности работы при высоких температурах и в чрезвычайно широком диапазоне амплитуды выходного сигнала, который по большей мере определяется настройками усилителя заряда (акселерометры IEPE-типа имеют ограниченный фиксированный диапазон выходного сигнала). Типичный рабочий диапазон температур акселерометров с зарядовым выходом составляет  $-55...288\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а специализированные устройства могут работать в более широком диапазоне от  $-69$  до  $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В отличие от IEPE-акселерометров, датчики с за-

рядовым выходом требуют использования специальных малошумящих кабелей, цена которых значительно превышает цену стандартных коаксиальных кабелей. Для подключения датчиков требуются усилители заряда или встроенные линейные преобразователи заряда. Таким образом, емкостные акселерометры предпочтительны для высокотемпературных (выше 175 °С) измерений или в случаях, когда измеряются неизвестные заранее высокие ускорения.

В приложениях, где требуется измерять вибрации очень низкой частоты, также рекомендуется использовать емкостные акселерометры, АЧХ которых линейна в диапазоне от постоянного тока до верхней граничной частоты акселерометра. При проведении измерений НЧ-вибраций емкостные акселерометры обеспечивают чувствительность до 1 В/г. Такие датчики незаменимы в электрогидравлических шейкерах, в автотранспортных приложениях, в тестовых испытаниях машин и конструкций, в системах подвески, железнодорожном транспорте.

При выборе типа акселерометра для измерения ударных ускорений требуется определить значения ожидаемого ударного ускорения в соответствии с табл. 1 [3].

**Таблица 1. Характеристики ударных ускорений**

Характеристика ударного ускорения	Максимальное значение ускорения, г
Низкий уровень	<500
Столкновение	<2000
Дальняя зона	500...1000 (датчик на расстоянии 2 м от точки удара)
Ближняя зона	>5000 (датчик на расстоянии менее 1 м от точки удара)

Для измерения малых ударных ускорений можно использовать акселерометры общего применения. Акселерометр должен иметь линейный диапазон до 500 г и максимально допустимую ударопрочность 500 г. Обычно для этого используются датчики с выходным сигналом по напряжению, т.к. они менее чувствительны к вибрациям кабеля. Для ослабления резонанса рекомендуется использовать усилитель с фильтром нижних частот (это может быть механический фильтр).

Для тестовых испытаний автотранспорта на безопасность для измерения ударов в дальней зоне

применяются специализированные акселерометры со встроенным фильтром и сдвиговой модой. Как правило, к ним относятся IEPЕ-датчики малого веса с паяными соединениями. Фильтр нижних частот предотвращает перегрузку оборудования.

Рабочий диапазон акселерометров для измерения в ближней зоне может достигать или быть больше 20000 г. В этом случае, как правило, применяются IEPЕ-устройства со встроенным механическим фильтром и параметрами, схожими с параметрами акселерометров дальней зоны.

Как и при измерении вибрации, частотная характеристика является важнейшим параметром датчиков ударного ускорения, которые должны работать в широком диапазоне частот (как правило, верхняя рабочая частота лежит в диапазоне 5...20 кГц).

Емкостные акселерометры служат для измерения малых низкочастотных колебаний, формируя достаточно большой выходной сигнал. Эти устройства обеспечивают высокую стабильность в широком диапазоне рабочих температур.

При выборе акселерометра следует учесть параметры окружающей среды, в которых этот датчик будет использоваться: диапазон рабочих температур, максимальные значения ускорения и влажность. В табл. 2 приведены стандартные значения рабочей температуры разных типов акселерометров.

**Таблица 2. Стандартные значения температуры акселерометров**

Тип акселерометра	Диапазон рабочих температур, °С
Пьезоэлектрический общего назначения	-55...260
Пьезоэлектрический высокотемпературный специализированный	-55...650
Пьезоэлектрический низкотемпературный	-184...177
С выходом по напряжению общего назначения	-55...125
С выходом по напряжению высокотемпературный	-55...175

Диапазон измерений акселерометра указывается в спецификации дважды, что может запутать пользователя. Действительный диапазон указывается в динамических характеристиках. Например, IEPЕ-акселерометр может работать в диапазоне до 500 г, но при определенных условиях эксплуатации максимальное ускорение может составлять до 2000 г. Здесь 500 г – максимальный диапазон линейного рабочего режима датчика. Параметры в разделе "Максимальное ударное ускорение" указаны для

максимально допустимой величины удара или ускорения.

Для работы датчиков в условиях влажной среды применяются разные типы корпусов, обеспечивающих герметичность устройств. Если акселерометры используются в космических аппаратах, под водой или подвергаются длительному воздействию избыточно влажной среды, рекомендуется использовать датчики в герметичных корпусах.

Однако непрерывное изменение температурных условий может нарушить эпоксидную изоляцию корпуса датчика.

При контакте акселерометра с объектом измеряемое ускорение изменяется, что вносит дополнительные погрешности в результаты измерений. Для уменьшения погрешности, вносимой собственной массой акселерометра (в соответствии с эмпирическим правилом), следует стремиться к тому, чтобы масса акселерометра не превышала массу объекта испытаний более чем на 10% [3].

Существует ряд методов установки акселерометра на испытываемое устройство. Перечислим некоторые из наиболее распространенных.

Винтовое крепление датчика к поверхности объекта обеспечивает наилучшую возможность передачи данных на высоких частотах, т.к. акселерометр образует единое целое с испытываемым устройством. Характеристику датчика в области высоких частот можно улучшить, капнув немного масла между ним и объектом. При выборе такого метода следует приобретать датчик с возможностью крепления к поверхности.

Монтаж через отверстие обеспечивает характеристик аналогичные винтовому креплению.

Клеевой монтаж датчика часто выполняется на поверхностях с небольшой площадью и на печатных платах. В качестве клея предпочтительно использовать цианакриловый, поскольку его в случае необходимости легко удалить. Многие акселерометры специально предназначены для клеевого монтажа, что указывается в технических данных. Датчик с винтовым креплением также можно установить на поверхность контролируемого объекта с помощью клея, однако не следует допускать попадания клея в резьбовые отверстия.

Вопрос о необходимости заземления корпуса датчика приобретает большое значение в тех случаях, когда поверхность измеряемого объекта является проводящей и имеет нулевой потенциал. Разность в значениях напряжения земли между электронным оборудованием и акселерометром

может привести к образованию заземляющего контура и появлению погрешностей измерения.

Как правило, акселерометры имеют развязку по земляной цепи или заземленный корпус. У акселерометров с земляной развязкой, как правило, имеется изолированное монтажное основание (подложка) и, если это возможно, – изолированный крепежный винт. В некоторых случаях весь корпус акселерометра имеет развязку по земляной цепи, т.е. полностью изолирован.

Для приложений, где требуются акселерометры с широким динамическим диапазоном, такие параметры как разрешающая способность и чувствительность являются определяющими.

Акселерометр преобразует механическую энергию в электрический сигнал, который выражается в единицах мВ/г или в пКл/г (для датчиков с зарядовым выходом). Линейка акселерометров чаще всего представлена несколькими моделями с различной чувствительностью, оптимальное значение которой зависит от уровня измеряемого сигнала. Например, при измерении больших ударных ускорений применяются датчики с низкой чувствительностью. При измерении малых сигналов лучшим решением является использование акселерометра с высокой чувствительностью, выходной сигнал которого значительно выше уровня собственного шума усилителя.

Например, если уровень измеряемых вибраций не превышает величины 0.1 г, а чувствительность датчика составляет 10 мВ/г, то выходное напряжение равно 1 мВ. А при использовании датчика с чувствительностью 1000 мВ/г величина выходного напряжения составит 100 мВ, что более предпочтительно с точки зрения обеспечения максимального динамического диапазона.

Разрешение характеризует минимально различимый сигнал акселерометра. Этот параметр определяется уровнем собственных шумов акселерометра, а в случае IEPЕ-акселерометра – и уровнем собственных шумов встроенного преобразователя сигнала. Измеряется в среднеквадратических значениях  $g_{rms}$ .

Рассмотрим характеристики некоторых изделий компании Dytran, которые находят применение как автомобильной, так и авиационной и космической промышленности [1, 2].

## МИНИАТЮРНЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

Предназначены для измерения и оценки пара-







метров различных конструкций в динамике, включая вибрации, модальный анализ (под модальным анализом понимается задача определения собственных частот и мод собственных колебаний различных конструкций), ударов в больших и малых

авиационных и космических конструкциях, для применения в системах предупреждения об экстренных торможениях (ESS – Emergency Stop Signal system).

Основные параметры миниатюрных акселерометров приведены в табл. 3.

**Таблица 3. Основные параметры миниатюрных акселерометров компании Dytran**

Тип	3274A1	3145A	3220E	3224A1
Внешний вид				
Масса, г	2.0	2.3	2.7	0.2
Габаритные размеры, дюйм	0.35×0.31×0.24	0.24×0.49 (Д×В)	0.67×0.41×0.25	0.20×0.14×0.12
Тип соединителя	3-метровый встроенный кабель, разъем 10-32	5-44 аксиальный	5-44 радиальный	3-метровый встроенный кабель, разъем 10-32
Способ монтажа	приклеивание	на шпильку	через отверстие	приклеивание
Чувствительность, мВ/г	5	100	10	9...14
Полный диапазон измерений, г	1000	50	500	500
Частотный диапазон (±5%), Гц	1.1...10000 (±10%)	0.8...10000 (±10%)	1...5000	0.3...20000 (±10%)
Максимальное ударное ускорение, г	5000	3000	2000	3000
Диапазон рабочих температур, °С	-51...121	-51...85	-51...125	-51...149
Исполнение	герметичное	герметичное	герметичное	заливка эпоксидной смолой
Электрическая изоляция	корпус	отсутствует	подложки	отсутствует
Тип кабеля для подключения	6869A	6014A, 6029A, 6040A	6014A, 6029A, 6040A	6010A, 6011A
Основные отличия	ультра-миниатюрный, TEDS *	миниатюрная конструкция	ориентация кабеля 360°	ультра-миниатюрный дизайн, каплевидная форма
Другие датчики серии	3274A2: 10 мВ/г, диапазон 500 г; 3274A3: 25 мВ/г, диапазон 200 г	3145A1: 10 мВ/г, диапазон 500 г; 3145A2: 5 мВ/г, диапазон 1000 г	3220M27: 1 мВ/г, диапазон 5000г	3224A2: 2 мВ/г, диапазон 2500 г 3224A3: 5 мВ/г, диапазон 1000 г 3224A4: 1 мВ/г, диапазон 5000 г
Серии подобных акселерометров	–	3145AG: приклеивание, чувствительность 5...100 мВ/г	3220C: режим заряда, чувствительность 1.5 и 10 пКл/г	3224B: изолированный корпус, 10 мВ/г, диапазон 500г; 3224C: режим заряда, 0.6 пКл/г

### ТРЕХОСНЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

В этой категории продукции следует отметить изделия серии 3133D1. Это самые маленькие в мире герметичные трехосные акселерометры

(табл. 4). Они предназначены для приложений, требующих низкого выхода газа, таких как космическое пространство или вакуумные камеры для тестирования тонких материалов.

Кроме датчиков, приведенных в табл. 4, компа-

**Таблица 4. Основные параметры трехосных акселерометров Dytran**

Тип	3133D1	3143D	3233A	3263A1
Внешний вид				
Масса, г	0.8	14	30	5.6
Габаритные размеры, дюйм	0.24×0.24×0.24	0.82×0.82×0.34	1.00×1.00×0.52	0.48×0.48×0.44
Тип соединителя	3-метровый встроенный кабель, разъем 1/4-28, 4 контакта	радиальный, 1/4-28, 4 вывода	радиальный, 1/4-28, 4 вывода	радиальный, 1/4-28, 4 вывода
Способ монтажа	приклеивание	через 6-32 отверстие	через 8-32 отверстие	резьбовое отверстие 4-40
Чувствительность, мВ/г	10	10	1000	10
Полный диапазон измерений, g	500	500	5	500
Частотный диапазон (±5%), Гц	Оси 1 и 2: 0.3...6000 Ось 3: 0.25...10000 (±10%)	0.5...3000	Оси 1 и 2: 0.3...3000 Ось 3: 0.3...6000 (±10%)	0.3...10000 (+15/-10%)
Максимальное ударное ускорение, g	3000	1500	5000	
Диапазон рабочих температур, °C	-55...160	-51...85	-51...+93	-51...121
Исполнение	заливка эпоксидной смолой	герметичный		
Электрическая изоляция	нет	корпуса	подложки	нет
Тип кабеля для подключения	6811A	6811A, 6824A		
Основные отличия	ультра миниатюрный	ориентация кабеля 360°	ориентация кабеля 360°, ультравысокая чувствительность	малая масса, низкий уровень шума
Другие датчики серии	3133D2/D3/D4/D5 5, 2, 0.7, 0.25 мВ/г, диапазоны 500/1000/2500/5000, 25000 g	3143D1: 100 мВ/г, диапазон 50г; 3143D2: 50 мВ/г, диапазон 100г	-	3263A2: 100 мВ/г, диапазон 50г; 3263A3: 50 мВ/г, диапазон 100г
Серии подобных акселерометров	3133B: изолированный корпус, 2...10 мВ/г	3143DT: TEDS * 3143M16: 10 мВ/г, диапазон 500 g	3233AT: TEDS *	3263AT: TEDS * 3263A7T/A8T: резьбовое отверстие M3, 10 и 100 мВ/г, TEDS

ния Dutran выпускает акселерометр 3133DXT с электронной спецификацией данных (TEDS). Информацию о других трехосных акселерометрах можно найти в [1, 2].

## АКСЕЛЕРОМЕТРЫ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Параметры высокотемпературных IEPЕ-акселерометров приведены в табл. 5. В [1, 2] приведены акселерометры с рабочим диапазоном температур до 482 °С.

**Таблица 5. Основные параметры высокотемпературных акселерометров**

Тип	3220C	3224C	3225E	3225M40
Внешний вид				
Масса, г	4	0.2	0.6	0.6
Габаритные размеры, дюйм	0.67×0.41×0.25	0.27×0.14×0.12	0.36×0.25×0.15	0.36×0.25×0.15
Тип соединителя	радиальный, 5-44	3-метровый встроенный кабель, разъем 10-32		
Метод монтажа	через отверстие	приклеивание	приклеивание	приклеивание
Чувствительность, пКл/г	1.5	0.25	1.8	1.8
Частотный диапазон (±5%), Гц	0...5000	0...10000	0...10000 (±10%)	0...1000
Максимальное ударное ускорение, g	2000	1000	5000	5000
Диапазон рабочих температур, °С	-51...260	-51...177	-51...177	-51...177
Исполнение	герметичный	приклеивание		
Электрическая изоляция	подложки	нет		
Тип кабеля для подключения	6025A, 6056A	6013A, 6019A	6013A, 6019A	6013A, 6019A
Основные отличия	ориентация кабеля 360°, низкий профиль	ультраминиатюрный	ультраминиатюрный	ультраминиатюрный, низкое газовыделение
Другие датчики серии	3220C1, 10 пКл/г	–	3225E1: отрицательная полярность; 3225E2: отрицательная полярность, электрическая изоляция подложки; 3225E3: положительная полярность	3225E
Серии подобных акселерометров	3220E/M27, 1...10 мВ/г	3234A, 1...10 мВ/г	3225F, 1...500 мВ/г, TEDS, встроенный и съемный варианты кабеля	–

\* *Transducer Electronic Data Sheet* (электронная спецификация данных преобразователя). В таких устройствах в электронном виде хранится информация о характеристиках и параметрах датчика, таких как: тип устройства, производитель, номер модели, серийный номер, дата калибровки, чувствительность, опорная частота и другие данные. В TEDS также хранятся калибровочные коэффициенты и частотный диапазон преобразователя.

## БОРТОВЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

Космические системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли являются одними из самых востребованных научных разработок как для военных, так и для гражданских целей.

При растущих требованиях к спутниковым системам наблюдения становится необходимо усовершенствование космических аппаратов (КА) и различных бортовых систем. Это в первую очередь затрагивает высокоточные измерительные системы орбитального и углового движения. Для управления КА часть информации поступает из наземных комплексов управления. Но обеспечивающие системы (навигации, ориентации, стабилизации) для функционирования целевой аппаратуры проводят расчеты на борту КА. При этом повышается уровень автономности и интеллектуализации работы бортовой

системы управления КА. Одной из ключевых задач является определение параметров и характера движения центра масс на борту КА. Но для этого на борту КА необходима система для определения параметров движения, адекватных реальным возмущениям. Именно для этих целей и используются бортовые акселерометры. Такая информация доступна через системы навигации GPS и ГЛОНАСС только частично.





Параметры бортовых акселерометров Dytran приведены в табл. 6.

## ИМПУЛЬСНЫЕ МОЛОТКИ

Характеристики импульсных молотков компании Dytran приведены в табл. 7, а сменных головок в табл. 8.

Основой одного особого класса эксперимен-

**Таблица 6. Основные параметры бортовых акселерометров Dytran**

Тип	3091A	3168F	3232A1	3236A
Внешний вид				
Масса, г	30	23	45	28.1
Габаритные размеры, дюйм	1.21×1.05×0.41	0.80×0.50 (Д×В)	1.0×1.1×0.51	0.80×0.52 (Д×В)
Тип соединителя	радиальный, 3 вывода "Mighty Mouse®"	встроенный кабель 1.2 метра	радиальный, 3 вывода "Mighty Mouse®"	радиальный, 3 вывода "Mighty Mouse®"
Метод монтажа	через отверстие	через отверстие	через отверстие	через отверстие
Чувствительность, мВ/г	10	10	10	10
Полный диапазон измерений, г	500	500	500	500
Частотный диапазон (±5%), Гц	10...1000	1...20000	3.3...2500 (±10%)	1.2...10000
Максимальное ударное ускорение, g	3000	3000	5000	10000
Диапазон рабочих температур, °С	-51...121	-51...121	-51...121	-51...149
Исполнение	герметичное	герметичное	герметичное	герметичное
Электрическая изоляция корпуса	корпуса	корпуса	корпуса	корпуса
Тип кабеля для подключения	–	–	6891A	–
Основные отличия	встроенный монтажный кронштейн	широкая полоса частот, ориентация кабеля 360°	двухосевой, встроенный монтажный кронштейн	ориентация кабеля 360°



тального модального анализа являются измерения набора частотных характеристик. Движение может быть описано в терминах перемещения, скорости и ускорения. Соответствующие частотные характеристики можно назвать характеристиками "податливости", "подвижности" и "ускоряемости". В общем случае термин "измерение подвижности" используется для обозначения механической частотной характеристики любого вида. При измерениях обычно определяются частотные характеристики ускоряемости, так как наиболее удобным датчиком для измерения движения является акселерометр.

В идеальном случае определение частотной характеристики подвижности включает в себя возбуждение конструкции с помощью измеряемой силы, измерение реакции с последующим расчетом отношения спектров действующей силы и реакции.

Возбуждающая сила может быть создана с по-

мощью устройств различного типа. Для проведения широкополосного возбуждения используется два класса устройств – прикрепляемые и не прикрепляемые вибровозбудители.

Примеры прикрепляемых вибровозбудителей:





- электромагнитные вибростенды
- электрогидравлические вибростенды
- вибраторы с эксцентрическими вращающимися массами
- специальные устройства (ракеты и др.).

Примеры не прикрепляемых вибровозбудителей:

- импульсные молотки
- большие маятниковые ударные молоты
- подвесные кабели для создания сотрясений и др.

Продолжительность удара, а, следовательно, и форма спектра при ударном возбуждении, опреде-

**Таблица 7. Основные параметры импульсных молотков Dytran**

Тип	5805A	5850B	5800B2	5800SL
Внешний вид				
Масса, г	454	150	100	2
Тип соединителя	BNC	BNC	BNC	10-32
Чувствительность, мВ/Н	0.22	23, 2 и 0.22 (выбирается пользователем)	23	23
Полный диапазон измерений, кН	22.24	0.22, 2 и 22.24	0.22	0.22
Максимальная сила, кН	44.48	4.45, 26.69 и 35.59	4.45	0.33
Тип кабеля для подключения	6020A	6055A, 6089A	6055A, 6089A	6011A
Основные отличия	–	3-позиционный переключатель позволяет пользователю выбрать один из 3-х вариантов чувствительности для использования с тест-объектами различной величины	стандартный размер	ультраминиатюрный

**Таблица 8. Основные параметры сменных головок для импульсных молотков Dytran**

Тип	Назначение	Внешний вид
6270S1	для использования с моделью 5850B, нержавеющая сталь, длина 1 дюйм	
6270S2	для использования с моделью 5850B, нержавеющая сталь, длина 2 дюйма	
6271	для использования с моделью 5850B, нержавеющая сталь, длина 1 дюйм	
6278	для использования с моделью 5800SL, латунь, длина 0.167 дюйма	

ляется массой и жесткостью как ударного (импульсного) молотка, так и конструкции. При применении относительно небольшого молотка на твердой конструкции жесткость головки молотка определяет ширину спектра генерируемого возбуждения.

Ударные молотки могут иметь массу от нескольких грамм до нескольких тонн с частотным диапазоном от 0 до 5000 Гц у самого легкого и от 0 до 10 Гц у самого тяжелого молотка.

Преимущества применения ударных молотков:

- высокая скорость измерений – необходимо проводить только несколько усреднений
- крепежные приспособления не нужны
- компактность и удобство проведения испытаний на месте эксплуатации
- относительная дешевизна аппаратуры
- отсутствие влияния на конструкцию переменной нагрузки, обусловливаемой массой.

Отсутствие влияния на конструкцию является особым преимуществом при испытаниях легких конструкций, так как изменение нагрузки от точки к точке может вызвать сдвиг модальных частот при различных измерениях.

Ударные молотки обычно имеют встроенный датчик силы и сменные головки, предусмотренные для управления жесткостью.

Кроме приведенных в статье датчиков компания Dytran выпускает еще много различных видов датчиков (МЭМС и пьезоэлектрических), кабелей, усилителей заряда, источников питания, виброметров, TEDS-адаптеров и многое другое. Подробнее с номенклатурой изделий компании можно ознакомиться в [1, 2, 4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sensor Selection Guide / <http://pdf.dirxion.com/tmp/out1148500.pdf>.
2. Dytran Piezoelectric and DC MEMS Sensors for Measurement and Monitoring / <http://pdf.dirxion.com/tmp/out1148503.pdf>.
3. Брюс Лент. Рекомендации по выбору акселерометра / Электронные компоненты №12, 2009. – с. 48-50.
4. <http://www.dytran.com/assets/PDF/DCResponseMEMSAccelerometers.pdf>.

**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
- гарантии качества

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.  
 Цены – оптимальные.

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

**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@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

## РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ МИКРОСХЕМЫ

### RADIATION TOLERANT SOLUTIONS

**Р**адиационная стойкость – одна из важнейших характеристик качества электронных компонентов, ориентированных на применение в ракетно-космических приложениях. В статье рассматриваются радиационно-стойкие микросхемы ведущих производителей.

*В. Котигорожко, В. Раздобудько*

**Abstract** – The article discusses the features of the radiation tolerant electronic components of leading manufacturers.

*V. Kotigorozko, V. Razdobudko*



Работоспособность и отказоустойчивость электронных устройств в условиях влияния полей ионизирующих излучений космического пространства определяется их чувствительностью к воздействию протонов, ионов, электронов естественных радиационных поясов Земли, а также солнечных и галактических космических лучей. Превышение порога чувствительности, приводит к возникновению различных т. н. радиационных дефектов. Защита космического оборудования от воздействия радиоактивного излучения – сложная проблема, требующая комплексного подхода. В статье рассматриваются характеристики интегральных микросхем ведущих производителей, ориентированных на применение в космическом оборудовании [1-6].

### ВВЕДЕНИЕ

Источники радиационного воздействия на космическую аппаратуру – потоки заряженных частиц (электронов, высокоэнергетических протонов и ионов различных элементов, т. н. тяжелых заряженных частиц), которые разделяются по своему происхождению. Это или частицы естественных радиационных полей Земли, или т. н. солнечные и галактические космические лучи.

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

Как правило, радиационная стойкость компонентов, ориентированных на применение в космическом оборудовании, контролируется по результа-

там их испытаний с использованием источников радиационных воздействий – специального моделирующего и имитирующего оборудования. Виды испытаний и методика их проведения регламентируются разными стандартами, среди которых и MIL-STD-883.

Радиационные эффекты в микроэлектронике можно условно разделить на случайные одиночные эффекты, вызванные воздействием отдельных ионизирующих частиц, и эффекты, обусловленные суммарной накопленной (поглощенной) дозой радиации.

Эффекты, вызванные поглощенной дозой радиации TID (Total Ionizing Dose), проявляются в результате суммирования энергии, которую частицы передают чувствительному объему вещества. Для космической аппаратуры в соответствии с классификацией уровней гарантированной радиационной стойкости (Radiation Hardness Assurance – RHA), рекомендованной соответствующими нормативными документами Министерства обороны США, и в зависимости от ее назначения (коммерческие или военные спутники, пилотируемые орбитальные станции или др.) предлагается использовать несколько градаций поглощенной дозы радиации. В табл. 1

**Таблица 1. Рекомендации стандарта MIL-PRF-38535K**

Обозначение дозы (RHA)	Поглощенная доза (TID), крад (Si)
—	нет
M	3
D	10
P	30
L	50
R	100
F	300
G	500
H	1000

приведены рекомендованные в стандарте MIL-PRF-38535K значения радиационной стойкости (RHA) и их обозначение. Единица измерения поглощенной дозы – рад (RAD – Radiation Absorbed Doze).

Поглощенная доза радиации, в первую очередь, зависит от высоты орбиты. Кроме того, скорость нарастания поглощенной дозы, по сути, мощность излучения, – также немаловажный параметр.

Космические системы крайне чувствительны к воздействию тяжелых ионов и протонов. Для околоземных орбитальных спутников накопленная доза радиации, определяющая уровень гарантированной радиационной стойкости (RHA), зависит от высоты и наклона орбиты, а также срока службы спутника, по сути, времени его эксплуатации.

Накопленная доза радиации в спутниковых системах, находящихся на низкой околоземной орбите, например, в системе глобальной сотовой связи Iridium, может составлять всего 30 крад (Si) за 10 лет. В тоже время, в спутниках системы Globalstar, орбита которых всего на 600 км выше, накопленная доза радиации может оказаться в 10 раз больше (рис. 1). На низкой и средней околоземной орбите облучение космических аппаратов происходит за счет протонов и электронов, тогда как, высокоорбитальные системы (в том числе и геостационарные) в основном подвергаются воздействию электронов.



**Рис. 1. Ориентировочное распределение накопленной дозы радиации в зависимости от высоты орбиты и типа спутников**

Типичная мощность облучения на орбитах пилотируемых полетов составляет примерно 10...100 рад/год. По мере увеличения накопленной дозы происходит постепенное изменение параметров микросхем за пределы допустимых значений. Это медленный процесс, что обуславливает его предсказуемость в процессе эксплуатации микросхем. Вместе с тем, наблюдается слабая корреляция скорости изменения параметров микросхем от характера излучения, т. е. его энергетического спектра и типа частиц. Изменения, обусловленные ростом накопленной дозы, носят характер постепенного старения (они почти незаметны в начале или при малых сроках эксплуатации оборудования в космосе). Эффекты от воздействия накопленной дозы, проявляются в том, что проходящие сквозь микросхемы заряженные частицы вызывают ионизацию, приводящую к постепенному ухудшению параметров микросхем (росту тока утечки, изменению уровней входных сигналов и напряжения порогов переключения логических элементов и пр.).

В стандарте MIL-STD-883 рекомендуются тестовые методы (Test Method – TM) проведения испытаний для определения уровня гарантированной радиационной стойкости. Это метод TM1019 (условие A или D). В первом случае мощность дозы облучения должна быть в диапазоне от 50 до 300 рад (Si)/с (источник излучения изотоп кобальт-60), во втором – 10 мрад/с (условие D).

Многие интегральные микросхемы, в которых используют биполярные структуры, обладают повышенной чувствительностью к низкой мощности радиоактивного излучения (Enhanced Low Dose Rate Sensitivity – ELDRS). Поскольку в настоящее время не принят априорный метод прогнозирования восприимчивости к низкой мощности излучения или модель предсказания чувствительности по результатам облучения с интенсивностью 50...300 рад (Si)/с при комнатной температуре, то в стандарте в таком случае рекомендуется использовать метод TM1019 (условие D), при использовании которого мощность дозы составляет всего 10 мрад/с.

Излучение космического пространства может вызывать структурные повреждения кристаллической решетки вследствие смещения атомов (Displacement Damage) при воздействии высокоэнергетических частиц. В стандарте MIL-STD-883 (TM1017 Neutron Irradiation) предусмотрены испытания с целью определения влияния повреждений структуры полупроводникового материала, связанных с воздействием потоков нейтронов, на технические ха-



рактеристики – это т. н. параметр DDD (Displacement Damage Defect).

Одиночные радиационные эффекты вызываются одиночными высокоэнергетическими ионизирующими частицами и их проявление носит случайный характер (например, переключение логического состояния ячейки памяти). Одиночные эффекты можно разделить на обратимые и необратимые. Обратимые сбои (ошибки), как правило, происходят в микросхемах статической и динамической памяти и представляют собой переключение ячейки памяти из одного состояния в другое без потери ее работоспособности. Существуют разные эффективные методы обнаружения и коррекции таких ошибок, которые достаточно просто реализуются на аппаратном или программном уровне.

Более опасными являются одиночные события, приводящие к необратимым разрушающим последствиям. Основные катастрофические отказы – это, к примеру, радиационно-индуцированная защелка, т. н. тиристорный эффект или тиристорная защелка (Single Event Latch-up – SEL), радиационное выжигание (пробой) транзисторов и диодов (Single Event Burnout – SEB), а также пробой подзатворного диэлектрика, вызванный одиночной частицей (Single Event Gate Rupture – SEGR).

Отказы также можно разделить на параметрические и функциональные. Первые связаны с изменением параметров микросхем, вторые, по сути, характеризуются потерей работоспособности.

Таким образом, радиационные эффекты (отказы и сбои) подразделяются на:

- случайные одиночные эффекты (Single Event Effect – SEE)
- эффекты, вызванные поглощенной дозой радиации (TID).

Как правило, любой случайный индуцированный эффект в материале полупроводника, вызванный изменением свойств чувствительного объема материала за счет прохождения ионизированных частиц (в отличие от эффектов, обусловленных поглощенной дозой излучения), упоминается как один одиночный эффект (SEE). Вместе с тем случайные одиночные эффекты подразделяют на одиночные сбои (Single Event Upset – SEU), тиристорные эффекты (SEL), кратковременные импульсы напряжения в выходных цепях (Single Event Transient – SET), одиночные функциональные прерывания (Single Event Functional Interrupt – SEFI) и другие. Эффект влияния отдельных ионизированных частиц, как правило, количественно выражается средней энергией,

которую материал может получить от проходящей заряженной частицы для образования радиационного эффекта на единице ее пути, т. н. линейной передачей энергии (Linear Energy Transfer – LET), измеряемой в единицах МэВ/см или удельной энергией МэВ см<sup>2</sup>/мг (МэВ/мг/см<sup>2</sup>).

Одиночные сбои типа SEU, выражаются в том, что вследствие ионизации в результате прохождения тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ), изменяется логическое состояние ячейки памяти или формируется кратковременный импульс напряжения на выходе логического элемента. В этом случае нарушается функционирование устройства, но катастрофического отказа не происходит, т. е. устройство остается в работоспособном состоянии.

Одиночные отказы типа тиристорной защелки (SEL) выражаются в том, что образовавшийся в результате ионизации электрический заряд оказывается настолько большим, что включается паразитная тиристорная полупроводниковая структура, что приводит к резкому увеличению потребляемого тока и последующему выгоранию микросхемы.

Интегральные микросхемы, ориентированные на применения в условиях воздействия космической радиации, должны обладать устойчивостью к разного рода радиационным эффектам.

## РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ МИКРОСХЕМЫ КОМПАНИИ LINEAR TECHNOLOGY

Компания Linear Technology, недавно приобретенная компанией Analog Devices, выпускает радиационно-стойкие кристаллы и микросхемы для космических приложений [1-3].

Кроме того, радиационно-стойкие кристаллы компании Linear Technology используются корпорацией M.S. Kennedy Corporation (MSK) и Cobham Semiconductor Solutions (ранее известной как Aeroflex Microelectronic Solutions) для производства электронных компонентов, ориентированных на применение в космическом оборудовании. Эти компании включены в перечень сертифицированных изготовителей электронных компонентов для космических и военных применений (Qualified Manufacturers List – QML).

Неполный перечень интегральных микросхем компании Linear Technology для космоса приведен в табл. 2, 3.

**RH1028M** – малошумящий высокоскоростной прецизионный ОУ. Максимальное входное напряже-

**Таблица 2. Параметры радиационно-стойких ОУ и компараторов компании Linear Technology**

Усилители			
Тип	Описание	Кол.	Полоса частот, МГц
RH101A	ОУ общего назначения	1	0.1
RH1078	Микромощный ОУ, $U_{CM} = 120$ мкВ	2	0.2
RH07	Прецизионный ОУ	1	0.4
RH108A	ОУ общего назначения	1	0.5
RH1013	Прецизионный ОУ, $U_{CM} = 300$ мкВ	2	0.5
RH1014		4	0.5
RH6105	Прецизионный токочувствительный ОУ, Rail-to-Rail	1	1.0
RH27A	Прецизионный ОУ, $U_{CM} = 35$ мкВ	1	5.0
RH27	Прецизионный ОУ, $U_{CM} = 55/100$ мкВ	1	5.0
RH1056A	Прецизионный высокоскоростной JFET ОУ	1	6.5
RH1056		1	6.5
RH1498	Прецизионный ОУ, $V_n = 6$ В/мкс, Rail-to-Rail	2	10
RH1499		4	10
RH118	Прецизионный, высокоскоростной ОУ	1	15
RH1128	Малошумящий ОУ	1	20
RH37	Прецизионный ОУ	1	45
RH1028	Малошумящий (0.9 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ) ОУ	1	75
RH1814	Высокоскоростной ОУ, скорость нарастания 750 В/мкс, ток потребления 3 мА	2	100
RH6200	Малошумящий ОУ (0.95 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ), Rail-to-Rail	1	165
Компараторы			
Тип	Описание	Кол.	Время задержки, нс
RH1016	Прецизионный высокоскоростной	1	10
RH119	Высокопроизводительный	2	80
RH1011	Прецизионный	1	150

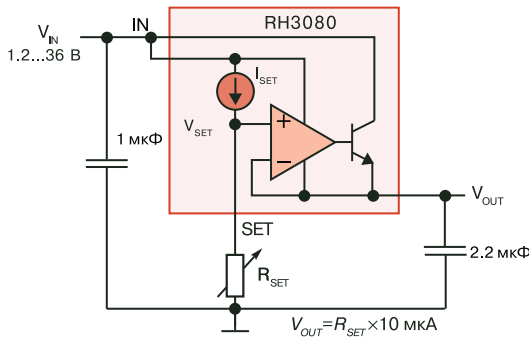
ние смещения при температуре 25 °С составляет 80 мкВ, в диапазоне температур -55...125 °С – 180 мкВ. Максимальный дрейф напряжения смещения 1.0 мкВ/°С (-55...125 °С). Максимальная спектральная плотность приведенного ко входу напряжения шумов 1.6 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$  (на частоте 1 кГц), типовое значение – 0.9 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ . Максимальная спектральная плотность шумового напряжения на частоте 10 Гц – 2.5 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ . Максимальная спектральная плотность шумового тока 3.6 пА/ $\sqrt{\text{Гц}}$  (на частоте 1 кГц), типовое значение 1.0 пА/ $\sqrt{\text{Гц}}$ . Минимальный коэффициент усиления 5 млн. Полоса частот 50 МГц, скорость нарастания 11 В/мкс. Ток потребления ОУ не более 13 мА (в диапазоне температур -55...125 °С). Накопленная доза радиации в соответствии с ТМ1019.8 (MIL-STD-883): 200 крад (Si) при мощности 50 рад (Si)/с.

**RH3080** – линейный стабилизатор напряжения с током ограничения 0.9 А. Кристалл RH3080 соответствует стандарту MIL-PRF-38535 (класс V). Структура стабилизатора RH3080 (рис. 2) отличается от стандартной структуры компенсационных линейных стабилизаторов напряжения.

В качестве напряжения эталонного источника используется падение напряжения на внешнем резисторе ( $R_{SET}$ ), а величина выходного напряжения, соответственно, устанавливается изменением его сопротивления. Ток  $I_{SET} = 10$  мкА (типовое значение), спектральная плотность шумового тока 3.2 пА/ $\sqrt{\text{Гц}}$  (соответственно в полосе частот от 10 Гц до 100 кГц среднееквадратичное значение шумового тока составляет 1 нА). Входное напряжение шумов эталонного источника вычисляется как произведение шу-

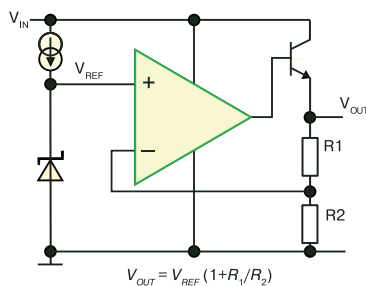
Таблица 3. Параметры радиационно-стойких микросхем компании Linear Technology

Источники эталонного напряжения			
Тип	Описание	$V_{OUT}$ , В	ppm/ °C
RH1034-1.2	Микромощный	1.2; 7	60
RH1009	Прецизионный	2.5	35
RH1021-5	Прецизионный	5	5...20
RH129A	Прецизионный	6.9	10
RH1021-7	Прецизионный	7	5...20
RH1021-10	Прецизионный	10	5...20
АЦП			
Тип	Описание	Разрядность, бит	Частота дискретизации, кГц
LTC1604	АЦП	16	333
LTC1419A	АЦП	14	800
Стабилизатор напряжения с внешним PNP-транзистором			
Тип	Описание	$V_{IN}$ , В	$I_{OUT}$ , А
RH1573	Вых. ток до 5 А с внешним PNP-транзистором	10	1.0
Линейные стабилизаторы положительного напряжения			
Тип	Описание	$V_{IN}$ , В	$I_{OUT}$ , А
RH1086H	Регулируемый	25	0.5
RH117H	Регулируемый	40	0.5
RH3080	Регулируемый	40	0.9
RH1965	Регулируемый	20	1.0
RH1086K	Регулируемый	25	1.5
RH117K	Регулируемый	40	1.5
RH3083	Регулируемый	18	2.8
RH1085	Регулируемый	30	3.0
RH1084	Регулируемый	25	5.0
Линейные стабилизаторы отрицательного напряжения			
RH137H	Регулируемый	30	0.5
RH137K	Регулируемый	30	1.5
RH1185A	Регулируемый, с ограничением тока	35	3.0
Импульсные регуляторы и контроллеры напряжения			
RH1959	500 кГц, Step-Down регулятор	16	4.5
RH3845	Синхронный Step-Down контроллер, 100...500 кГц	60	10
RHK3845	RH3845 + NMOS FETs (2 x RH411)	60	10



**Рис. 2. Структура стабилизатора напряжения RH3080**

мового тока на сопротивление резистора  $R_{SET}$ . Спектральная плотность теплового шума резистора  $R_{SET}$  определяется из известной формулы  $\sqrt{4kTR_{SET}}$ . Для уменьшения уровня шума резистор можно зашунтировать конденсатором емкостью (0.1...1.0 мкФ), что, существенно снизит уровень шума этой составляющей суммарного шумового входного напряжения и ей можно будет пренебречь. Конечно, наличие конденсатора увеличит время старта стабилизатора. Другой источник шума – собственный шум входного каскада усилителя ошибки, который в полосе частот 10 Гц...100 кГц составляет 40 мкВ (спектральная плотность 125 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ). Как следует из структуры стабилизатора его коэффициент усиления равен 1, поэтому выходное шумовое напряжение RH3080 не зависит от величины выходного стабилизированного напряжения (по сути, от коэффициента усиления стабилизатора), как в случае с регуляторами напряжения, построенными по традиционной структуре, приведенной на рис. 3.

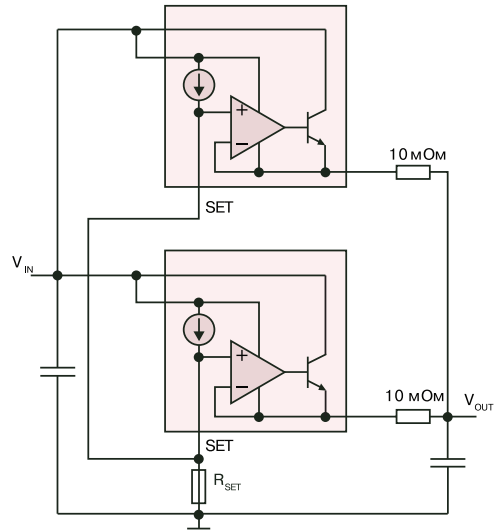


**Рис. 3. Структура классического стабилизатора с источником эталонного напряжения**

Одно из преимуществ этой архитектуры – возможность простого параллельного подключения нескольких линейных стабилизаторов с целью увеличения выходного тока (рис. 4). При этом для уравнивания выходных токов между стабилизаторами достаточно дополнительного балансирующего резистора сопротивлением 10 мОм, что обеспечивает

равномерность распределения выходных токов на уровне 80% и практически не влияет на КПД, поскольку падение напряжения на резисторах крайне мало.

Основные характеристики стабилизатора



**Рис. 4. Структурная схема параллельного включения стабилизаторов типа RH3080**

RH3080:

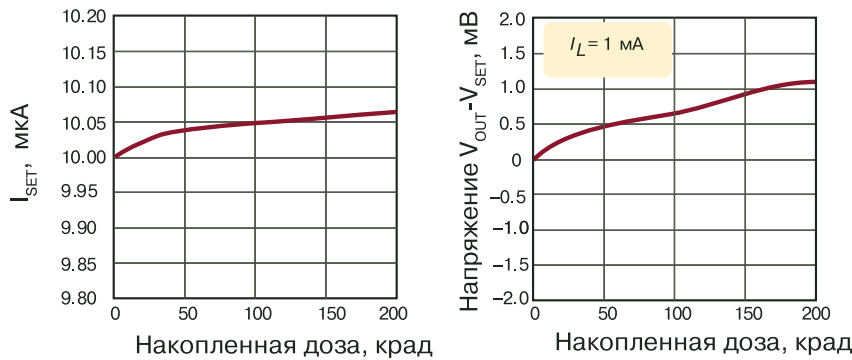
- входное напряжение: 1.2...40 В
- выходное напряжение: 0...36 В
- ток ограничения: 0.9 А
- падение напряжения: 0.35 В
- напряжение шума на выходе в полосе частот 0.01...100 кГц: 40 мкВ
- диапазон рабочих температур: -55...125 °С
- накопленная доза радиации (TM1019.8, MIL-STD-883): 200 крад (Si) при мощности 50 рад (Si)/с, 100 крад (Si) при мощности 10 мрад (Si)/с, ELDRS 100 крад (Si)
- DDD  $10^{12}$  нейтрон/см<sup>2</sup>
- LET (SEL) > 110 МэВ см<sup>2</sup>/мг (при температуре кристалла 100 °С).

Зависимость напряжения  $V_{OUT} - V_{SET}$  и тока  $I_{SET}$  от накопленной дозы радиации для стабилизатора RH3080 приведены на рис. 5.

В стабилизаторе RH3083 ток ограничения увеличен до 2.8 А, также увеличен до 50 мкА ток  $I_{SET}$ . Входное напряжение 1.2...23 В.

**RH6105** – прецизионный ОУ, высокие параметры которого позволяют применять его для высокоточного измерения протекающего тока с использованием резистора в качестве датчика тока. Кристалл RH6105 соответствует стандарту MIL-PRF-

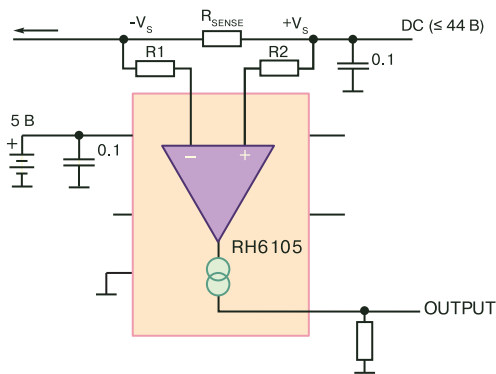




**Рис. 5. Зависимость напряжения  $V_{OUT} - V_{SET}$  и тока  $I_{SET}$  от накопленной дозы радиации**

38535 (класс V). Структура и схема подключения приведены на рис. 6. Напряжение питания 2.85...36 В, ток потребления 195 мкА. Входное напряжение смещения не более 400 мкВ, скорость нарастания выходного напряжения 2 В/мкс. Коэффициент усиления (КУ) устанавливается внешним резистором (погрешность КУ не более 1%).

Накопленная доза радиации (TM1019.8, MIL-



**Рис. 6. Вариант схемы подключения ОУ RH6105**

STD-883):

- 200 крад (Si) при мощности 50 рад (Si)/с
- 50 крад (Si) при мощности 10 мрад (Si)/с
- ELDRS 50 крад (Si).

**RH3845** – синхронный понижающий напряжение Step/Down-контроллер, работающий в режиме управления по току. Основные технические характеристики:

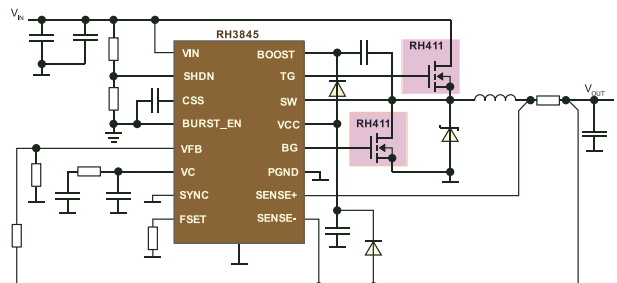
- максимальное входное напряжение 60 В
- минимальное входное напряжение для запуска 7.5 В

- КПД 94% ( $V_{IN} = 30 В, V_{OUT} = 15 В$ )
- ток потребления 5.5 мА (в спящем режиме 100 мкА)
- частота преобразования 100...500 кГц
- диапазон рабочих температур -55...125 °С
- накопленная доза радиации TID (TM1019.8,

MIL-STD-883):

- 200 крад (Si) при мощности 50 рад (Si)/с
- 100 крад (Si) при мощности 10 мрад (Si)/с
- ELDRS 100 крад (Si)
- LET (SET, SEU, SEL) > 117.6 МэВ см<sup>2</sup>/мг (при температуре кристалла 100 °С)
- DDD 10<sup>12</sup> нейтрон/см<sup>2</sup>.

Преимущество этого контроллера – возможность работы в режимах, позволяющих сохранить высокий КПД при малых токах нагрузки, что особенно важно при автономной работе в составе бортовых космических систем. Это, например, т.н. режим блокировки обратного тока катушки индуктивности (reverse inductor current inhibit), который поддерживает работу с прерыванием тока через катушку индуктивности (discontinuous mode). В контроллере RH3845 не поддерживается классический пакетный режим (burst mode). Структура понижающего DC/DC-преобразователя на базе контроллера RH3845 приведена на рис. 7.



**Рис. 7. Структура понижающего DC/DC-преобразователя на базе контроллера RH3845**

**РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ МИКРОСХЕМЫ КОМПАНИИ DDC**

В 2016 г. американская компания DDC (Data Device Corporation) объявила о приобретении одного из подразделений компании Maxwell Technologies,

Inc., а именно Maxwell Microelectronics. В результате этого компания DDC существенно расширила номенклатуру выпускаемых радиационно-стойких электронных компонентов для использования в изделиях космической техники [4, 5].

Компания DDC на протяжении более 30 лет разрабатывает и выпускает устройства и узлы для межмодульного обмена данными (MIL-STD-1553, ARINC 429) и управления электродвигателями, одноплатные компьютеры в формате PC104-PLUS/PCI-104 и платы расширения PCI-E/mini PCI-E, заказные микросхемы (ASIC), источники питания и пр. для жестких условий эксплуатации.

Компания Maxwell Microelectronics специализировалась на выпуске высокотехнологичных электронных компонентов для аппаратуры космического назначения. Это микросхемы памяти типа EEPROM, PROM, SDRAM, NOR- и NAND-флэш, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, операционные усилители (ОУ) и компараторы, аналоговые мультиплексоры, логические микросхемы, одноплатные компьютеры и пр. Высоконадежные компоненты компании Maxwell Microelectronics ориентированы на использование в аэрокосмической отрасли, а также военных и коммерческих приложениях.

Как правило, электронные компоненты компании DDC для космических приложений изготавливаются в патентованном корпусе типа RAD-PAK, использование которого совместно с другими технологическими и схемотехническими решениями, гарантирует уровень радиационной стойкости более 100 крад. В зависимости от уязвимости микросхем памяти типа EEPROM от радиационного излучения различают два варианта их исполнения – это RAD-PAK и RAD-Tolerant. В табл. 4 приведены параметры микросхем компании DDC для космоса (рис. 8, 9, 10), кроме того, компания предлагает одноплатные компьютеры для использования в космическом оборудовании.

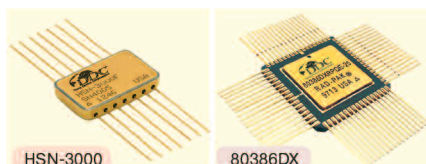


Рис. 8. Микросхемы HSN-3000 и 80386DX

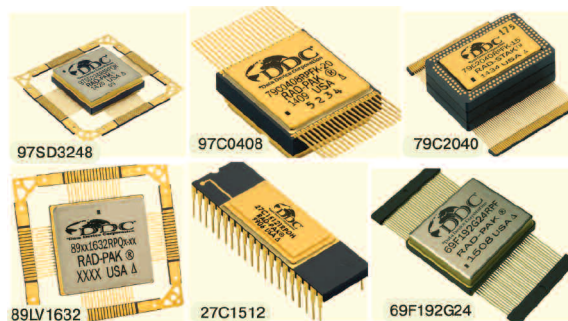


Рис. 9. Микросхемы памяти компании DDC

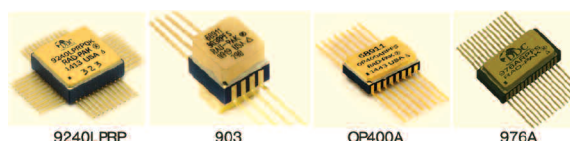


Рис. 10. Микросхемы компании DDC

**Детектор излучения HSN-3000** – радиационно-стойкий ядерный детектор событий (Nuclear Event Detector – NED), предназначенный для обнаружения импульсов ионизирующего излучения, генерируемых при ядерном взрыве. После срабатывания детектора происходит переключение выходов из нормального высокоимпедансного состояния в состояние с низким уровнем. Время реакции менее 20 нс. NED (Nuclear Event Detection) и NEF (Nuclear Event Flag) – выходные сигналы, индицирующие обнаружение импульсов излучения. Они могут использоваться в системе для инициализации аппаратных и программных средств защиты электронных компонентов (микросхем памяти, микросхем сбора и обработки данных), а также для вкл./откл. блоков питания. Напряжение питания детектора 5 В. Микросхемы HSN-3000 соответствуют рекомендациям стандарта MIL-PRF-38534 (категория H, TID = 1000 крад) и изготавливаются в корпусах типа FP-14 или DIP-14.

Работоспособность микросхем HSN-3000 гарантируется при:

- мощности облучения:  $10^{12}$  рад (Si)/с
- поглощенной дозе радиации (TID): 1000 крад (Si)
- плотности потока нейтронов:  $5 \cdot 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup>.

Порог обнаружения излучения регулируется в диапазоне  $2 \cdot 10^5 \dots 2 \cdot 10^7$  рад. Отклонение порога во всем диапазоне рабочих температур не более 30%. Все микросхемы тестируются в процессе изготовления.

Таблица 4. Микросхемы компании DDC для космоса

Тип	Описание	Технология		Тип корпуса
		RAD-PAK	RAD-Tolerant 10/20/40 крад	
<b>АЦП</b>				
7820	8-разр., $f_d = 73.5$ кГц	+	—	DIP-20
7672	12-разр., $f_d = 100$ кГц	+	—	FP-24, DIP-24
9042	12-разр., $f_d = 41$ МГц	+	—	FP-28
9240LP	14-разр., $f_d = 10$ МГц	+	—	QFP-44
7872A	14-разр., $f_d = 83$ кГц	+	—	FP-16, DIP-16
7809ALP	16-разр., $f_d = 100$ кГц	+	—	FP-24
976A	16-разр., $f_d = 200$ кГц	+	—	FP-28
<b>ЦАП</b>				
8147	12-разр.	+	—	FP-16
7545B	12-разр.	+	—	FP-20, DIP-20
7846B	16-разр.	+	—	FP-28
768A	16-разр., $f_d = 30$ МГц	—	+	FP-28
<b>EEPROM (3.3 В, 200/250 нс)</b>				
28LV010	1 Мбит (128 кбит×8), 0.480"	+	+	FP-32, DIP-32
28LV011	1 Мбит (128 кбит×8), 0.410"	+	+	FP-32
79LV0408	4 Мбит (512 кбит×8)	+	+	FP-40
79LV0832	8 Мбит (256 кбит×32)	+	+	QFP-96
79LV2040	20 Мбит (512 кбит×40), Rad-Stak	—	+	FP-100
79LV2040B	20 Мбит (512 кбит×40), Dual-Cavity	+	+	FP-100
<b>EEPROM (5 В, 120/150/200 нс)</b>				
28C010T	1 Мбит (128 кбит×8), 0.480"	+	+	FP-32, DIP-32
28C011T	1 Мбит (128 кбит×8), 0.410"	+	+	FP-32
79C0408	4 Мбит (512 кбит×8)	+	+	FP-40
79C0832	8 Мбит (256 кбит×32)	+	+	QFP-96
79C2040	20 Мбит (512 кбит×40), Rad-Stak	—	+	FP-100
79C2040B	20 Мбит (512 кбит×40), Dual-Cavity	+	+	FP-100
<b>SRAM (3.3 В, 20/25/30 нс)</b>				
33LV0408	4 Мбит (512 кбит×8)	+	—	FP-32
89LV1632	16 Мбит (512 кбит×8×4 банка)	+	—	QFP-68
<b>SDRAM (100 МГц)</b>				
48SD1616	256 Мбит (16 Мбит×16)	+	—	FP-72
48SD3208	256 Мбит (32 Мбит×8)	+	—	FP-72
72SD3232B	1 Гбит (32 Мбит×32)	+	—	FP-72
97SD3240	1.25 Гбит (32 Мбит×40), Rad-Stak	—	—	QFP-132
97SD3240B	1.25 Гбит (32 Мбит×40), Dual-Cavity	+	—	QFP-132
97SD3248	1.5 Гбит (32 Мбит×48), Rad-Stak	—	—	QFP-132
97SD3248B	1.5 Гбит (32 Мбит×48), Dual-Cavity	+	—	QFP-132
<b>PROM-OTP PROM (120/150/200 нс)</b>				
27C512T	512 кбит (64 кбит×8)	+	—	FP-32, DIP-32
27C1512T	512 кбит (32 кбит×16)	+	—	DIP-40
27C010T	1 Гбит (128 кбит×8)	+	—	FP-32, DIP-32

Продолжение таблицы 4

Тип	Описание	Технология		Тип корпуса
		RAD-ПАК	RAD-Tolerant 10/20/40 крад	
<b>Флэш-память</b>				
29F0408	NAND 32 Мбит (4 Мбит×8)	+	—	FP-44
69F1608	NAND 128 Мбит (16 Мбит×8)	+	—	FP-24
29F32G08	NAND 32 Гбит (×8)	+	—	FP-68
69F64G16	NAND 64 Гбит (×16)	+	—	FP-68
69F128G16	NAND 128 Гбит (×16)	+	—	FP-68
69F256G16	NAND 256 Гбит (×16)	+	—	FP-68
69F12G24	NAND 12 Гбит (×24)	+	—	FP-70
69F24G24	NAND 24 Гбит (×24)	+	—	FP-70
69F96G24	NAND 96 Гбит (×24)	+	—	FP-70
69F192G24	NAND 192 Гбит (×24)	+	—	FP-70
56F6408	NOR 512 Мбит (×8/×16)	+	—	FP-56
<b>Микропроцессоры</b>				
80386DX	32-разр., 25 МГц	+	—	QFP-164
80387DX	Арифметический сопроцессор	+	—	QFP-68
<b>Мультиплексоры</b>				
358	8-каналов	+	—	FP-16
306	16-каналов	+	—	FP-28
338	16-каналов	+	—	FP-16
81840	128-каналов	+	—	QFP-256
<b>Усилители и компараторы</b>				
903	Высокоскоростной компаратор	+	—	FP-8
6484	Четыре ОУ	+	—	FP-14
OP220	Два ОУ	+	—	FP-8
OP284B	Два ОУ, 4 МГц	+	—	FP-8
OP400A, OP490	Четыре ОУ	+	—	FP-16
<b>Детекторы излучения</b>				
HSN-500	Обнаружение импульсов радиоактивного излучения, генерируемых при ядерном взрыве	—	—	FP-14, DIP-14
HSN-1000		—	—	FP-14, DIP-14
HSN-2000		—	—	FP-14, DIP-14
HSN-3000		—	—	FP-14, DIP-14
<b>Логические микросхемы</b>				
54BCT244	8-разр. драйвер	+	—	FP-20
54BCT245	8-разр. приемопередатчик	+	—	FP-20
54LVTH162240	16-разр. драйвер с 3-состоянием	+	—	FP-48
54LVTH162244	16-разр. драйвер, 3.3 В	+	—	FP-48
54LVTH162245	16-разр. приемопередатчик, 3.3 В	+	—	FP-48
54LVTH16373	16-разр. регистр, 3.3 В	+	—	FP-48
54LVTH244A	8-разр. драйвер, 3.3 В	+	—	FP-20
54LVTH245A	8-разр. приемопередатчик, 3.3 В	+	—	FP-20
7B991	Программируемый формирователь импульсов	+	—	FP-32

FP – Flat Pack, DIP – Dual in Line Package, QFP – Quad Flat Package



**80386DX** – 32-разрядный микропроцессор полностью совместимый с семейством процессоров 80C286. Производительность 3...4 MIPS. Объем адресуемой физической памяти 4 Гбайт. TID = 100 крад, LET (SEL) = 37...60 МэВ см<sup>2</sup>/мг, LET (SEU) = 3.4 МэВ см<sup>2</sup>/мг.

**79SD3248** – синхронная динамическая память с произвольным доступом (SDRAM) объемом 1.5 Гбайт (8 Мбайт × 48 бит × 4 банка) с тактовой частота 100 МГц. Диапазон рабочих температур -55...125 °С. Напряжение питания 3.3 В. LET (SEL) > 85 МэВ см<sup>2</sup>/мг при температуре 25 °С, TID > 100 крад. Микросхемы 79SD3248 изготавливаются в корпусе типа QFP-132 (RAD-ПАК).

**79C0408** – высокоскоростная память типа EEPROM объемом 4 Мбит (512 Кбит × 8). Время выборки 120/150/200 нс. Потребляемая мощность в активном режиме 80 мВт/МГц, в режиме ожидания 0.4 мВт. Время хранения данных 10 лет, количество циклов стирания/записи 10 тыс. LET (SEL) > 120 МэВ см<sup>2</sup>/мг (ИМС), LET (SEU) > 90 МэВ см<sup>2</sup>/мг (ячейка памяти), LET (SEU) > 18 МэВ см<sup>2</sup>/мг (режим записи), LET (SET) > 40 МэВ см<sup>2</sup>/мг (режим чтения).

**69F96G24/192G24** – память типа NAND-флэш объемом 96/192 Гбит совместимая со стандартом ONFI 2.2. Количество циклов стирания/записи 60 тыс. Напряжение питания 3.0...3.6 В (VCC) и 1.7...1.95/3.0...3.6 В (VCCQ). Максимальная частота выборки в асинхронном режиме 50 МГц. Диапазон рабочих температур -55...125 °С.

**89LV1632** – высокопроизводительная статическая память объемом 16 Мбит (512 Кбит × 8 × 4 банка), изготовленная по КМОП-технологии. Напряжение питания 3.3 ± 0.3 В. Время выборки 20/25/30 нс. Входные и выходные сигналы совместимы с уровнями микросхем TTL-логики. TID > 100 крад, LET (SEL) > 68 МэВ см<sup>2</sup>/мг, LET (SEU) = 3 МэВ см<sup>2</sup>/мг.

**79C2040** – модуль памяти типа EEPROM объемом 20 Мбит (512 Кбит × 40), содержащий 20 кристаллов памяти объемом 1 Мбит (128 Кбит × 8). Время выборки 150/200 нс. Потребляемая мощность в активном режиме 375 мВт/МГц, в режиме ожидания 3.2 мВт. Время хранения данных 10 лет, количество циклов стирания/записи 10 тыс. LET (SEL) > 120 МэВ см<sup>2</sup>/мг, LET (SEU) > 90 МэВ см<sup>2</sup>/мг (в режиме чтения),

LET (SEU) > 18 МэВ см<sup>2</sup>/мг (в режиме записи).

**27C1512T** – память типа OTP EPROM объемом 512 Кбит (32 Кбит × 16). Потребляемая мощность в активном режиме 500 мВт (при частоте 10 МГц) в режиме ожидания 11 мВт. Типовое время программирования одной страницы 14 с, напряжение источника питания (VPP) при программировании 12.5 ± 0.3 В. TID > 100 крад, LET (SEL) > 80 МэВ см<sup>2</sup>/мг, LET (SEU) > 80 МэВ см<sup>2</sup>/мг.

**9240LPRP** – 14-разрядный параллельный АЦП со скоростью преобразования 10 MSPS. Напряжение питания 5 В. Потребляемая мощность 285 мВт. Интегральная нелинейность 2.5 LSB, дифференциальная нелинейность 0.36 LSB, отношение сигнал/шум 77.5 дБ, TID = 100 крад.

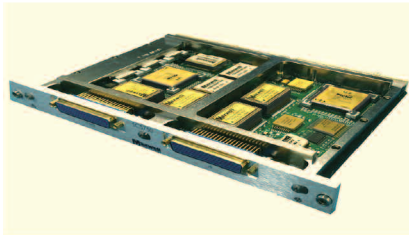
**903** – высокоскоростной компаратор напряжения. Потребляемая мощность при напряжении питания 5 В всего 18 мВт. Время распространения сигнала 8 нс. Напряжение питания однополярное (5/10 В) или двуполярное (± 5 В). Выходные сигналы компаратора совместимы с уровнями сигналов микросхем TTL-логики.

**OP400A** – четыре ОУ в корпусе RAD-ПАК типа FP-16. Максимальное напряжение смещения 150 мкВ при дрейфе 1.2 мкВ/°С в диапазоне температур -55...125 °С. Максимальный входной ток смешения 3 нА. Напряжение шумов, приведенное ко входу 11 нВ/√Гц на частоте 1 кГц. Коэффициент усиления 5000 В/мВ. Усилитель сохраняет стабильность при емкостной нагрузке до 10 нФ. Ток потребления каждого ОУ не более 725 мкА.

**976A** – 16-разрядный АЦП последовательного приближения. Частота преобразования 200 кГц. Напряжение питания 5 В, потребляемая мощность 100 мВт. TID = 100 крад, LET (SEL/SEFI) > 85 МэВ см<sup>2</sup>/мг при температуре 125 °С. ИМС 976A изготавливаются в корпусе типа FP-28 (RAD-ПАК).

**SCS750x** – одноплатные компьютеры производительностью 200...1800 MIPS, созданные на базе архитектуры Power PC, и ориентированные для работы с операционными системами реального времени VxWorks, RTEMS, Linux. Объем памяти типа SDRAM 256 Мбайт, типа EEPROM 4/8 Мбайт (в зависимости от модификации). Объем флэш-памяти типа NAND составляет 64 Гбайт (для коррекции

ошибок используется VCH-код). Компьютеры изготавливаются в стандартном типоразмере 6U cPCI, потребляемая мощность 7...30 Вт. Для обмена данными с внешними устройствами предусмотрены четыре коммуникационных порта типа SpaceWire с максимальной скоростью передачи данных 200 Мбит/с, также реализован магистральный последовательный интерфейс MIL-STD-1553. Одноплатные компьютеры SCS750 ориентированы на применения в космической аппаратуре. Согласно классификации Национального агентства по авиации и исследованию космического пространства (NASA) компьютерам SCS750 (рис. 11) компании DDC при-



**Рис. 11. Одноплатный компьютер SCS750**

своим высшим уровнем технологической готовности TRL9.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Использование микросхем класса industrial не может обеспечить требуемый уровень надежности при длительной эксплуатации электронного оборудования в условиях радиационных дестабилизирующих факторов космического пространства. Для применения в космической аппаратуре необходимы специальные микросхемы класса space, отличающиеся повышенной радиационной стойкостью,

что подтверждается соответствующими сертификатами на устойчивость к радиационным воздействиям.

Современная высоконадежная высокотехнологичная электроника – основа для создания эффективных систем вооружения, размещаемых в том числе в космическом пространстве, поэтому существует и проблема максимального ограничения доступа потенциального противника к новейшим технологиям.

Правительством ряда государств утверждены соответствующие пакеты документов, регламентирующих классификацию и лицензирование электронных компонентов, ориентированных на применение в космическом оборудовании.

Более полную информацию о радиационно-стойких электронных компонентах компании Linear Technology и DDC можно найти в [1-4], или получить у официального дистрибьютера в Украине – НПФ VDMAIS.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Linear Technology Space Products Update. – Linear Technology, 2017.
2. Space Qualified Products. – Linear Technology, 2017.
3. Advances in Space Qualified Flexible Rad-Hard Analog Microcircuits. – MSK, 2013.
4. Radiation tolerant microelectronics ([www.ddc-web.com/Products/SpaceME.html](http://www.ddc-web.com/Products/SpaceME.html)).
5. MIL-PRF-38535K. Performance specification integrated circuits (microcircuits) manufacturing, general specification for.
6. Standards for radiation effects testing: Ensuring

**VD MAIS**  
**Печатные платы**

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

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.  
**Цены – оптимальные.**

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

**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, Essemtec, 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@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

# Установщики серии SM PLUS Скоростные установщики EXCEN



## SM471P

- кол-во устанавливающих головок – 2 моста по 10 головок
- скорость установки 78000 комп/час
- точность установки (CHIP)  $\pm 40$  мкм
- точность установки (QFP)  $\pm 50$  мкм
- максимальные габариты ПП 510×460, 610×460 опционально

- приводные двигатели с более высоким разрешением
- повышение точности позиционирования при установке компонентов на 20%
- усовершенствование процесса распознавания компонентов с помощью системы технического зрения до и после размещения
- работа с печатными платами длиной более 1000 мм



## SM481P

- кол-во устанавливающих головок – 1 мост на 10 головок
- скорость установки 40000 комп/час
- точность установки (CHIP)  $\pm 40$  мкм
- точность установки (QFP)  $\pm 30$  мкм
- максимальные габариты ПП 460×400, 1200×460 опционально



## SM482P

- кол-во устанавливающих головок – 1 мост на 6 головок
- скорость установки 30000 комп/час
- точность установки (CHIP)  $\pm 40$  мкм
- точность установки (QFP)  $\pm 30$  мкм
- максимальные габариты ПП 460×400, 1200×510 опционально



## EXCEN PRO D/EXCEN PRO M

- кол-во устанавливающих головок – 2/4 моста по 2/8/16 головок
- скорость установки 60000/120000 комп/час
- точность установки (CHIP)  $\pm 35$  мкм
- точность установки (QFP)  $\pm 30$  мкм
- максимальные габариты ПП 350×310



**VD MAIS – официальный дистрибьютор  
компании Hanwha Techwin в Украине**

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



## ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТЫ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО СИНТЕЗА СВЧ-ДИАПАЗОНА

Одной из основных особенностей синтезаторов прямого цифрового синтеза СВЧ-диапазона является отсутствие постоянного запоминающего устройства, в котором хранятся коэффициенты синуса. Формирование гармонического сигнала осуществляется путем применения нелинейных ЦАП со сложной архитектурой. В статье рассмотрены особенности построения нелинейных ЦАП, используемых в синтезаторах DDS.

В. Макаренко

### FEATURES OF ARCHITECTURE OF FREQUENCY SYNTHESIZERS DDS OF MICROWAVE RANGE

**Abstract** - One of the main features of the synthesizers of direct digital synthesis of long-range disorder is the absence of a ROM, which stores the coefficients of the sine. The formation of harmonic signal by applying a nonlinear DAC with a complex architecture is considered. In the article features of construction of the nonlinear DAC is used in synthesizers DDS are examined.

V. Makarenko

Частота, амплитуда и фаза сигнала, формируемого на выходе синтезатора прямого цифрового синтеза (DDS), в любой момент времени точно известны и могут быть запрограммированы. Параметры таких синтезаторов практически не зависят от температуры и от старения элементов. Синтезаторы DDS практически не подвержены температурному дрейфу и старению. Единственным элементом, который обладает свойственной аналоговым схемам нестабильностью, является ЦАП. Отличные технические характеристики и высокая скорость перестройки частоты и фазы привели к тому, что синтезаторы DDS вытесняют синтезаторы, построенные на основе системы ФАПЧ. Основные преимущества DDS синтезаторов заключаются в следующем:

- высокое разрешение по частоте и фазе
- быстрый переход на другую частоту (или фазу)
- перестройка по частоте без разрыва фазы и без выбросов.

Разрешение по частоте достигает тысячных долей герца при выходной частоте несколько десятков мегагерц, что практически недостижимо при других методах синтеза. Другой характерной особенностью синтезаторов DDS является очень высокая скорость перехода на другую частоту, которая определяется только скоростью работы цифрового интерфейса и цифровых схем, входящих в состав синтезатора. Третьей особенностью является возможность формирования модулированных и квадратурных сигналов непосредственно в процессе синтеза [1, 2].

Параметры синтезатора частоты очень важны

для аппаратуры связи. Являясь ядром системы настройки, синтезатор в основном определяет потребительские свойства аппаратуры. Как с технической, так и с экономической стороны DDS удовлетворяет большинству критериев, предъявляемых к идеальному синтезатору частоты: высокая степень интеграции, программное управление, малые габариты.

С процессами дискретизации и цифро-аналогового преобразования, которые имеют место в синтезаторах DDS, связаны и некоторые ограничения:

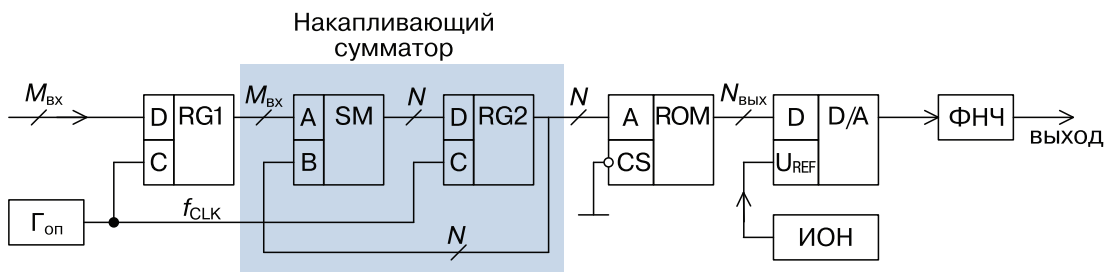
1. Максимальная выходная частота не может быть выше половины тактовой (на практике она еще меньше). Однако, благодаря внедрению новых технологий, максимальная тактовая частота постоянно возрастает.

2. Отдельные побочные составляющие выходного сигнала на выходе синтезатора DDS могут быть значительно больше, по сравнению с синтезаторами, построенными на основе системы ФАПЧ. Спектральная чистота выходного сигнала DDS сильно зависит от качества ЦАП.

3. Потребляемая DDS мощность практически прямо пропорциональна тактовой частоте и может достигать единиц ватт у высокочастотных синтезаторов. При высоких тактовых частотах такие синтезаторы могут оказаться непригодными для устройств с батарейным питанием.

При построении синтезатора DDS по традиционной архитектуре (рис. 1), в которой используется постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), на каждом такте работы синтезатора в регистр RG2 записывается сумма предыдущего кода, сформиро-





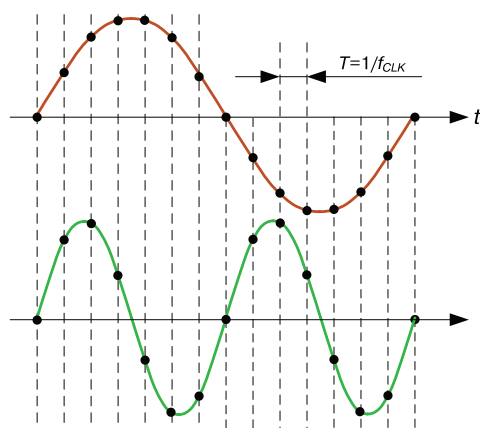
**Рис. 1. Упрощенная структурная схема синтезатора DDS**

ванного на его выходе и кода частоты, подаваемого на вход управления синтезатора (вход RG1). Код на выходе регистра линейно нарастает во времени. Причем шаг приращения кода зависит от величины постоянной добавки – кода частоты. Когда накапливающий сумматор используется для формирования кода фазы, его еще называют аккумулятором фазы. Выходной код аккумулятора фазы представляет собой код мгновенной фазы выходного сигнала. Постоянная добавка, которая используется при работе аккумулятора фазы, представляет собой приращение фазы за один такт работы устройства. Чем быстрее изменяется фаза во времени, тем больше частота генерируемого сигнала. Поэтому значение приращения фазы фактически является кодом выходной частоты. Если код приращения фазы равен, например, двум, то код на выходе аккумулятора будет изменяться вдвое быстрее, чем при значении кода приращения равным единице.

Код, сформированный на выходе аккумулятора фазы, является адресом ячейки постоянного запоминающего устройства (ROM), в котором хранятся коэффициенты  $\sin$ . При изменении кода адреса на выходах ROM формируются коды, соответствующие отсчетам  $\sin$ .

На входы ЦАП коды будут поступать с той же частотой что и частота изменения кода на выходе аккумулятора, но будут представлять собой не соседние, а взятые через один отсчеты функции  $\sin$  (рис. 2). Частота генерируемого сигнала при этом будет вдвое большей, а частота дискретизации останется прежней. На выходе ЦАП формируется квазигармонический сигнал, состоящий из “ступенек”. Аналоговый ФНЧ сглаживает ступеньки и на его выходе формируется гармонический сигнал.

Аккумулятор фазы работает с периодическими переполнениями, что соответствует периодическому поведению функции  $\sin$  с периодом  $2\pi$ . Частота выходного сигнала рассчитывается по формуле



**Рис. 2. Формирование сигналов различной частоты при изменении кода приращения**

$$f_{\text{вых}} = M_{\text{вх}} f_{\text{CLK}} / 2^N, \tag{1}$$

где  $f_{\text{вых}}$  – выходная частота;  $f_{\text{CLK}}$  – тактовая частота;  $M_{\text{вх}}$  – код частоты;  $N$  – разрядность аккумулятора фазы.

Шаг перестройки частоты равен

$$\Delta f_{\text{вых}} = f_{\text{CLK}} / 2^N.$$

Например, если тактовая частота равна 25 МГц, а разрядность  $N=28$ , то шаг перестройки частоты составит 0,0931 Гц. Увеличивая разрядность накапливающего сумматора можно уменьшить шаг перестройки частоты.

Методы формирования модулированных квадратурных сигналов в синтезаторах DDS подробно описаны в [3].

Для примера можно привести характеристики одного из самых высокочастотных синтезаторов, выпускаемых компанией Analog Devices в 2010 году. Синтезатор AD9910 [2] имел максимальную тактовую частоту 1000 МГц, 32-разрядное управляющее слово, 14-разрядный ЦАП, SFDR при частоте выходного сигнала 200 МГц равный 87 дБ в полосе частот

0.5 МГц, потребляемую мощность 730 мВт.

По состоянию на август 2017 года наиболее высокочастотным синтезатором прямого цифрового синтеза, выпускаемым компанией Analog Devices, является AD9914 с максимальной тактовой частотой 3.5 ГГц и потребляемой мощностью около 2.4 Вт [4]. Более высокочастотный синтезатор DDS [5] имеет тактовую частоту 8.6 ГГц и, так же, как и AD9914, построен по другой архитектуре, отличающейся от приведенной на рис. 1.

Основным отличием этой архитектуры является отсутствие постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) в котором хранятся коэффициенты формы сигнала. Функции ПЗУ в ней выполняет сегментированный синус-взвешенный ЦАП (Segmented Sine-Weighted DAC), формирующий гармонический сигнал напрямую из входного кода.

Упрощенная структурная схема DDS с использованием сегментированного синус-взвешенного ЦАП приведена на рис. 3.

Так же, как и в синтезаторе на рис. 1, выходная частота определяется соотношением (1).

Применение сегментированного синус-взвешенного ЦАП вызвано тем, что реализовать ПЗУ, работающее с тактовыми частотами несколько гигагерц, весьма сложно. В структуре DDS, приведенной на рис. 3, параметры выходного сигнала полностью определяются параметрами синус-взвешенного ЦАП.

Рассмотрим особенности архитектуры сегментированного ЦАП на примере ИМС ЦАП AD9772 [6]. Старшие пять разрядов (MSB) декодируются и управляют работой 31 токового ключа с помощью которых на выходе ЦАП старших разрядов форми-

руется 512 уровней сигнала (рис. 4). Вес каждого разряда одинаков. Пять младших разрядов управляют работой обычного двоичного ЦАП младших разрядов (LSB), который формирует 32 уровня сигнала. Выходные токи обоих ЦАП суммируются на одной нагрузке. Количество сегментов может быть и больше двух. Например, 14-разрядный КМОП ЦАП AD9772 построен с использованием трех сегментов.

Такая архитектура позволяет реализовать быстродействующие ЦАП с малым энергопотреблением на базе стандартного КМОП-процесса без использования тонкопленочных резисторов.

Сегментированные синус-взвешенные ЦАП имеют более сложную архитектуру. На рис. 5 приведена структурная схема 11-разрядного DDS без ПЗУ с 10-разрядным сегментированным ЦАП.

На рис. 5 частота смены управляющего кода обозначена как FCW. Выходной код преобразователя в дополнительный код обеспечивает формирование 1/4 периода выходного сигнала на интервале от 0 до  $\pi/2$ .

Старший бит аккумулятора фазы определяет знак выходного напряжения синтезатора, а два старших разряда (MSB) используются для определения квадранта выходного синусоидального сигнала.

Для достижения максимального быстродействия в схеме используется конвейерный фазовый аккумулятор (Pipeline Accumulator), функциональная схема которого приведена на рис. 6.

Приведенная структура, хотя и требует большого числа элементов, обеспечивает наиболее высокое быстродействие. Задержки сигнала, вносимые

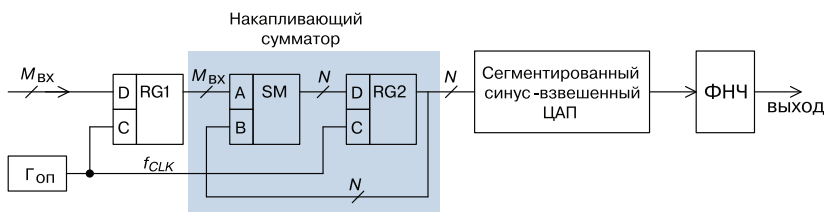


Рис. 3. Упрощенная структурная схема синтезатора DDS с использованием сегментированного синус-взвешенного ЦАП

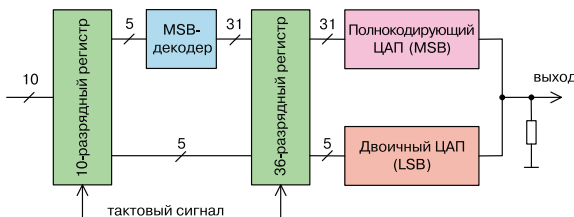


Рис. 4. Структурная схема 10-разрядного сегментированного ЦАП

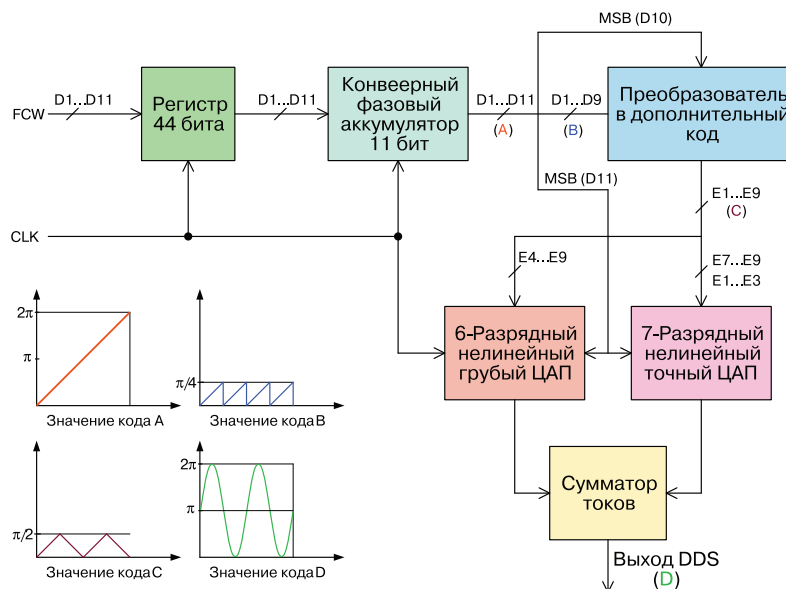


Рис. 5. Структурная схема 11-разрядного синус-взвешенного ЦАП

в каждом из разрядов аккумулятора, одинаковы.

Структурная схема сегментированного нелинейного 10-разрядного ЦАП приведена на рис. 7. Структура ЦАП напоминает структуру ПЗУ, только вместо ячеек памяти в узлах сетки, образованной шинами строк и столбцов, находятся источники тока. И если дешифраторы столбцов и строк в ПЗУ выполнены по схеме линейного двоичного дешифратора, то для ЦАП, выполняющего нелинейное преобразование, схемы этих дешифраторов значительно сложнее.

На рис. 8 приведен фрагмент преобразователя в дополнительный код и дешифратор столбцов точ-

ного ЦАП. В [5] этот дешифратор имеет название Thermometer Decoder. В зависимости от значения кода d10 преобразователь в дополнительный код сохраняет значение входного кода (при d10=0), либо инвертирует его (при d10=1).

Дешифратор столбцов точного ЦАП преобразует трехразрядный входной код в 8-разрядный выходной код в соответствии с алгоритмом, приведенном на рис. 8.

В [5] приведены результаты экспериментальных исследований, разработанного авторами работы синтезатора прямого цифрового синтеза. На рис. 9 приведена форма выходного сигнала синтезатора DDS частотой 4.2 МГц при тактовой частоте 8.6 ГГц.

Спектр выходного сигнала синтезатора при частоте выходного сигнала 4.2 МГц приведен на рис. 10,а, а при частоте сигнала 4.2958 ГГц – на рис. 10,б. Спектры измерены при частоте тактового сигнала 8.6 ГГц.

Как следует из приведенных спектров, динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR), выходного сигнала составляет не менее 50 дБн при выходной мощности -8.3 дБм и частоте сигнала 4.2 МГц. На максимальной выходной частоте 4.29 ГГц SFDR составляет примерно 45 дБн.

Предложенный в [5] синтезатор позволяет формировать на выходе ЛЧМ- и фазоманипулированные сигналы.

Из приведенных зависимостей можно сделать вывод о том, что такие синтезаторы пригодны для использования в системах связи и радиолокационных системах.

Более подробную информацию о способах по-

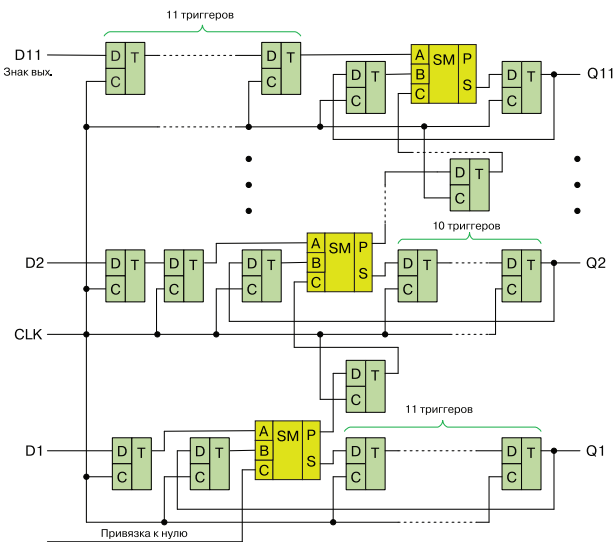


Рис. 6. Функциональная схема конвейерного фазового аккумулятора

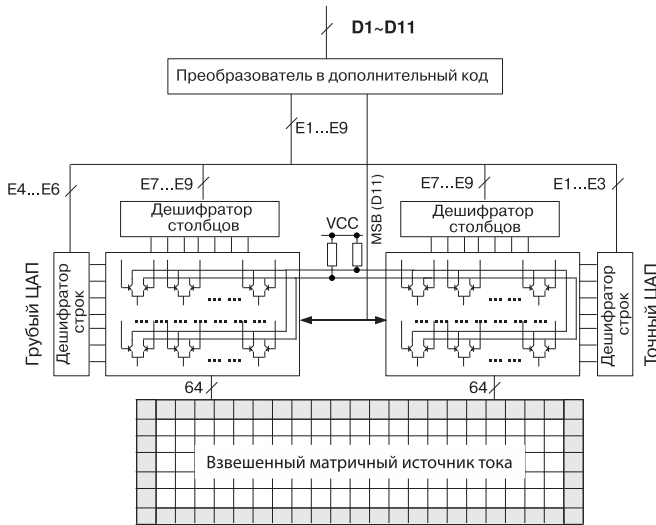


Рис. 7. Структурная схема сегментированного нелинейного 10-разрядного ЦАП

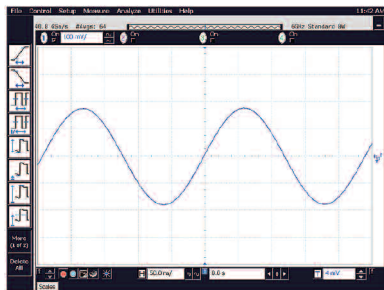


Рис. 9. форма выходного сигнала синтезатора DDS частотой 4.2 МГц при тактовой частоте 8.6 ГГц

строения синтезаторов прямого цифрового синтеза СВЧ-диапазона можно найти в [5].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко В. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза / В. Макаренко // Электронные компоненты и системы. – 2004. – № 1. – С. 3 – 7.
2. Макаренко В. Компоненты для построения беспроводных устройств связи, часть 7. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза / В. Макаренко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 1. – С. 34 – 46.
3. Vankka J. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications / Helsinki University of Technology, Department of Electrical and Communications Engineering // Dissertation for the degree of Doctor of Science. November 2000. – 208 p.
4. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9914.pdf>.
5. Geng X., Dai F., Irwin D., Fellow L., Jaeger R. An 11-Bit 8.6 GHz Direct Digital Synthesizer MMIC With 10-

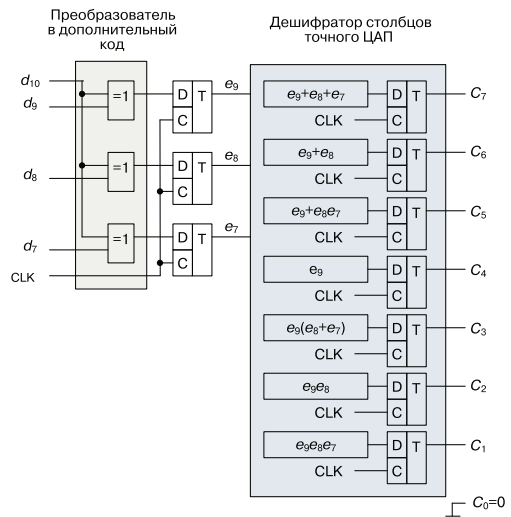
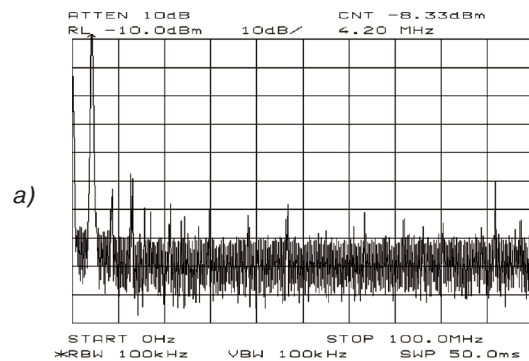
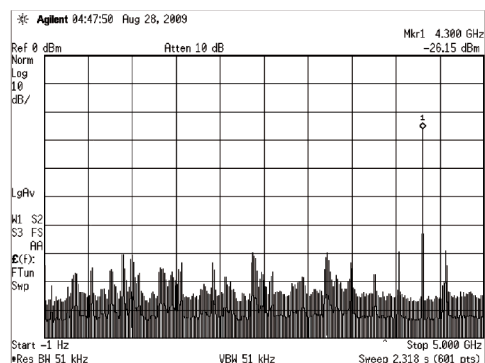


Рис. 8. фрагмент преобразователя в дополнительный код и дешифратор столбцов точного ЦАП



а)



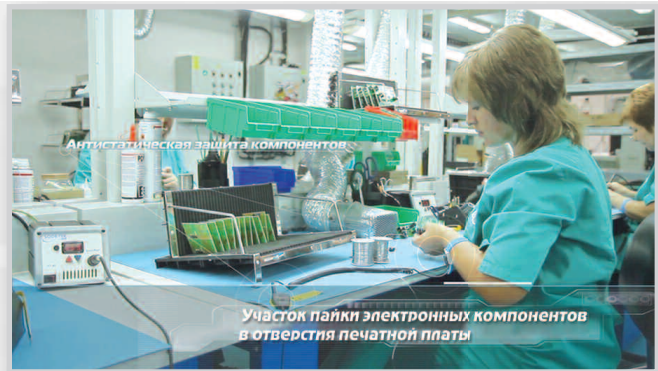
б)

Рис. 10. Спектр выходного сигнала синтезатора при частоте выходного сигнала 4.2 МГц (а) и при частоте 4.2958 ГГц (б)

Bit Segmented Sine-Weighted DAC / IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 45, NO. 2, FEBRUARY 2010, pp. 300-313.

6. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9772A.pdf>.





## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Полный цикл контрактного производства электроники:

- проектирование и изготовление печатных плат
- поставка комплектующих элементов
- автоматизированная сборка (до 2 500 000 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 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2015.

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

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