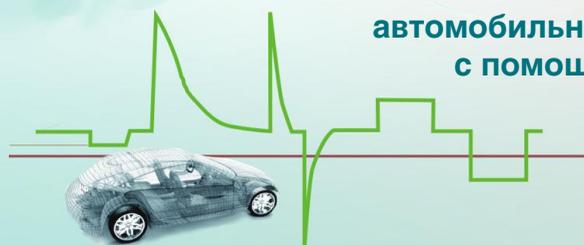




**Надежная защита  
автомобильной электроники  
с помощью TVS-диодов**



### **В номере:**

- Перспективы создания мультифункциональных ИМС
- Системы тестирования литий-ионных аккумуляторов
- Электромагнитные измерители скорости потока жидкости
- Малогабаритный понижающий преобразователь с выходным током 10 А
- Высокоэффективные светодиоды XLAMP XP-G3
- **Ограничители напряжения: TVS-диоды**
- Компоненты двойного назначения компании ADI
- Особенности моделей компонентов различных версий NI Multisim



## Цифровые мультиметры компании Tektronix серии DMM4000

- высокая точность измерения
- высокое разрешение
- многофункциональность
- удобство пользования

	DMM4020	DMM4040	DMM4050
Разрядность дисплея	5.5	6.5	6.5
Диапазон измеряемых величин:			
- напряжение (пост./перем. тока)	200 мВ ... 1000 В	100 мВ ... 1000 В	100 мВ ... 1000 В
- ток (постоянный/переменный)	200 мА ... 10 А	100 мкА ... 10 А	100 мкА ... 10 А
- сопротивление	200 Ом ... 100 МОм	10 Ом ... 1 ГОм	10 Ом ... 1 ГОм
- частота	20 Гц ... 1 МГц	3 Гц ... 1 МГц	3 Гц ... 1 МГц
- период	-	1 мкс ... 333 мс	1 мкс ... 333 мс
- емкость	-	-	1 нФ ... 100 мФ
- температура	-	-	-200 ... +600 °С
Погреш. измерения пост. напряж.	±0.015%	±0.0035%	±0.0024%
Функции анализа	Limit Compare (LC)	LC, TrendPlot, Histogram, Statistics	
Дисплей	Два знаковых	Один – знаковый, один – графический	
Интерфейсы	для внешних носителей для связи и управления	- RS-232, адаптер USB – RS-232	USB LAN, GPIB, RS-232, адаптер USB – RS-232
Программное обеспечение	NI LABVIEW SignalExpress™ Tek Edition		



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

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

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ  
И СИСТЕМЫ**2016 июль-сентябрь  
№ 3 (215)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@vdm.ais.ua**Интернет:** www.vdmais.ua  
www.ekis.kiev.ua**Адрес для переписки:**Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
Подписано к печати 30.03.2015*В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ*

- Д. Бартон  
*Как правильно выбрать прецизионный усилитель*.....3
- Д. Брайнт  
*Что может "убить" вашу микросхему?* .....4
- Д. Восворз  
*Перспективы создания мультифункциональных ИМС* .....6
- Я. Биверс  
*Как можно точно измерять крен электронным инклинометром?* .....8
- В. Лiao, Л. Орозко  
*Системы тестирования литий-ионных аккумуляторов большой емкости* .....10
- К. Слаттери, К. Ли  
*Электромагнитные измерители скорости потока жидкости* .....15
- Я. Биверс  
*Обработка широкополосных сигналов в авиокосмических и военных системах* .....19

*ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ*

- В. Охрименко  
*Малогабаритный понижающий преобразователь с выходным током 10 А*.....22
- В. Охрименко  
*Блоки питания и зарядные устройства компании Mean Well мощностью 1.6 кВт* .....24

*ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА*

- В. Охрименко  
*Высокоэффективные светодиоды XLAMP XP-G3 компании CREE* .....29

*ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ*

- В. Охрименко  
*Ограничители напряжения: TVS-диоды* .....33

*КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ*

- В. Охрименко  
*Компоненты двойного назначения компании ADI: ADA4077-2S* .....44

*ГЕНЕРАТОРЫ*

- В. Макаренко  
*Генераторы Microsemi с синхронизацией от GPS*.....46

*МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ*

- В. Макаренко  
*Выбор параметров моделирования и инструментов анализа в NI Multisim* .....52
- В. Макаренко  
*О некоторых особенностях моделей компонентов различных версий NI Multisim* .....56

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ*

- Новые светодиоды компании CREE*.....59
- Слияние компаний Analog Devices и Linear Technology* .....61
- Источники питания Mean Well для архитектурной и ландшафтной светодиодной подсветки* .....62
- Высоковольтный безындуктивный двухканальный понижающий преобразователь от Linear Technology* ....64

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

ASK THE APPLICATIONS ENGINEER

D. Burton  
**Choosing a precision OP AMP? Trust goldilock** .....3  
 J. Bryant  
**Who killed the component?** .....4  
 D. Bosworth  
**Multifunction: a dilemma or reality?** .....6  
 I. Beavers  
**Going full tilt** .....8  
 W. Liao, L. Orozco  
**Accurate analog controller optimizes high-efficiency  
 Li-Ion battery manufacturing** .....10  
 К. Слаттери, К. Ли  
**Electromagnetic flow meters: design considerations  
 and solutions** .....15  
 I. Beavers  
**Process wide bandwidths in aerospace/defense systems**.....19

POWER SUPPLIES

V. Okhrimenko  
**12-V, 10-A, 10-MHz series-capacitor buck  
 converter** .....22  
 V. Okhrimenko  
**New power supply: RSP-1600/RCP- 1600,  
 RCB-1600/RPB-1600** .....24

OPTOELECTRONIC COMPONENTS

V. Okhrimenko  
**CREE XLAMP XP-G3 LEDS** .....29

ELECTRONIC COMPONENTS

V. Okhrimenko  
**Transient voltage suppression diodes** .....33

DUAL-USE COMPONENTS

V. Okhrimenko  
**ADI's dual-use components: ADA4077-2** .....44

GENERATORS

V. Makarenko  
**Oscillators Microsemi synchronization from GPS** .....46

MODELING OF RADIO-ELECTRONIC DEVICES

V. Makarenko  
**The choice of simulation parameters and analysis  
 tools in the NI Multisim** .....52  
 V. Makarenko  
**Some features of component models of different  
 versions of NI Multisim** .....56

BRIEF REPORTS

**New LEDS CREE** .....59  
**The merger of the companies Analog Devices  
 and Linear Technology** .....61  
**Power supplies Mean Well for architectural  
 and landscape led illumination**.....62  
**A non-inductive high-voltage dual channel  
 buck converter from Linear Technology** .....64



**ELECTRONIC  
 COMPONENTS  
 AND SYSTEMS**

July-September 2016  
 No. 3(215)

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. Iliia Brondz,  
 Department of Biology,  
 University of Oslo,  
 Norway

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

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

# КАК ПРАВИЛЬНО ВЫБРАТЬ ПРЕЦИЗИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ \*

## CHOOSING A PRECISION OP AMP? TRUST GOLDLOCKS

Д. Бартон

D. Burton



Как правило, разработчики хотят знать, чем руководствоваться при выборе прецизионного усилителя. Должен ли он быть широкополосным.

Отвечая на эти вопросы, нужно отметить, что усилитель не должен быть слишком быстрым или слишком медленным. Но он должен обеспечивать требуемое усиление и полосу для обеспечения заданной точности, и устойчивости.

Ключевыми характеристиками для voltage feedback операционного усилителя являются его АЧХ и ФЧХ. На рис. 1 приведены такие характеристики для усилителя типа ADA4610 с разомкнутой петлей обратной связи.

Из АЧХ следует, что коэффициент усиления этого усилителя  $A_V$  (без ОС) при этих условиях не менее 30000 или 90 дБ, скорость спада составляет 20 дБ на декаду и единичное усиление достигается на частоте 10 МГц. Отсюда, используя выражение  $A_V \times F = \text{Const}$  (где  $F$  полоса пропускания), можно рассчитать верхнюю частоту линейного участка АЧХ при разных коэффициентах усиления  $A_V$  усилителя с обратной связью (рис. 2).

Эти АЧХ иллюстрируют, что чем выше коэффициент усиления ОУ с обратной связью,

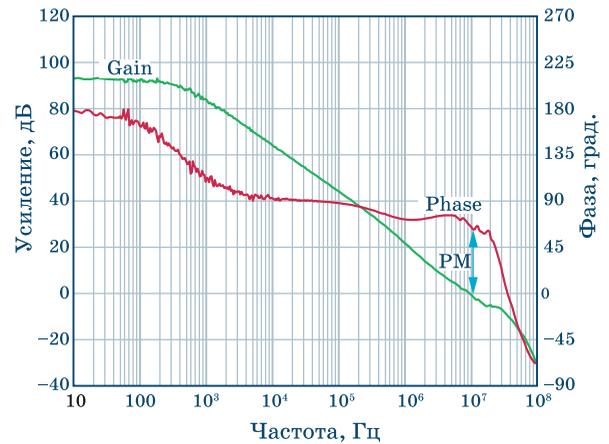


Рис. 1. АЧХ и ФЧХ разомкнутого операционного усилителя

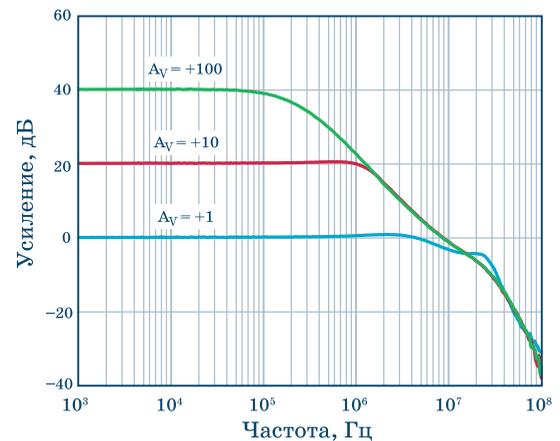


Рис. 2. АЧХ усилителя с обратной связью при разных коэффициентах усиления

тем уже его полоса пропускания. Отметим, что при выборе коэффициента усиления усилителя с обратной связью необходимо иметь достаточный запас по фазе, при которой обеспечивается единичное усиление. Также следует учитывать, что на низких частотах  $A_V$  имеет максимальное значение. С увеличением частоты входного сигнала  $A_V$  уменьшается. Величина  $A_V$  усилителя с обратной связью выбирается из

\* Burton D. Choosing a Precision Op Amp? Trust Goldilocks. Analog Dialogue, 50-08, August, 2016. Сокращенный перевод с английского В.Романова.

следующего выражения

$$A_V = (1/\beta) [1/(1+1/A_{V(\text{без ОС})}\beta)] \approx 1/\beta,$$

где  $\beta$  – коэффициент передачи цепи обратной связи, а  $1/\beta$  – коэффициент усиления усилителя с обратной связью.

Если с ростом частоты входного сигнала уменьшается  $A_V$ , то возникает погрешность усиления, как видно на рис. 2. Выражение для расчета погрешности  $\gamma$  имеет следующий вид

$$\gamma = \{1 - [1/(1+1/A_V\beta)]\} \times 100\%$$

Из этого выражения следует, что чем больше глубина обратной связи, т.е. больше  $\beta$ , тем меньше погрешность. Ниже приведена таблица сравнительных параметров, которая поясняет этот вывод.

Исходя из сравнительных параметров усилителей с разными коэффициентами усиления, мы можем сделать опрометчивый вывод о том, что прецизионный усилитель следует выбирать с широкой полосой и большим коэффи-

Зависимость погрешности  $A_V$  от глубины обратной связи  $\beta$

$A_V$ на постоянном токе, дБ	$A_V$ , дБ	$1/\beta$ , дБ	$A_V$ , отн. ед.	$\gamma$ , %
100	60	40	1000	0.1
100	80	20	10000	0.01

циентом усиления. Однако на высоких частотах растет уровень высокочастотных шумов, появляются паразитные емкости, которые могут уменьшить необходимый запас по фазе, что может привести к потере устойчивости усилителя. Кроме того, чем шире полоса пропускания усилителя, тем больше его потребление и выделение тепла, которое тоже приводит к уменьшению точности усилителя.

Поэтому при использовании прецизионного усилителя следует руководствоваться здравым смыслом в выборе его полосы пропускания и коэффициента усиления и соблюдать необходимый баланс между этими параметрами.

## ЧТО МОЖЕТ «УБИТЬ» ВАШУ МИКРОСХЕМУ? \*

Д. Брайнт

WHO KILLED THE COMPONENT?

J. Bryant

Как правило, на этот вопрос отвечают следующим образом: либо со временем произошла деградация ИМС, либо она вышла из строя в результате стрессового воздействия.

В результате старения происходит деградация ИМС под действием физических и химических изменений. Так, например, в пленочных конденсаторах в результате химических реакций в диэлектрике происходит пробой. В ИМС, выполненных по субмикронной технологии, происходит неконтролируемая миграция зарядов особенно с ростом температуры окружающей среды, что тоже увеличивает вероятность отказа. При высокой влажности ускоряется окисление пленочных резисторов, это

приводит к изменению их сопротивления. Исходя из выше изложенного, при выборе того или иного компонента необходимо изучить механизм его отказов как в идеальных условиях, так и в условиях эксплуатации. Обычно компании-производители указывают допустимые сроки эксплуатации выпускаемых ими электронных компонентов. Отметим, что многие электронные компоненты работают более 10 лет без отказов, но встречаются и такие, которые выходят из строя даже при непродолжительной эксплуатации из-за стрессовых воздействий.

Прежде всего, разработчики должны внимательно изучить условия эксплуатации про-

\* Bryant James. *Who Killed the Component? Analog Dialogue*, 50-06, June, 2016. Сокращенный перевод с английского В. Романова.

ектируемого изделия. Для электронных компонентов одинаково опасны морская туман, выдыхаемый человеком или животным воздух, бытовые испарения в домашней кухне и т.п. Все перечисленные стрессовые воздействия могут со временем привести к разрушению электронного компонента, поэтому при проектировании изделия разработчики должны предусмотреть для него надежную защиту от потенциальных стрессовых факторов. Часто разработчики забывают предусмотреть достаточную защиту от электрического разряда. Такую защиту легко обеспечить при проектировании печатной платы, но это, как правило, увеличивает ее стоимость, поэтому необходимые меры по защите от электростатики иногда игнорируются на этапе проектирования такой платы. Другим распространенным фактором, который приводит к разрушению микросхемы, является перенапряжение. Пленочные резисторы имеют допустимую величину перенапряжения не более 30-40 В, в отличие от обычных резисторов, допустимое перенапряжение для которых составляет 100 В и более. Большой ток в электронных компонентах тоже может привести к отказу. В условиях высокой плотности расположения элементов в ИМС повышение рабочего тока приводит к перегреву и, как следствие, к разрушению ИМС. Это связано с тем, что сверхтонкие проводники ИМС в результате миграции зарядов становятся со временем еще тоньше и в результате перегрева, вызванного протекающим в них током, разрушаются. Общая причина повышения тока заключается в использовании в изделии конденсаторов большой емкости, которые имеют

большой ток заряда. Так, например, если емкость конденсатора равна 1 мкФ, сопротивление выводов 1 Ом, и он подключен к источнику напряжения 110 В частотой 60 Гц, то среднее значение тока заряда будет равно 41 мА. Но если конденсатор подключен к шине на короткое время, максимальные (пиковые) значения напряжения составляет уже  $110 \times \sqrt{2} = 155.6$  В, а ограничение тока обеспечивается сопротивлением выводов конденсатора, которое составляет не более 1 Ом. В этом случае зарядный ток в течение нескольких микросекунд достигает величины 155.6 А. Этого достаточно, чтобы под воздействием такого тока вышли из строя электронные компоненты в проектируемом изделии. Именно так проектируются недорогие импульсные источники питания, используемые для подзарядки портативных электронных устройств. Поэтому в цепь заряда конденсатора таких устройств необходимо включать резистор, надежно ограничивающий пиковый ток заряда.

В заключение отметим, для того, чтобы предотвратить выход из строя электронных компонентов под воздействием электростатического электричества или перенапряжения в законченном изделии с высокими требованиями к надежности, необходимо изучить возможные механизмы отказов используемых в нем компонентов, выявить возможные источники стрессовых воздействий (как внешних, так и внутренних) и предусмотреть необходимые меры по защите этих компонентов в процессе изготовления и эксплуатации проектируемого изделия.

**VD MAIS**  
Разработка и серийное производство электроники



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

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

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

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



- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 1,5 млн в сутки)
- автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
- монтаж прототипов печатных плат
- 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
- изготовление опытных образцов изделий
- мелко- и крупносерийное производство
- 10-летний опыт контрактного производства
- гарантия качества

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

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

## ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИМС \*

Конечной целью для нового поколения систем космического, военного, телекоммуникационного назначения является создание общей аппаратной платформы с программно перестраиваемой архитектурой. Примеры таких платформ на базе универсальных микросистемных компонентов рассмотрены в настоящей публикации.

Д. Босворз



Новое поколение авиационных и космических систем, систем военной техники будет представлять собой многофункциональные изделия, объединяющие функции, которые до последне-

го времени выполнялись в соответствии с требованиями разных стандартов. Вместо разных аппаратных платформ будут использоваться универсальные аппаратные платформы, что позволит уменьшить вес, габариты, мощность потребления новых изделий в целом. Новое поколение высококачественных и широкополосных микросистемных компонентов сможет обеспечить требования, ранее предъявляемые к системам различного назначения.

Конечная цель для будущих систем – возможность их создания программным путем на общей элементной базе без перепроектирования. Это позволит изменять параметры систем не только в процессе производства, но и в процессе эксплуатации. С этой целью в систему закладывается расширенный набор режимов и функций. Это означает, что заложенные в компоненты свойства предназначаются для реализации большого набора разных функций.

Примером таких технологий военного назначения является совмещение в одной систе-

### MULTIFUNCTION: A DILEMMA OR REALITY?

**Abstract** – The ultimate for many future systems (aerospace, defense, radar, communication) is a completely software determined architecture. Examples of such systems are considered.

D. Bosworth

ме функции радиолокатора и связи на основе общей аппаратной платформы. Радиолокационные системы ориентированы на измерение сигналов, а телекоммуникационные – на передачу сигналов. Первые работают в узкой полосе частот, вторые – в широкой. К каждой из систем предъявляются разные требования. Все приведенное относится и к элементной базе этих систем. В таблице представлены параметры широкополосных и узкополосных систем ФАПЧ с встроенным ГУН. Как следует из таблицы, узкополосная ИМС типа HMC837 имеет лучшие параметры по сравнению с многофункциональной ИМС типа ADF4351, но это является платой за специализацию этой ИМС, ориентированную на выполнение одной конкретной задачи.

Несмотря на то, что создание конкретных систем на базе многофункциональных компонентов является несколько избыточным, появление перспективных радиочастотных и микроволновых ИМС, таких как быстродействующие АЦП и другие, позволяет надеяться, что такая избыточность в будущем себя оправдает. Субмикронные CMOS и кремниевогерманиевые технологии уже в настоящее время позволяют существенно увеличить функциональные возможности многих компонентов, приблизить параметры универсальных широкополосных ИМС к параметрам специализированных узкополосных ИМС.

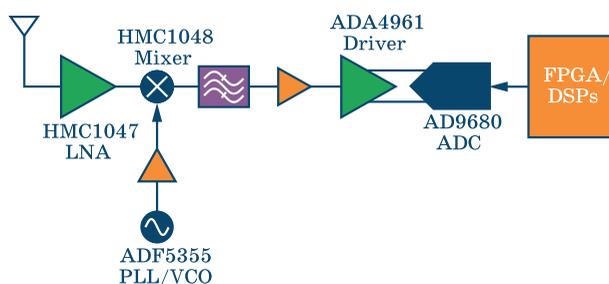
На рис. 1 приведена функциональная схема универсального широкополосного приемника,

\* Bosworth D. Multifunction: a Dilemma or Reality? [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

## Сравнительные параметры широкополосной и узкополосной ИМС ФАПЧ с встроенным ГУН

Наименование параметра	ADF4351, широкополосная ИМС ФАПЧ с ГУН	НМС837, узкополосная ИМС ФАПЧ с ГУН
Полоса частот, ГГц	0.035 – 4.4	1.025 – 1.150
Добротность ФАПЧ, дБн/Гц	-221	-230
ГУН на частоте 100 кГц, дБн/Гц	-114	-120
ГУН на частоте 1 МГц, дБн/Гц	-134	-147
Размеры, мм	5×5	6×6
Потребляемая мощность, мВт	370	168

построенного на использовании ряда новых ВЧ- и СВЧ-компонентов.



**Рис. 1. Функциональная схема универсального широкополосного приемника**

Отметим, что эти ИМС должны быть дополнены фильтрами, усилителями и другими компонентами, чтобы полностью реализовать многофункциональную архитектуру. При этом не должна быть утрачена возможность построения на основе таких решений узкополосных и сверхузкополосных систем.

Первыми в цепи таких компонентов для многофункциональных систем являются усилители с низким уровнем шумов (low noise amplifier – LNA) и смесители, выполненные на основе арсенид-галлиевой технологии, ИМС аналоговых интерфейсов на основе арсенида- и нитрида-галлия пока еще находятся в стадии разработки. Вместе с тем ИМС ФАПЧ типа НМС1049 и НМС1048 уже сейчас отвечают требованиям многофункциональности и позволяют создавать на своей основе как узкополосные, так и широкополосные системы. Ниже рассмотрим другие компоненты, которые отвечают требованиям многофункциональности.

ИМС ФАПЧ с ГУН типа ADF5355 для частотного диапазона 54 МГц – 13.6 ГГц, выполненная по кремниво-германиевой технологии

и предназначенная для построения широкополосного синтезатора, имеет в своем составе четыре отдельных ядра ГУН, каждый из которых покрывает 256 диапазонов. Выбор ГУН в составе ИМС ADF5355 осуществляется автоматически, причем данная микросхема может работать как на одной частоте, так и в широкой полосе частот. Фазовый шум ГУН на частоте 1 МГц составляет -138 дБн/Гц, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к узкополосным системам.

ИМС драйвера АЦП типа ADA4961 отличается широкой полосой пропускания и линейностью, содержит SPI-интерфейс. Интермодуляционные искажения третьего порядка IMD3 этой ИМС на частоте 500 МГц составляют -90 дБн, а на частоте 1.5 ГГц – -87 дБн.

Хотя перечисленные ИМС предназначены в первую очередь для цифровых приемников, но дополненные новыми ИМС ЦАП с встроенными интерполяторами и повышающими преобразователями частоты (которые уже освоены в производстве) эти многофункциональные ИМС могут быть использованы для построения и цифровых передатчиков.

В заключение рассмотрим особенности радиочастотной ИМС типа AD9361, которая сочетает в себе множество аналоговых и цифровых функций. Микросхема AD9361 поддерживает прямое цифровое преобразование, цифровую фильтрацию, включая функции калибровки. Частота входных сигналов составляет от 70 МГц до 6 ГГц, полоса – 56 МГц. Фактически одна и та же ИМС (AD9361) может быть использована и в системах локации, и в системах связи, в каналах передачи данных, системах радиоэлектронного наблюдения и подавления сигналов. Причем изменение конфигурации этой ИМС под конкретную задачу осуществ-

ляется программным путем, не требующим аппаратного перепроектирования.

### ВЫВОДЫ:

Появление и освоение новых технологий – субмикронных кремниевых, кремниво-германиевых, арсенид-галлиевых и других, поз-

волит в недалеком будущем создавать многофункциональные системы, ориентация которых на определенную заранее или заданную разработчиком в процессе эксплуатации функцию, будет осуществляться программным путем без дополнительного перепроектирования аппаратуры.

## КАК МОЖНО ТОЧНО ИЗМЕРЯТЬ КРЕН ЭЛЕКТРОННЫМ ИНКЛИНОМЕТРОМ? \*

Я. Биверс

GOING FULL TILT

I. Beavers



Можно ли увеличить точность и повторяемость измерения крена, используя параллельно несколько инклинометров компании Analog Devices типа ADIS16209?

Теоретически на этот вопрос можно ответить утвердительно, если усреднить показания нескольких сенсоров. Однако справедливость этого утверждения основана на предположении, что корреляция между погрешностями разных сенсоров отсутствует, а погрешности сенсоров носят случайный характер. На практике, к сожалению, все не так просто. Ниже изложены соображения, позволяющие оценить степень увеличения точности крена при использовании одновременно нескольких ин-

клинометров.

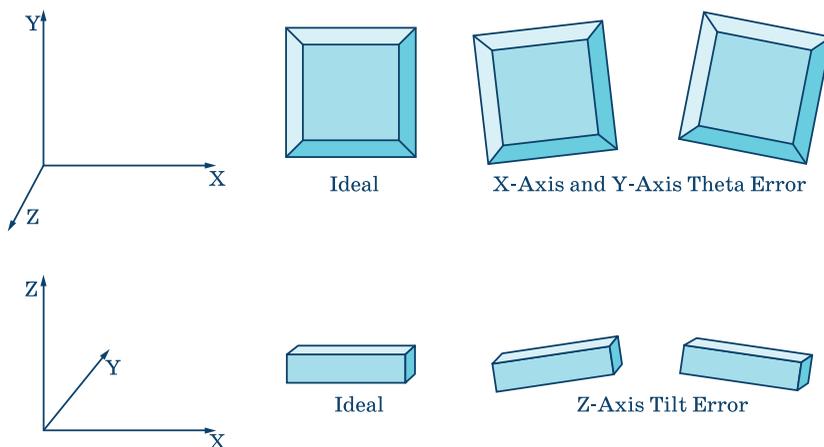
Так, например, усреднение с помощью микроконтроллера выходных данных двух инклинометров позволяет уменьшить уровень случайного шума в  $\sqrt{2}$  раз. За счет увеличения числа выборок с последующим усреднением можно увеличить точность в 2 раза. Если использовать четыре инклинометра с погрешностью 0.1%, то общую погрешность измерения крена теоретически можно уменьшить до 0.25%, однако это, как правило, не происходит по следующим причинам.

Во-первых, для этого все инклинометры должны иметь на входе одинаковые, пропорциональные крену сигналы, что достигается идеальной ориентацией осей каждого из них. Разброс в изготовлении печатной платы для каждого сенсора не позволяет обеспечить идеальное расположение на объекте одновременно всех инклинометров. Это связано с разной толщиной каждой платы, разбросом в пайке каждого сенсора и т.п.

Во-вторых, углы отклонения, измеряемые каждым инклинометром, должны быть согласованы (практически равны между собой).

В-третьих, сенсоры из-за разброса параметров при изготовлении имеют разные систематические погрешности измерения крена, которые не могут быть уменьшены путем усредне-

\* Beavers I. Going Full Tilt. Analog Dialogue, 50-07, July, 2016. Сокращенный перевод с английского В. Романова.



**Влияние погрешности расположения параллельных (типа ADIS16209) и трехосных инклинометров на точность измерения отклонения от осей  $x$ ,  $y$  и  $z$**

ния. Отметим, что разброс погрешностей для каждого типа сенсора указан в технической документации.

Таким образом, параллельное включение

инклинометров может обеспечить увеличение точности измерения крена, однако практические преимущества такого включения, как правило, далеки от теоретически возможных.

[ 20 лет на рынке печатных плат ]

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- проектирование
- производство

**НПФ VD MAIS предлагает:**

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

**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@vdmais.ua, www.vdmais.ua

## СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ \*

### ACCURATE ANALOG CONTROLLER OPTIMIZES HIGH-EFFICIENCY LI-ION BATTERY MANUFACTURING

В статье рассмотрены системы тестирования литий-ионных аккумуляторных батарей для электромобилей.

Abstract - Electrical testing systems of high-power Li-Ion batteries for electric vehicles are considered.

В. Лиао, Л. Орозко

W. Liao, L. Orozco

Развитие производства гибридных автомобилей и электромобилей предъявляет высокие требования к характеристикам литий-ионных аккумуляторных батарей. Кроме того, ион-литиевые батареи широко используются в портативных компьютерах, мобильных телефонах, цифровых камерах и других портативных устройствах. Однако к литий-ионным батареям для электромобилей, а отличие от портативных устройств, представляются высокие требования по электроемкости, которая уже сейчас составляет не менее сотен ампер-часов. Такие батареи могут состоять из множества элементов небольшой емкости и большой емкости. Число элементов может составлять несколько тысяч а масса их составляет 500 кг и более.

Технологический процесс производства литий-ионных аккумуляторных батарей представлен на рис. 1.

Сборка отдельных элементов в батарею и ее тестирование являются одним из узких мест в производственном процессе. Эти процессы

определяют качество и срок жизни батареи. Сборка элементов в батарею может составлять десятки часов в зависимости от ее типа. Для полного разряда и заряда батареи, как правило используются ток, равный  $0.1C$ , где  $C$  – емкость отдельного элемента. Конечная стадия технологического процесса, рис. 1, составляет 20-30% от стоимости батареи. При тестировании батареи, как правило, используется ток заряда, равный  $1C$  и ток разряда, равный  $0.5C$ , причем процесс заряда-разряда занимает один и два часа соответственно. Отметим, что при тестировании батареи используется несколько циклов заряда-разряда. Параметры тока и напряжения заряда-разряда батареи при тестировании поддерживаются с точностью не менее  $\pm 0.5\%$ . Для сравнения те же параметры для заряда аккумуляторных батарей в процессе эксплуатации поддерживаются на уровне  $\pm 0.5\%$ . На рис. 2 приведен типовой график цикла заряда-разряда литий-ионного аккумулятора.

При производстве аккумуляторных батарей

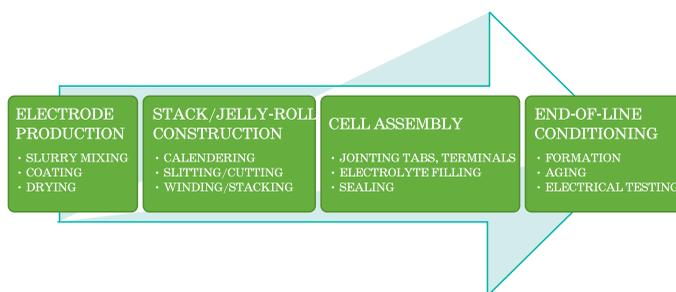
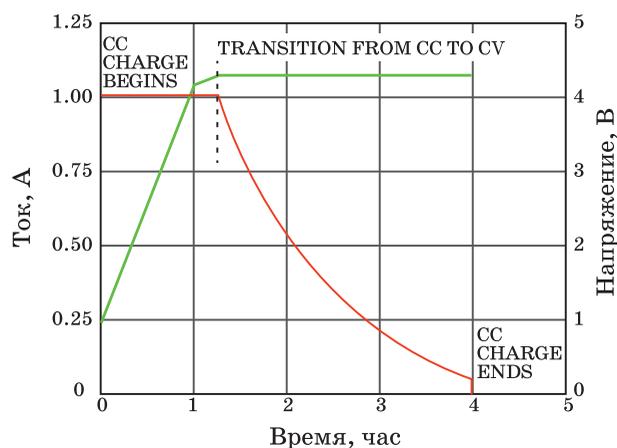


Рис. 1. Схема технологического процесса производства аккумуляторных батарей

\* Liao W., Orozco L. Accurate Analog Controller Optimizes High-Efficiency Li-Ion Battery Manufacturing. Analog Dialogue 48-08, August 2014, [www.analog.com](http://www.analog.com). Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



**Рис. 2. Типовые циклы заряда-разряда литий-ионного аккумулятора**

необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на продвижение их на рынок: КПД, точность параметров, стоимость, размеры, простоту эксплуатации. Для обеспечения высокой точности токов и напряжений при производстве аккумуляторных батарей разработчики используют линейные стабилизаторы напряжения для заряда-разряда батареи. Для батарей небольшой емкости это приемлемое решение, однако при производстве батарей большой емкости, как правило, используется импульсные источники тока заряда. Производительность при импульсной технологии при ем-

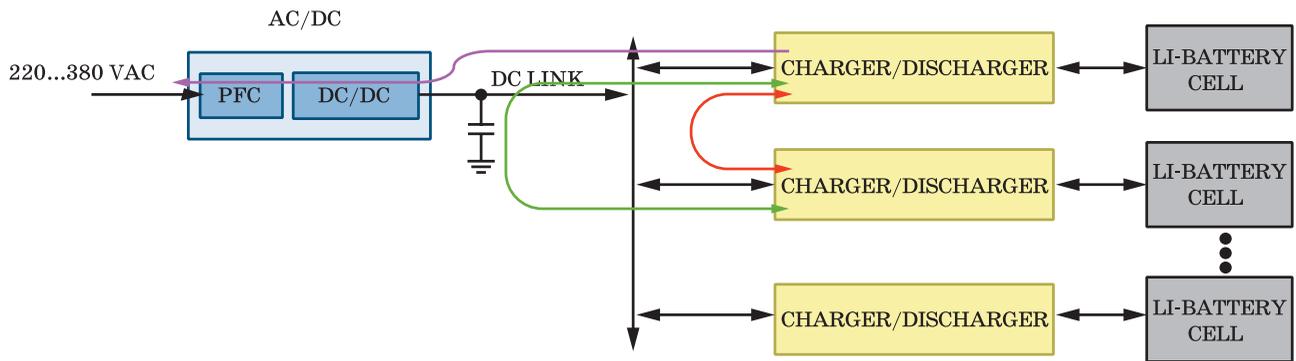
кости батареи 3 А/час и более существенно выше чем при линейной технологии заряда-разряда. В табл. 1 приведены сравнительные параметры аккумуляторных батарей при разных технологиях тестирования.

Лучшие методы тестирования заключаются в использовании разрядного тока одних элементов батареи для заряда других ее элементов. Такой эффективный метод тестирования невозможен без использования системы высокоточного управления и контроля. Структурные схемы реализации метода тестирования с отдельным циклом заряда-разряда представлены функциональной схемой, рис. 3. Разделение циклов может быть обеспечено тремя способами: между отдельными элементами батареи (красная цепь, рис.3), через шину постоянного тока (dc Link – зеленая цепь, рис. 3) и через электросеть (бордовая цепь, рис. 3). Это наиболее гибкое, недорогое и эффективное решение с К.П.Д. не менее 90 %. Однако контур управления как по току и напряжению должен иметь малую погрешность, быть стабильным во времени и при изменении температуры.

Для этого рекомендуется использовать принудительный отбор тепла. В связи с использованием импульсных стабилизаторов важно максимально ослабить пульсации в контуре управления и использовать предварительную калибровку параметров цепей заряда-разряда.

**Таблица 1. Сравнительные параметры аккумуляторных батарей при разных технологиях тестирования**

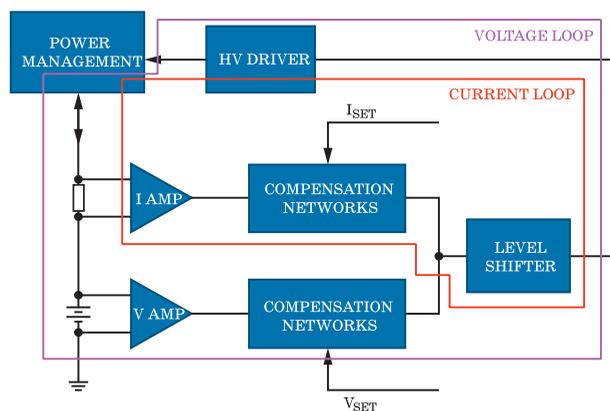
Размеры батареи	Малые	Средние	Большие
Емкость, А/час	меньше 2	10-15	30-100
Применение	мобильные телефоны, цифровые камеры, видеокамеры	ноутбуки	электромобили, гибридные автомобили, мотороллеры
Число каналов	~ 512	~ 768	16-64
Особенности	малый температурный и временной дрейф напряжения	высокая точность напряжения при изменении температуры и во времени	высокая точность напряжения при изменении температуры и во времени, перераспределение токов
Технология тестирования	линейная невысокая производительность	линейная и импульсная	импульсная, высокопроизводительная с отдельными циклами заряда-разряда



**Рис. 3. Импульсная система циклического заряда-разряда элементов литий-ионного аккумулятора**

Как видно из рис. 4, система с отдельным циклом заряда-разряда имеет два контура управления – по току и напряжению. Для элементов питания, используемых в аккумуляторах электромобиля, важно обеспечить нарастание тока с большой скоростью, так как от скорости нарастания тока зависит стартовая скорость автомобиля. Система тестирования содержит четыре контура разряда-заряда: контур постоянного тока (constant current – CC) заряда, контур постоянного тока (CC) разряда, контур постоянного напряжения (constant voltage – CV) заряда и контур постоянного напряжения (CV) разряда. Эти контуры могут быть аналоговыми или аналого-цифровыми, рис. 5.

Если в системе тестирования используется аналого-цифровой контур, он как в цепи заря-

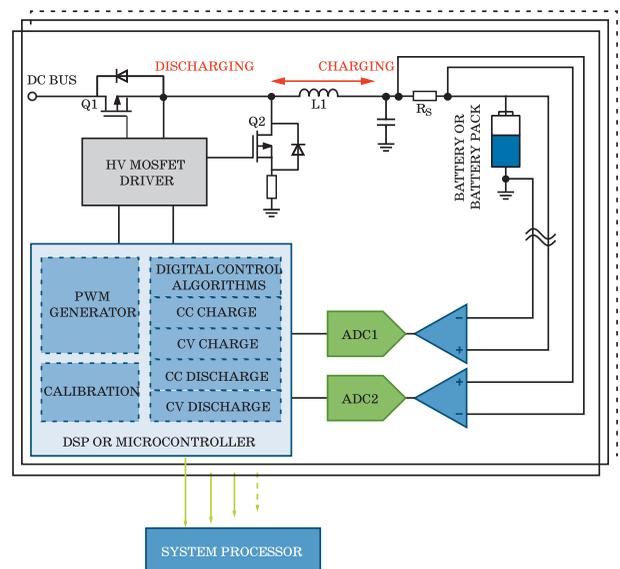


**Рис. 4. Контур управления по току и напряжению системы тестирования элементов литий-ионного аккумулятора**

да, так и в цепи разряда содержит АЦП, частота выборки которого не менее чем в 10 раз должна превышать верхнюю частоту частотно-

го диапазона данного контура, что составляет не менее 250 кГц, а точность АЦП должна быть не менее 16 бит, так как от точности АЦП зависит точность тестирования элемента батареи. Таким образом, в многоканальной системе тестирования используется множество АЦП и микроконтроллер с высокой производительностью для генерации ШИМ-сигналов, управляющих процессами заряда-разряда. К такому контуру предъявляются высокие требования к качеству ШИМ-сигналов. Дрожание фронтов таких сигналов должно быть сведено к минимуму.

Альтернативной аналого-цифровому конту-



**Рис. 5. Схема аналого-цифрового контура управления**

ру является аналоговый контур управления (рис. 6).

В этом контуре два ЦАП задают контроль-



**Таблица 2. Сравнительные характеристики аналогового и аналого-цифрового контуров управления**

Тип Параметры	Аналого-цифровой контур	Аналоговой контур	Преимущества аналогового контура
Частотный диапазон	20 кГц, АЦП с частотой выборки 250 кГц	Полоса усилителя 1.5 МГц, $K_y = 66$	Более высокая скорость тестирования
Погрешность	0.05%, зависит от точности АЦП	0.04%, зависит от точности аналогового контура	Более высокая точность
Частота коммутации	Зависит от производительности, наличие дрожания фронтов	Свыше 300 кГц, зависит от быстродействия генератора ШИМ-сигналов, дрожание фронтов отсутствует	Ниже стоимость реализации
Производительность	Зависит от соотношении частот повышающего и понижающего стабилизаторов	90%	Более высокая производительность
Сложность и стоимость компонентов	Дорогие, большой сложности, большие размеры	Недорогие, простые, с малыми размерами	Меньшие размеры, ниже стоимость
Совместное использование АЦП в контурах	Невозможно, дорогой биполярный АЦП	Возможно, недорогой однополярный АЦП	Ниже стоимость АЦП, возможно совместное использование
Обобщенная характеристика	Дорогие ИМС, сложное программное обеспечение	Недорогие ИМС, специальное программное обеспечение отсутствует	Недорогой, более высокие параметры

на проведение калибровки следует, во-первых, по возможности поддерживать постоянство температуры в помещении, в котором тестируют аккумуляторные батареи, и, во-вторых, выбирать компоненты для системы тестирования, в частности, для контуров управления с минимальным температурным дрейфом основных параметров.

Используемый в контуре управления аналоговый интерфейс AD8450 поддерживает перераспределение токов при тестировании элементов батареи большой емкости. Например, если в батарее имеется три канала напряжения 5 В с выходным до 20 А, можно их объединить в один канал стоком в 60 А. для этого к ИМС AD8450 необходимо добавить несколько пассивных компонентов.

## ВЫВОДЫ

1. Системы тестирования аккумуляторных батарей для электромобилей отличаются высокой сложностью, причем стоимость процесса тестирования может достигать 20% от стоимости батареи.

2. Для упрощения, снижения стоимости и повышения производительности систем тестирования аккумуляторных батарей для электромобилей используются аналоговые системы управления и контроля, выполненные на основе аналоговых интерфейсов семейства AD845x и генераторов ШИМ-сигналов семейства ADP197x компании Analog Devices.

3. Такие системы имеют КПД не менее 90% и погрешность не более 0.05%.

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ \*

**В** настоящей публикации рассмотрен электромагнитный метод измерения скорости потока жидкости.

К. Слаттери, К. Ли

## ELECTROMAGNETIC FLOW METERS: DESIGN CONSIDERATIONS AND SOLUTIONS

Abstract - **T**he electromagnetic method of measuring the volume flow is considered.

C. Slattery, K. Li

Одним из основных применений измерителей скорости потока является измерение скорости потоков городских стоков. Это необходимо для эффективной защиты окружающей среды, своевременной очистки воды от нечистот и т.п. Измерители скорости потока являются неотъемлемой частью многих промышленных производств пищевой, химической, фармацевтической, деревообрабатывающей и бумажной промышленности. Применение измерителей скорости потока в перечисленных отраслях промышленного производства должно обеспечивать измерение скорости потоков с большим включением твердых фракций. Высокая точность измерения скорости потока необходима в нефте- и газопроводах, т.к. увеличение погрешности измерения может привести к существенным финансовым потерям. В измерителях скорости потока жидкостей используются как контактные, так и бесконтактные сенсоры. Электромагнитные сенсоры для измере-

ния скорости потока малочувствительны к изменению плотности жидкости, ее температуры, скорости и давления. Если такой сенсор откалиброван в водной среде, он может быть использован для измерения скорости жидкости любого типа. Такие сенсоры пригодны для измерения скорости жидкости с твердыми частицами, тканевыми фракциями, которые отличаются малой электрической проводимостью. Структурная схема предприятия по очистке воды с использованием измерителей скорости потока приведена на рис. 1.

Принцип работы электромагнитного измерителя скорости потока показан на рис. 2. Согласно закону Фарадея, если проводящая жидкость протекает через магнитное поле, то электромагнитная сила будет пропорциональна объему потока и направлена перпендикулярно по отношению к этому потоку. Выражение для электромагнитной силы имеет вид

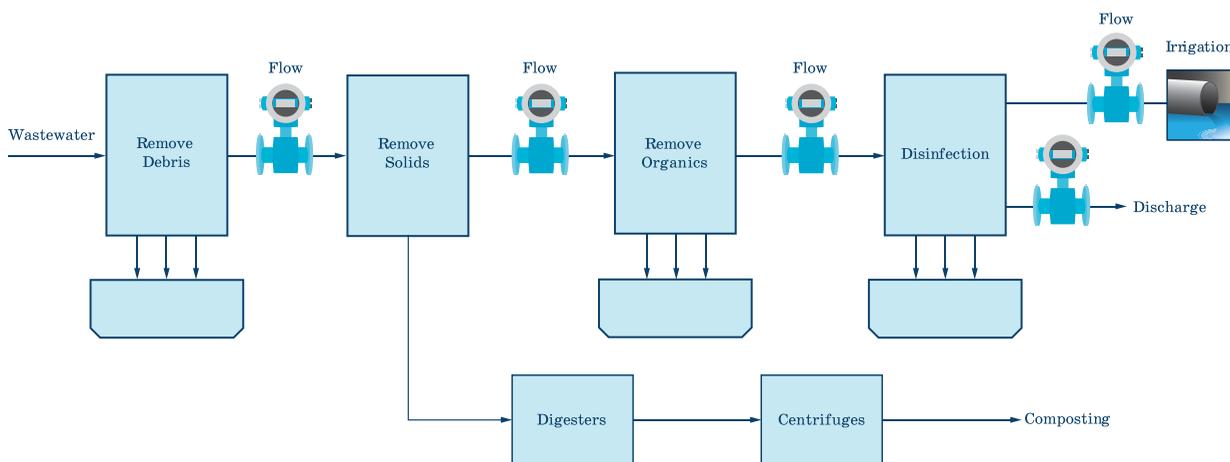
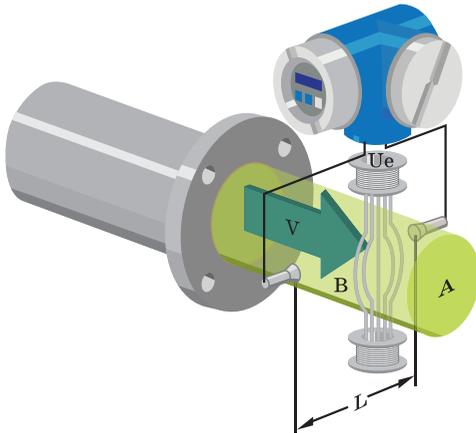


Рис. 1. Структура типового предприятия по очистке воды

\* Slattery C., Li K. *Electromagnetic Flow Meters: Design Considerations and Solutions. Analog Dialogue*, 50-06, June, 2016. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

$$E = kB D v,$$

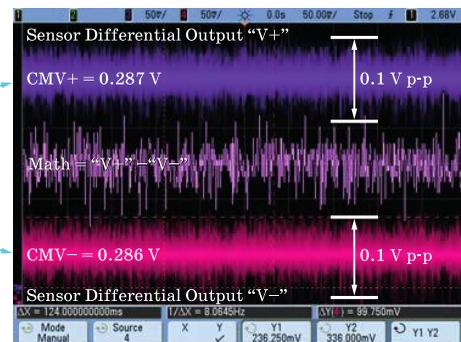
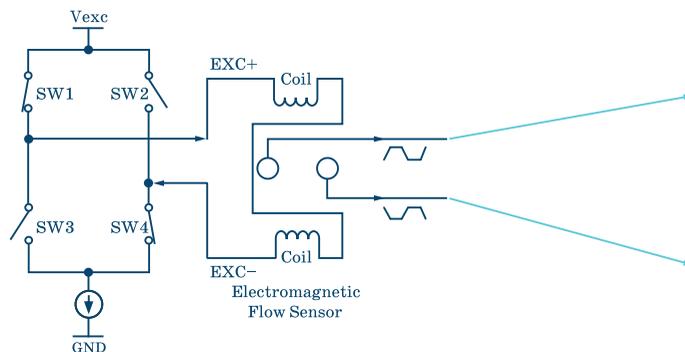
где  $E$  – наведенный электрический потенциал,  $k$  – константа,  $B$  – магнитный поток,  $D$  – внутренний диаметр трубы,  $v$  – средняя скорость потока в направлении, перпендикулярном электродам.



**Рис. 2. Принцип работы типового электромагнитного измерителя скорости потока жидкости**

Типовой электромагнитный сенсор имеет дифференциальный выход. Чувствительность такого сенсора – не менее 200 мкВ/м/с, таким образом, если скорость потока находится в пределах от 0.5 до 15 м/с, выходной сигнал будет находиться в пределах 4...6 мВ. На рис. 3 показан выходной сигнал сенсора, к которому приложен постоянный ток возбуждения и который измеряет скорость потока жидкости в трубе.

На осциллограмме, рис.3, видно, что сигнал на выходе сенсора имеет низкий уровень. Схема типового аналогового интерфейса для

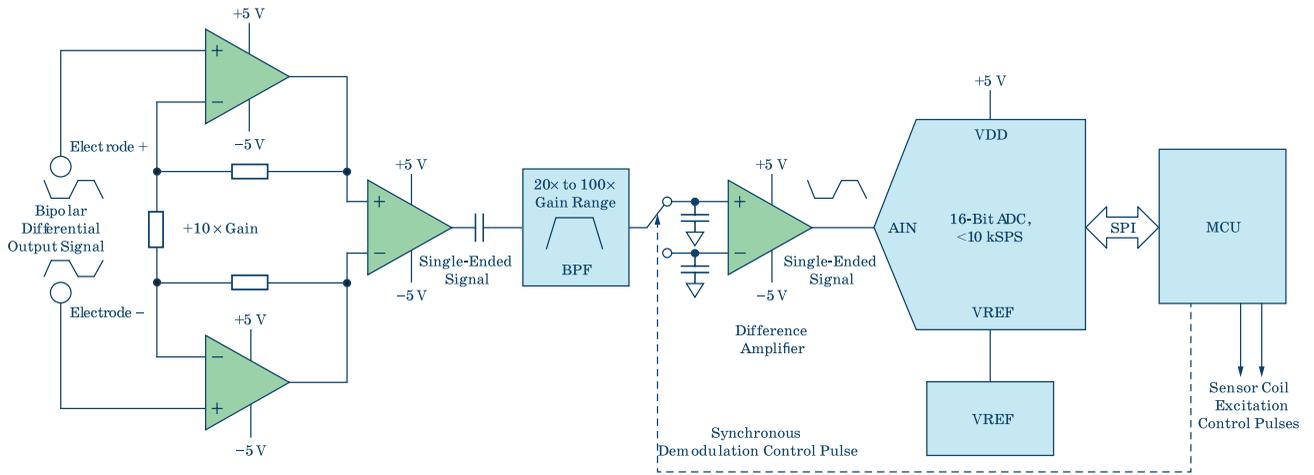


**Рис. 3. Выходной сигнал электромагнитного сенсора (на функциональной схеме и осциллограмме)**

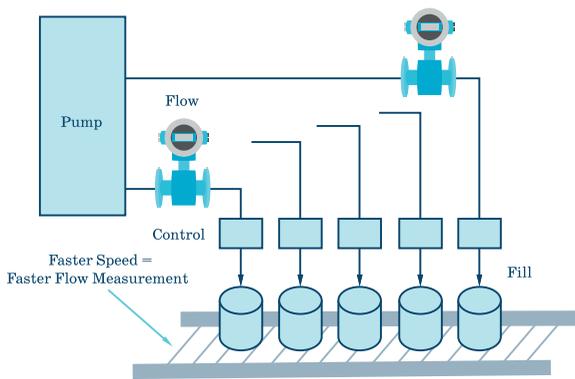
усиления выходного сигнала сенсора приведен на рис. 4. Интерфейс включает измерительный усилитель и полосовой фильтр, который устраняет постоянную составляющую, после чего симметричный сигнал с выхода сенсора преобразуется в несимметричный, кодируется 16-разрядным АЦП и обрабатывается в микроконтроллере. Для увеличения производительности производственного процесса может быть использована параллельная схема, рис. 5, с большим числом измерителей скорости потока жидкости.

Применение новой элементной базы, рис. 6, позволяет упростить схему аналогового интерфейса. Следует отметить, что электроды, изготовленные из разных материалов, должны быть хорошо согласованы. Иначе на выходе сенсора кроме полезного сигнала будет присутствовать напряжение поляризации, величина которого может составлять от десятков милливольт до единиц вольт. В этом случае на входе аналогового интерфейса используют предусилитель с большим коэффициентом ослабления синфазного сигнала (КОСС), рис.7. Отметим, что высокий КОСС необходимо поддерживать в широкой полосе частот. Оптимальным выбором предусилителя является ИМС AD8220, зависимости КОСС которого от частоты и коэффициента усиления приведена на рис.8.

Для уменьшения уровня шума на выходе сенсора желательно в измерительном канале сенсора использовать АЦП со сверхвыборкой, причем частота выборки такого АЦП должна составлять не менее 20 кГц. Зависимость уровня шума от частоты выборки для измерительного канала в составе усилителя AD8220 и АЦП AD7172-2 приведена на рис.9.

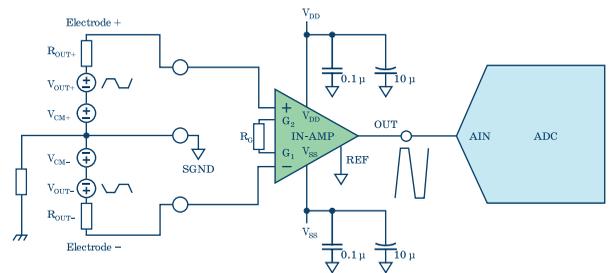


**Рис. 4. Традиционная схема аналогового интерфейса для измерителя скорости потока жидкости**



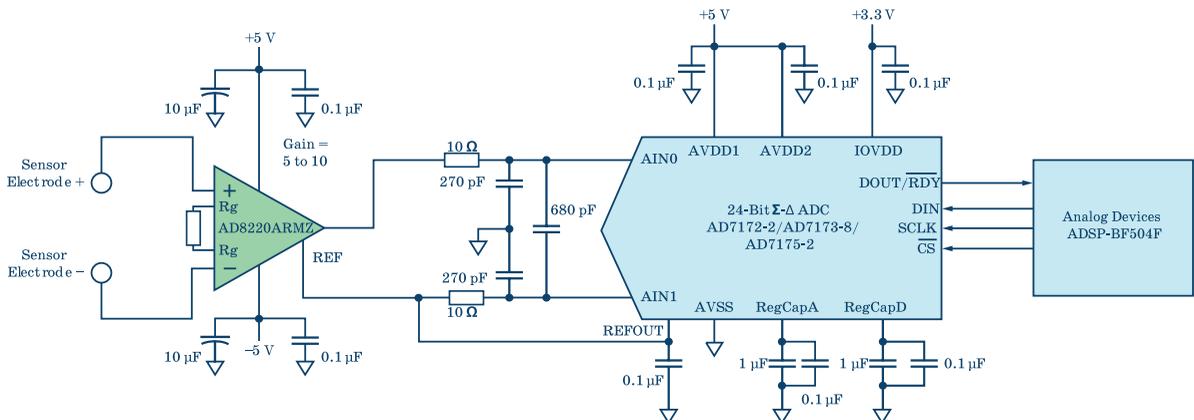
**Рис. 5. Параллельная схема измерения скорости потока жидкости**

Компания Analog Devices разработала демонстрационную плату измерителя скорости потока жидкости с электромагнитным датчиком типа DN25. Плата протестирована при из-



**Рис. 7. Ослабление синфазного сигнала на входе измерительного канала измерителя скорости потока жидкости**

мерении скорости потока воды в трубе диаметром 25 мм при комнатной температуре. Скорость потока воды изменялась от 0.5 до 2 м/с, погрешность измерения не превышала  $\pm 0.2\%$ .



**Рис. 6. Принципиальная схема измерителя скорости потока жидкости со сверхвыборкой**

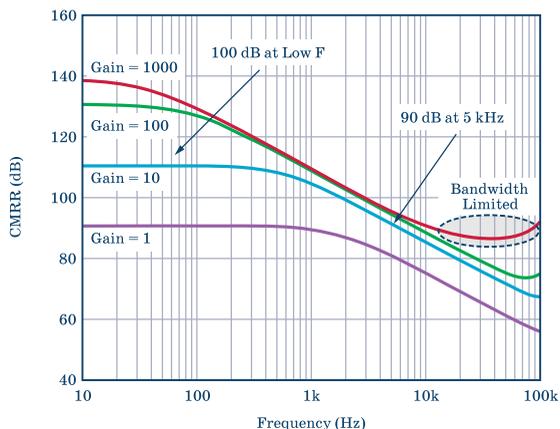


Рис. 8. Зависимость КОСС от частоты входного сигнала усилителя AD8220

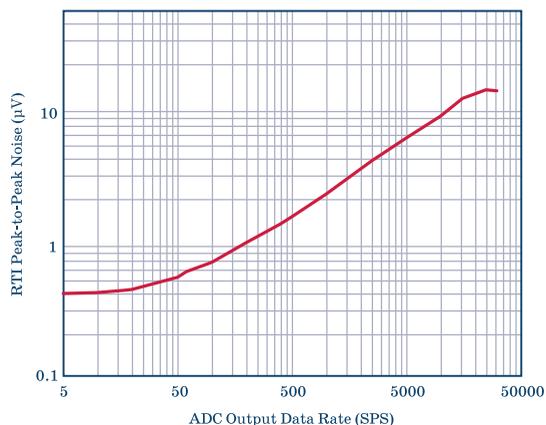


Рис. 9. Зависимость приведенного к входу шума в зависимости от частоты сверхвыборки

**ВЫВОДЫ**

1. Электромагнитные измерители скорости потока жидкости широко применяются в промышленном производстве и в системах очистки бытовых отходов. Традиционная архитектура таких измерителей включала множество аналоговых узлов.

2. Наличие разных типов жидкостей и большого диапазона диаметров труб привело к необходимости создания типовых решений для построения электромагнитных измерителей скорости потока жидкостей.

3. Компания Analog Devices разработала типовые решения таких измерителей с минимальным числом аналоговых компонентов.

**Han® B Connector Housing –**  
корпус соединителя с высокой степенью защиты от воздействия окружающей среды, соответствующей классу IP67.

**Оптимальная защита. Минимум усилий при сочленении. Универсальность применения.**

- простота монтажа, соответствие изоляции классу защиты IP67
- специальное фланцевое уплотнение с использованием перегородок между группами контактов
- подтвержденное результатами испытаний высокое контактное давление при минимуме усилий сочленения, достигнутое благодаря использованию фиксирующих рычагов HARTING Han-Easy Lock®
- простота сборки с фиксацией положения отдельных групп контактов размерами Han® 6 В, 10 В, 16 В и 24 В

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

People | Power | Partnership

**VD MAIS – официальный дистрибьютор компании HARTING в Украине**  
тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

## ОБРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ И ВОЕННЫХ СИСТЕМАХ \*

PROCESS WIDE BANDWIDTHS  
IN AEROSPACE/DEFENSE SYSTEMS

**П**оказано, как быстродействующие АЦП позволяют использовать в современных радарх прямую выборку данных.

Я. Биварс

**Abstract** – It is considered that high-speed data converters make it possible to apply direct-sampling techniques to radar and communication receiver frontends.

I. Beavers

В современных системах связи, военной электронике, фазовых антенных решетках радиолокационных станций должны использоваться быстродействующие АЦП. Преобразователи с гигагерцовой выборкой (GSPS) обеспечивают выборку высокочастотных сигналов в третьей и четвертой зонах Найквиста, что позволяет использовать процедуры децимации при кодировании таких сигналов. Применение таких АЦП в различных системах дает возможность сместить спектр высокочастотного сигнала непосредственно в АЦП и транспонировать его в диапазон промежуточной частоты, что позволяет исключить дополнительные частотные преобразователи. Согласно теореме об отсчетах (Найквиста-Котельникова) частота выборки  $F_s$  АЦП должна быть вдвое больше максимальной частоты входного сигнала  $BW$ , т.е.  $F_s \geq 2BW$ , как показано на рис. 1. Для уменьшения вероятности перехвата и детектирования сигналов их форма и величина формируется специальным образом, причем энергия передаваемых сигналов распространяется во

всей полосе канала связи. Низкая вероятность его детектирования (LPD) обеспечивает малую вероятность распознавания сигналов современными системами перехвата. Для противодействия искусственным помехам современные радары должны формировать импульсы в широком частотном диапазоне случайным образом, так, чтобы энергетический спектр этих сигналов был представлен во всей полосе частот. Этот метод получил название Direct-Sequence-spread-spectrum (DSSS) или прямое последовательное растяжение спектра, рис. 2. Еще одним методом защиты от искусственных помех является метод Frequency-hopping-spread-spectrum (FHSS) или метод растяжения спектра переключением частоты. В последнем случае используется более широкая полоса, чем та, которая необходима для передачи полезного сигнала. Это налагает дополнительные требования на полосу приемников, применяемых в радиолокаторах.

Одним из наиболее действенных методов защиты от перехвата передаваемых сигна-

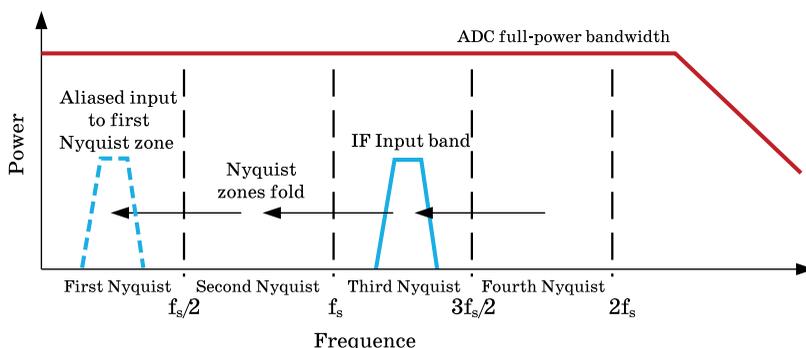
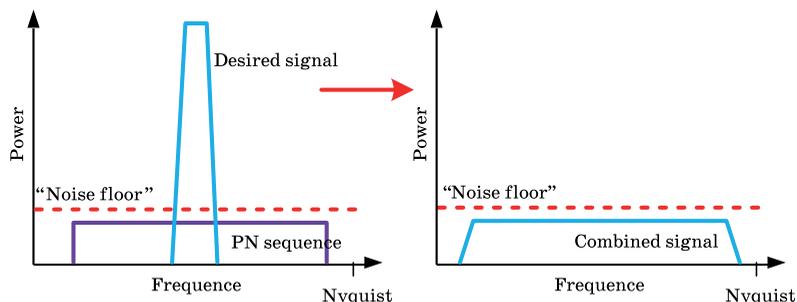


Рис. 1. Спектральная диаграмма работы АЦП в соответствии с теоремой об отсчетах Найквиста-Котельникова

\* I. Beavers. *Process Wide Bandwidths in Aerospace/Defense Systems* *Microwaves and RF* Apr.18, 2016. [www.analog.com](http://www.analog.com). Сокращенный перевод с английского и комментарии В.Романова.



**Рис. 2. Спектральная диаграмма работы системы с прямым последовательным растяжением спектра, что позволяет маскировать шум полезный сигнал**

лов является их маскирование под сигнал шума. В свою очередь приемники для перехвата таких сигналов должны иметь широкий частотный диапазон, что приводит к существенному усложнению таких устройств. В таких приемниках следует использовать АЦП с частотой выборки 1 ГГц и более. Однако применение таких быстродействующих АЦП приводит к необходимости использования прецизионных фильтров защиты от спектров наложения, обеспечивающих надежную защиту от ложных гармоник. Кроме того, в цепь АЦП должен быть включен полосовой фильтр. В качестве быстродействующих АЦП для аэрокосмических и военных систем могут быть выбраны преобразователи AD9234 (сдвоенный 12-разрядный АЦП с частотой выборки 1 ГГц), AD9680 (сдвоенный 14-разрядный АЦП с частотой выборки 1 ГГц), AD9625 (12-разрядный АЦП с частотой выборки 2.6 ГГц).

Таким образом, прямая выборка с перемещением энергии сигнала из каждой зоны Найквиста в первую зону Найквиста не позволяет определить источник полезного сигнала. Как результат энергия ложного сигнала окажется в первой зоне Найквиста, что приведет к уменьшению отношения сигнал/шум приемника системы-перехватчика и к уменьшению его динамического диапазона неискажен-

ного сигнала.

Приемники цифрового радио (которые приходят на смену супергетеродинным приборам) являются еще одним применением быстродействующих АЦП и ЦАП. Преимуществом таких приемников является возможность программным путем настраивать фильтры отдельно в каждом канале. Прямая выборка в радарх позволяет уменьшить число используемых компонентов, как показано на рис. 3.

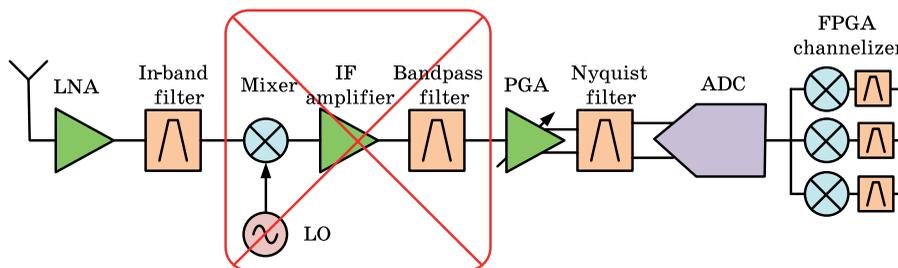
Новое поколение АЦП включает в себя цифровые преобразователи понижения частоты (DDC), что позволяет исключить сложные процессоры для обработки данных на выходе АЦП.

Применение АЦП с прямой выборкой, как уже отмечалось, позволяет исключать приемник с гетеродином, смесителем и фильтром.

## ВЫВОДЫ

1. Высокие требования к радиолокаторам и системам связи в аэродинамических и военных системах привели к созданию нового класса АЦП с прямой цифровой выборкой.

2. Благодаря применению таких АЦП повысилась помехоустойчивость к естественным и искусственным помехам таких систем, уменьшилась вероятность дешифровки сообщений в новых системах связи.



**Рис. 3. Структурная схема цифрового приемника, в которой отсутствуют смеситель, гетеродин и фильтр промежуточной частоты**

We make it *possible*

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



Цельнометаллические демпферы



Резиновые виброизоляторы



Силиконовые виброизоляторы



Цельнометаллические подушки



Тросовые амортизаторы



Малогабаритные  
цельнометаллические  
амортизаторы



Шнуры изоляции  
электромагнитных волн



Пружинные изоляторы

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

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

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



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

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

# МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПОНИЖАЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ВЫХОДНЫМ ТОКОМ 10 А

## 12-V, 10-A, 10-MHZ SERIES-CAPACITOR BUCK CONVERTER

В статье рассматривается топология 2-фазного понижающего преобразователя с последовательно включенным конденсатором.

В. Охрименко

Abstract – The main characteristics and possibilities of two-phase synchronous series capacitor buck converter are considered in the article.

V. Okhrimenko

Типовая структура системы электропитания приведена на рис. 1. Один из способов уменьшить рассеиваемую блоком питания мощность и его габариты – использовать меньше этапов преобразования напряжения. Т.е. в этом случае понижающие преобразователи должны работать при большом отношении входного напряжения к выходному ( $V_{IN}/V_{OUT}$ ). Если устройству требуется напряжение питания 1.2 В, то использование одного преобразователя, работающего с входным напряжением 12 В (при отношении  $V_{IN}/V_{OUT} = 10$ ), позволяет, сэкономить площадь печатной платы. Другой способ сократить габаритные размеры блока питания – уменьшить размеры компонентов (катушек индуктивности, конденсаторов и т.п.). При этом следует учитывать, что, как правило, микропроцессоры, программируемая логика и др. устройства отличаются большим током потребления (10 А и более).

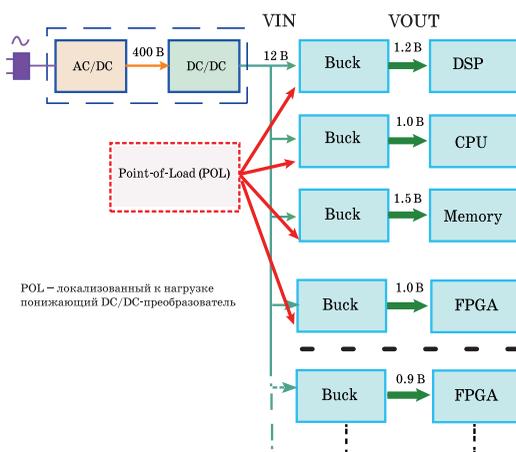
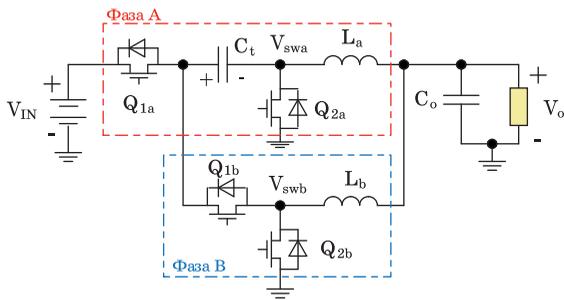


Рис. 1. Типовая структура системы электропитания

Понижающий преобразователь – импульсный стабилизатор напряжения. Габаритные размеры наибольшего по размерам компонента, т.е. катушки индуктивности, зависят от частоты коммутации (чем больше частота, тем меньше размеры катушки). Потери мощности при переключении ключевого транзистора зависят от частоты и напряжения коммутации, причем зависимость от напряжения квадратичная. Длительность интервала, в котором коммутирующий транзистор находится в открытом состоянии, напрямую зависит от отношения  $V_{IN}/V_{OUT}$ . Например, при частоте преобразования 5 МГц (период 200 нс) и отношении 10/1, длительность интервала всего 20 нс, что вызывает ряд хорошо известных проблем. Как видно эти основные соотношения параметров понижающего преобразователя во многом противоречивы. Чтобы снизить габариты преобразователя, который может работать при высоком отношении  $V_{IN}/V_{OUT}$ , следует повысить частоту коммутации, не увеличивая при этом потерь мощности на переключение транзисторов. В подавляющем большинстве buck-преобразователи, работающие с большим отношением  $V_{IN}/V_{OUT}$ , отличаются сравнительно низкой частотой коммутации (примерно 500 кГц), что не позволяет существенно снизить габариты используемой катушки индуктивности. Кроме того, что в катушке индуктивности теряется часть мощности, они, как правило, самые габаритные и массивные компоненты преобразователя, занимающие почти столько же места, сколько остальная часть источника питания.

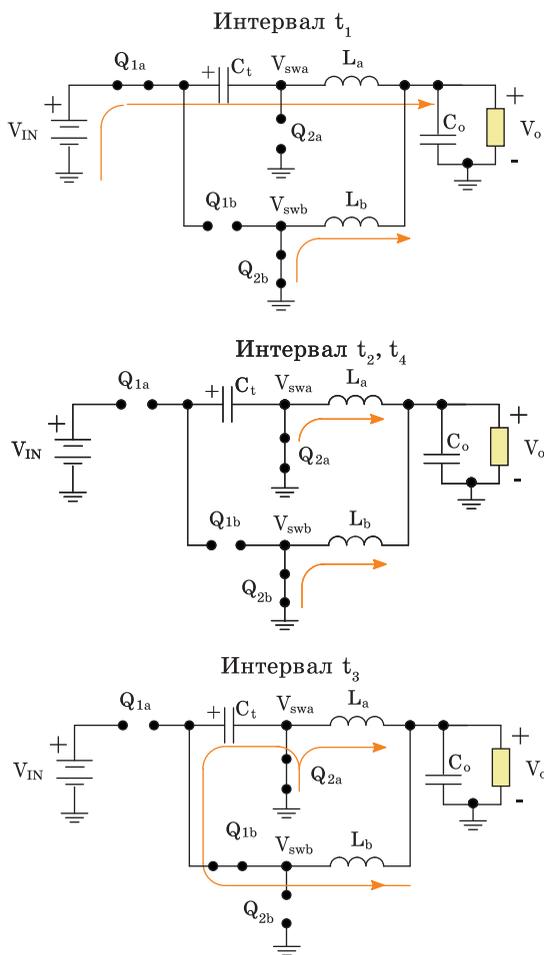
Новая предложенная топология (рис. 2), получившая название "two-phase synchronous series capacitor buck converter", во многом напо-



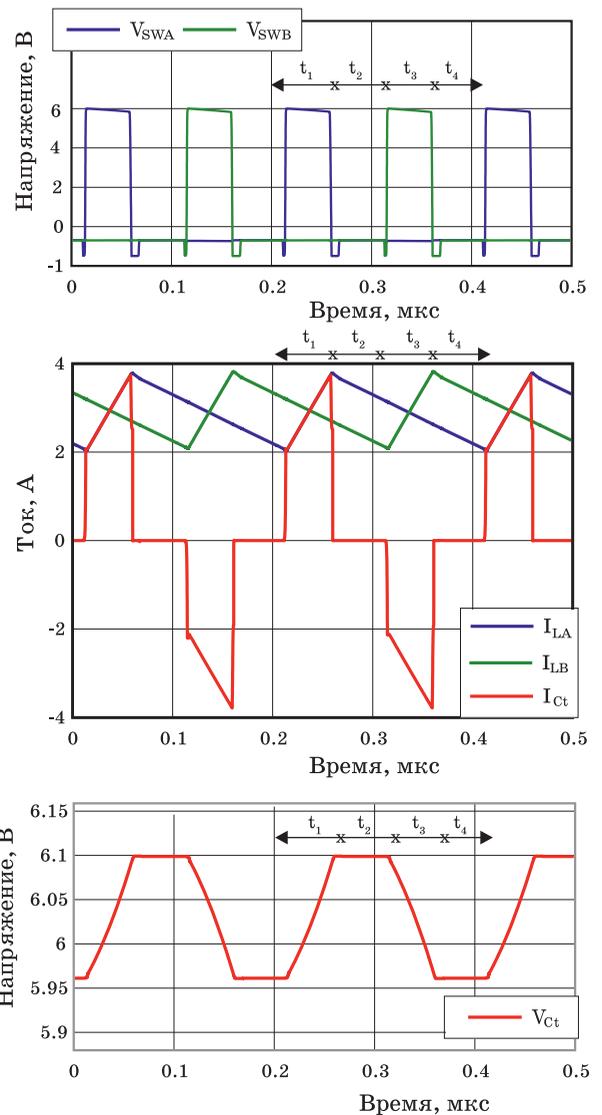
**Рис. 2. Топология 2-фазного понижающего преобразователя с последовательно включенным конденсатором**

минает стандартную топологию 2-фазного преобразователя. Основное отличие – модифицированная схема подключения фазы В, а также конденсатор, включенный последовательно с коммутирующим транзистором Q1a. Эти про-

стые изменения топологии позволили в два раза снизить напряжение на транзисторах Q1a и Q1b и тем самым, появилась возможность увеличить отношение  $V_{IN}/V_{OUT}$  и повысить частоту коммутации. Конденсатор  $C_t$  в установленном режиме, по сути, работает как источник постоянного напряжения  $V_{IN}/2$ . На рис. 3, 4 приведены иллюстрирующие работу в установленном режиме эквивалентные схемы замещения 2-фазного преобразователя с последовательно включенным конденсатором, а также временные диаграммы токов и напряжений в некоторых узлах схемы.



**Рис. 3. Эквивалентные схемы замещения 2-фазного преобразователя с последовательно включенным конденсатором**



**Рис. 4. Временные диаграммы токов и напряжений**

Новый синхронный DC/DC-преобразователь TPS54A20 реализован по 2-фазной топологии (рис. 2) с последовательно включенным конденсатором, что позволило снизить мощность потерь, увеличить частоту коммутации выходных транзисторов и, соответственно, существенно уменьшить габаритные размеры катушек индуктивности. Выходной ток до 10 А, входное напряжение 8...14 В, частота коммутации каждой фазы 2, 3.5 или 5 МГц. Микросхема выпускается в корпусе QFN-20 размерами 3.5×4×1 мм.

На рис. 5 приведены габаритные размеры катушек индуктивности, используемые в стандартных понижающего преобразователях с частотой коммутации 500 кГц и выходным током 10 А, а также размеры катушек для преобразователей, реализованных по 2-фазной топологии с последовательно включенным конденсатором (частота 2...5 МГц, ток 10 А).

Преимущество рассмотренной топологии – существенное уменьшение габаритов DC/DC-преобразователя за счет уменьшения габаритных размеров катушки, основной недостаток

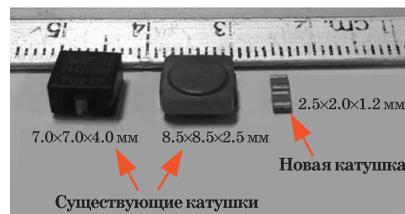


Рис. 5. Габаритные размеры катушек индуктивности

заключается в том, что теоретически максимальное выходное напряжение равно  $V_{IN}/4$ , фактически –  $V_{IN}/5$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Comparison of a buck converter and a series capacitor buck converter for high-frequency, high-conversion-ratio voltage regulators.
2. Introduction to the series capacitor buck converter.
3. TPS54A20 8-V to 14-V input, 10-A, up to 10-MHz SWIFT™ step down converter.

## БЛОКИ ПИТАНИЯ И ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА КОМПАНИИ MEAN WELL МОЩНОСТЬЮ 1.6 кВт



### NEW POWER SUPPLY: RSP-1600/RCP-1600, RCB-1600/RPB-1600

**В** статье приведены основные технические характеристики и возможности новых блоков питания RSP-1600/RCP-1600 и зарядных устройств RCB-1600/RPB-1600 компании Mean Well.

В. Охрименко

Abstract - **T**he main characteristics and possibilities of power supplies RSP-1600/RCP-1600, RCB-1600/RPB-1600 are considered in this article.

V. Okhrimenko

RSP-1600/RCP-1600 (рис. 1) – блоки питания выходной мощностью до 1.6 кВт с принудительным охлаждением и возможностью регулировки выходного напряжения [1, 2]. В табл. 1 приведены основные параметры блоков питания RSP-1600. Блоки снабжены встроенным активным корректором мощности и выпускаются в двух модификациях конструктивного исполнения: в кожухе (RSP-1600) или для монтажа в стойку (RCP-1600). Высота профиля – 1U. Удельная мощность 25 Вт/дюйм<sup>3</sup>

(при КПД 93%). Кроме того, блоки питания имеют вспомогательные выходы напряжением 5 В (0.3 А) и 12 В (0.8 А). Предусмотрена защита от короткого замыкания, перегрева и перегрузки, а также возможность регулировки выходного напряжения с помощью встроенного потенциометра, внешнего сигнала, подключаемого к специально предназначенным выводам, или на программном уровне с использованием шины PMBus (опционально). При изменении уровня внешнего сигнала от 1 до 4.7 В,

Таблица 1. Основные параметры блоков питания RSP-1600

Наименование параметра	Обозначение				
	RSP-1600-12	RSP-1600-24	RSP-1600-27	RSP-1600-36	RSP-1600-48
Вход					
Диапазон вх. напряжений, В	90...264 переменного тока (47...63 Гц), 127...370 постоянного тока				
Вх. ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	14 (115), 8 (230)	15(115), 8.5(230)			
КПД, типов., %	89	91.5	92		93
Коэффициент мощности (PF), типов.	0.97 (230 В) при полной нагрузке				
Ток утечки, не более, мА	2 (230 В переменного тока)				
Выход					
Номинальное вых. напряж., В	12	24	27	36	48
Номинальный вых. ток, А	125	67	59	44.5	33.5
Номинальный вых. мощность, Вт	1500	1608	1593	1602	1608
Диапазон регулировки вых. напряж., В	11.5...15.0	23.5...30.0	26.5...33.5	35.5...45.0	47.5...58.8
Отклонение вых. напряж., %	±1				
Уровень шумов и пульсаций вых. напряж., п-п, макс. в полосе 20 МГц, мВ	150	200	200	250	300
Время старта, мс	1500, 60/230 В при полной нагрузке				
Надежность, безопасность, окружающая среда					
Стандарты	EN55022 (CISPR22)/EN55011 (CISPR11), EN55022 (CISPR22)/EN55011 (CISPR11), EN61000-3-2, EN55024, EN61204-3, EN61000-6-2, EN61000-3-3, EN61000-4-2, EN61000-4-3, EN61000-4-4, EN61000-4-5, EN61000-4-6, EN61000-4-8, EN61000-4-11				
Прочность изоляции, кВ	3 кВ (перем. тока, вход/выход)				
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)	42.1				
Диапазон рабочих температур, °С	-30...70				
Относительная влажность воздуха, %	20...90 (без конденсата)				
Габаритные размеры, мм	300×85.8×41				
Масса, кг	1.8				
Гарантия	5 лет				

выходное напряжение изменяется в пределах от -40 до 125% от величины номинального напряжения. Для увеличения выходной мощности допускается параллельное подключение до

шести блоков питания, что обеспечивает выходную мощность 9.6 кВт.

RSP-1600/RPB-1600 (габаритными размерами 300×85×41 мм) – интеллектуальные за-



Рис. 1. Блоки питания RSP-1600/RCP-1600



Рис. 2. Зарядные устройства RCB-1600/RPB-1600

рядные устройства выходной мощностью 1.6 кВт (рис. 2). Устройства снабжены встроенным корректором мощности и выпускаются в двух модификациях конструктивного исполнения: в кожухе (RPB-1600) и для монтажа в стойку (RCB-1600). Зарядные устройства предназначены для использования с разными типами литий-ионных (Li-Ion), а также свинцово-кислотных (Lead-acid) аккумуляторов. Это стандартные свинцово-кислотные (Flooded Cells), гелиевые (Gel) и аккумуляторы с использованием технологии AGM (Absorbent Glass Mat), которая позволяет применять не жидкий, а абсорбированный электролит. Рекомендуемая емкость аккумуляторов 330...1000/180...550/90...270 Ач, соответственно для зарядных устройств с выходным напряжением 12/24/48 В. В табл. 2 приведены основные параметры зарядных устройств RPB-1600. Допускается параллельное подключение до трех зарядных устройств, что увеличивает выходную мощность 4.8 кВт.

В зарядных устройствах реализован интерфейс I<sup>2</sup>C и PMBus, что дает возможность на программном уровне регулировать выходное напряжение и ток, а также вольтамперную характеристику зарядки.

Основные технические характеристики зарядных устройств типа RCB-1600:

- входное напряжение 90...264 В (47...63 Гц)
- выходная мощность до 1.6 кВт
- выходное напряжение 12/24/48 В
- PF – 0.97 (тип.)
- КПД до 93% (RCB-1600-48)
- диапазон рабочих температур -30...70 °С
- наработка до отказа 38.9 тыс. ч. (MIL-HDBK-217F, 25 °С)
- масса 1.8 кг
- гарантия 5 лет.

Дополнительную информацию о новых блоках питания и зарядных устройствах компании Mean Well можно найти в [1, 2] или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе Mean Well в Украине.

Таблица 2. Основные параметры зарядных устройств типа RPB-1600

Наименование параметра	Обозначение		
	RPB-1600-12	RPB-1600-24	RPB-1600-48
Вход			
Диапазон вх. напряжений, В	90...264 переменного (47...63 Гц), 127...370 постоянного тока		
Вх. ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	14 (115), 8 (230)	15(115), 8.5(230)	
КПД, типов., %	91	92.5	93.5
Коэффициент мощности (PF), типов.	0.97 (230 В) при полной нагрузке		
Ток утечки, не более, мА	2 (240 В переменного тока)		
Выход			
Выходное напряжение, В	14.4	28.8	55.2
Выходной ток, А	100	55	27.5
Рекомендуемая емкость аккумуляторов, Ач	330...1000	180...550	90...270
Диапазон регулировки выходного напряжения, В	11.5...15.0	23.5...30.0	47.5...58.8
Ток утечки, не более, мА	1		
Надежность, безопасность, окружающая среда			
Стандарты	UL60950-1, TUV EN60950-1, EN55022 (CISPR22) Class B, Class A (EN61000-3-2, -3), EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61000-6-2 (EN50082-2)		
Прочность изоляции, кВ	3 кВ (перем. тока, вход/выход)		
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)	100.3		
Диапазон рабочих температур, °С	-30...70		
Относительная влажность воздуха, %	20...90 (без конденсата)		
Габаритные размеры, мм	300×85.8×41		
Масса, кг	1.8		
Гарантия	5 лет		

## ЛИТЕРАТУРА

### 1. 1600W Power Supply with Single Output.

**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

### RSP-1600 series.

### 2. 1600W Rack Mountable Front End Battery. Charger RCB-1600.

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

# LEDiL



## ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПАНИИ LEDiL

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

Поддержка  
приложений

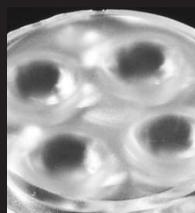
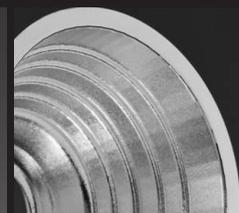
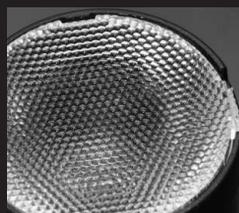
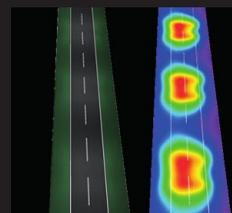
Пользовательские  
решения

Симметричные

Асимметричные

Рефлекторы

Массивы



НПФ VD MAIS – официальный дистрибьютор компании LEDiL в Украине

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

# ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ СВЕТОДИОДЫ XLAMP XP-G3 КОМПАНИИ CREE



CREE XLAMP XP-G3 LEDs

**В** статье рассматриваются характеристики новых светодиодов XLamp XP-G3 компании Cree.

Abstract - **T**his article intends to provide a brief overview of the Cree XLamp XP-G3 LEDs.

*В. Охрименко*

*V. Okhrimenko*

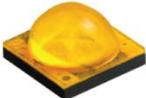
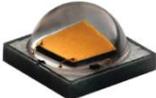
Белые светодиоды серии XLamp XP-G3 (3.45×3.45 мм) компании Cree изготавливаются с использованием новой технологии Cree SC5 Technology™ (Silicon Carbide 5) [1-3]. По сравнению с выпущенными ранее светодиодами серии XLamp XP-G2 и популярными ХТ-Е они отличаются большей энергоэффективностью (до 200 лм/Вт при токе 350 мА), а также увеличенным значением максимально допустимого тока (до 2 А), что достигается благодаря отсутствию проволочных соединений с кристаллом. Конструктивное исполнение и габаритные размеры светодиодов серии XP-G3 аналогичны тем, которые имеют светодиоды XP-G2, что гарантирует их совместимость при использовании имеющихся линз и печатных плат. Вместе с тем некоторые усовершенствования

позволили увеличить ток через светодиоды этого типа.

Сравнительные параметры светодиодов даны в табл. 1 и на рис. 1. Светодиоды XLamp XP-G3 выпускаются в вариантах с цветовой температурой (ССТ) в диапазоне от 2700 К (теплый белый свет) до 6500 К (холодный белый свет) и индексом цветопередачи (CRI) 70,80 и 90. Максимальный световой поток более 700 лм. Зависимость светового потока от тока через светодиод приведена на рис. 2, вольтамперные характеристики (ВАХ) – на рис. 3, зависимость энергоэффективности (лм/Вт) от мощности – на рис. 4.

Сортировка светодиодов по группам (bins) осуществляется при температуре кристалла 85 °С в соответствии с рекомендациями стандарта

*Таблица 1. Сравнительные параметры светодиодов*

Наименование параметра	ХТ-Е	XP-G2	XP-G3
Внешний вид			
Габаритные размеры, мм	3.45×3.45×2.36	3.45×3.45×2.26	<b>3.45×3.45×2.26</b>
Максимальный ток, (мА)/мощность, Вт	1500/5		<b>2000/6</b>
Прямое падение напряжения, В (при токе 350 мА и температуре 85 °С)	2.85	2.8	<b>2.75</b>
Наличие проволочных соединений с кристаллом	—	+	—
Тепловое сопротивление "р-п переход – место пайки" (тип.), °С/Вт	5	4	<b>3</b>
Гальванически изолированный теплоотвод	+	+	+
Возможность пайки оплавлением (JEDEC J-STD-020C)	+	+	+
Совместимость с рекомендациями директив RoHS и REACH	+	+	+

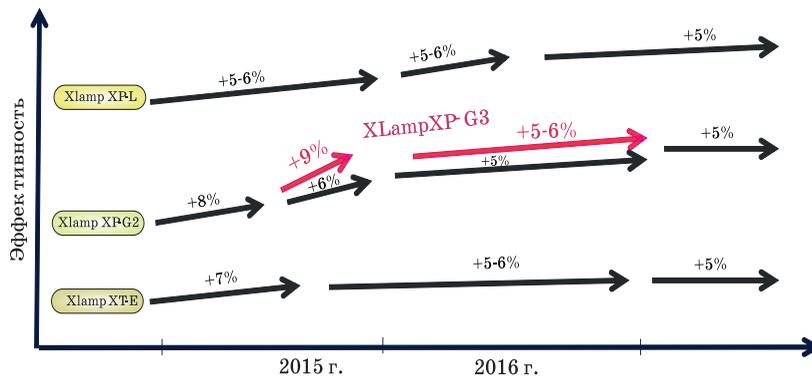


Рис. 1. Сравнительные параметры светодиодов

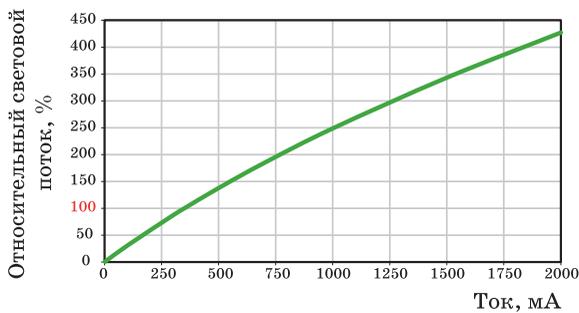


Рис. 2. Зависимость светового потока от тока через светодиод

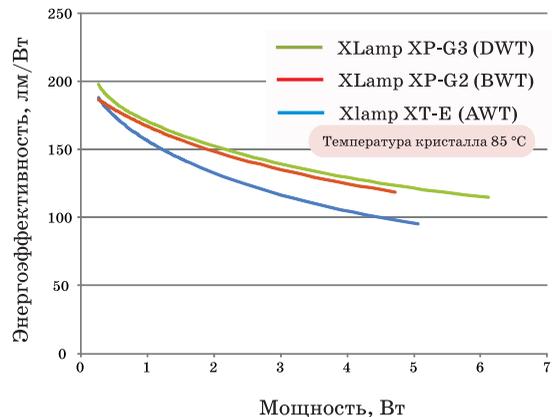


Рис. 4. Зависимость энергоэффективности (лм/Вт) от мощности

ANSI и системы классификации EasyWhite с использованием 3- и 5-ступенчатых эллипсов Мак-Адама.

На рис. 5 приведены границы допуска (bins) на цветовую температуру для светодиодов серии XLamp XP-G3: по стандарту ANSI, а также по классификации EasyWhite (3- и 5-ступенчатые эллипсы Мак-Адама).

В табл. 2 приведена зависимость светового потока от тока, температуры места пайки, цветовой температуры и пр.

Основные параметры светодиодов типа XPGDWT-01-0000-00ME3 (XLamp XP-G3):

- мин. световой поток при токе 350 мА и

температуре 85 °C – 172 лм, при 25 °C – 187 лм

- CRI 70
- CCT 5000 К
- макс. ток 2 А
- макс. рассеиваемая мощность 6 Вт
- макс. обратное напряжение 5 В
- тепловое сопротивление "р-п переход – место пайки" – 3 °C/Вт (тип.)
- типовое прямое падение напряжения 2.73 В (при токе 350 мА и температуре кристалла 85 °C)

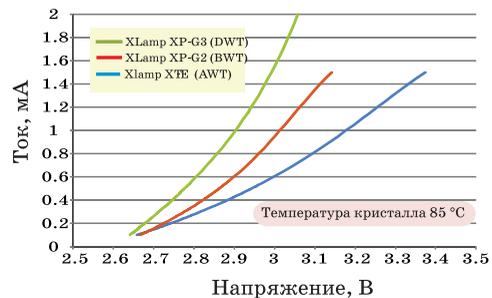
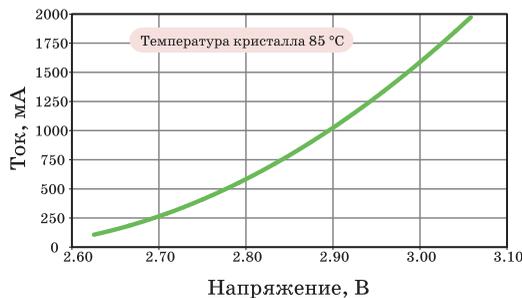


Рис. 3. ВАХ светодиодов

Таблица 2. Световой поток в зависимости от тока, температуры и др.

Код	Минимальный световой поток (I = 350 мА, t = 85 °С), лм						Световой поток, лм		
	Цветовая температура, К						350 мА, 25 °С	1 А, 85 °С	2 А, 85 °С
	>5000 (50)	5000 (E3)	4000 (E5)	3500 (E6)	3000 (E7)	2700 (E8)			
S5 (M)							191	426	736
S4 (L)	164	164	164				182	406	702
S3 (K)	156	156	156	156	156		173	532	668
S2 (J)	148	148	148	148	148		164	504	633
R5 (H)	139	139	139	139	139	139	158	344	595
R4 (J)			130	130	130	130	147	322	556
R3 (F)	122	122	122				134	302	522
R2 (E)	114	114	114	114	114	114	129	262	488
Q5 (D)			107	107	107	107	121	265	458
Q4 (C)				100	100	100	113	248	428
Мин. 70 CRI (B)			Мин. 80 CRI (H)			Мин. 90 CRI (U)			

- ширина диаграммы направленности 125°
- максимальная температура кристалла 150 °С
- неограниченный срок хранения (при температуре ≤ 30 °С и относительной влажности ≤ 85%).

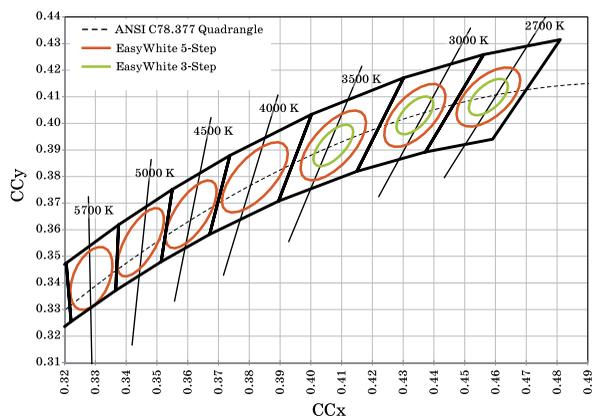


Рис. 5. Допуски на цветовую температуру для светодиодов серии XLamp XP-G3

В табл. 3 и на рис. 6 приведены, опубликованные компанией Cree, результаты испытаний светодиодов XLamp XP-G3 в соответствии с рекомендациями стандарта LM-80, а также расчетные значения с использованием методик, изложенных в технических спецификациях ТМ-21 [2].

В стандарте LM-80 приведены рекомендованные условия проведения испытаний: ток через светодиод, объем выборки, температура

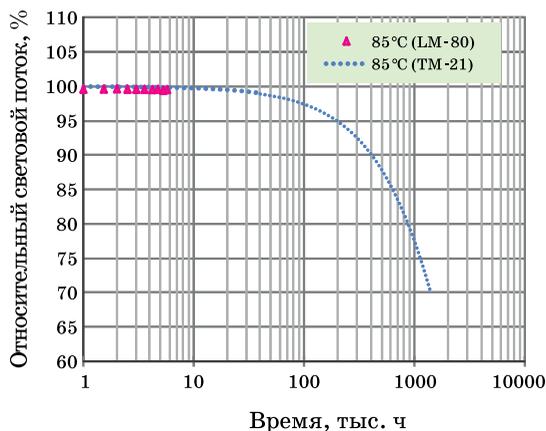
Таблица 3. Результаты испытаний светодиодов XLamp XP-G3

Параметр	XLamp XP-G3		
	105	85	
Температура места пайки, °С	105	85	
Ток, мА	1500	1000	
Продолжительность испытаний, тыс. ч	6.048	6.048	
Продолжительность эксплуатации (расчетное значение), тыс. ч	L90	70.5	>109
	L80	>109	>109
	L70	>109	>109
Продолжительность эксплуатации (заявленное значение), тыс. ч	L90	>36.3	>36.3
	L80	>36.3	>36.3
	L70	>36.3	>36.3

места пайки, продолжительность испытаний (рекомендуемая 6...10 тыс. ч) и др.

В спецификациях ТМ-21 приведена методика и набор формул, позволяющие по результатам испытаний выборки светодиодов, рассчитать ожидаемое изменение его светового потока на более длительный период времени его эксплуатации [3].

Как правило, рассчитывается продолжительность эксплуатации до момента снижения светового потока до 90, 80 или 70% (или любого другого значения) от номинальной величины потока, при этом в документации производителей такая продолжительность эксплуата-



**Рис. 6. Результаты испытаний светодиодов XLamp XP-G3**

ции обозначается, соответственно, как L90, L80 или L70. Если желаемый уровень светотдачи достигнут в ходе проведения испытаний в соответствии со стандартом LM-80, указывается эта продолжительность. Если рассчитанная продолжительность эксплуатации превышает шестикратное значение длительности реальных испытаний, то приводится т.н. заявленная продолжительность, которая определяется как продолжительность реальных испытаний умноженное на шесть, что хорошо видно из данных, приведенных в табл. 3 ( $6048 \times 6 = 36288 \approx 36300$ ).

Расчетное (прогнозируемое) значение определяется на основе аппроксимации данных, полученных в результате испытаний за последние 5 тыс. ч. Для аппроксимации применяется экспоненциальная функция с использованием метода наименьших квадратов, которая была выбрана в результате многочисленных исследований и обработки данных тестирования светодиодов разных производителей и типов. В документации компания Cree можно найти также значения коэффициентов ( $\alpha$ ,  $B$ ) аппроксимирующей функции.

Результаты (L90/80/70), полученные с использованием методик, предложенных в TM-21, не определяют срок службы в трактовании, как время наработки до отказа, которое обычно приводится в документации на электронные компоненты и оборудование разного типа.

Использование рекомендаций, изложенных в спецификациях TM-21, позволяет прогнозировать временную стабильность светового потока светодиода. При этом достоверность прогноза определяется точностью приближе-

ния выбранной аппроксимирующей функции и зависит от данных, полученных при испытаниях в соответствии со стандартом LM-80. Тем не менее, эта информация может быть использована для прогноза ожидаемой деградации параметров источника освещения как составной части светотехнического устройства. Спецификации TM-21 предоставляют реальный метод прогнозирования стабильности светотдачи светодиодов. Однако деградация светового потока в процессе эксплуатации — это лишь один из многих возможных процессов, свойственных изделиям со светодиодами.

Зарождение стандарта LM-80 и спецификаций TM-21 во многом объясняется тем, что, быстрое усовершенствование технологии изготовления светодиодов и желание производителей продвинуть продукт на рынок в сжатые сроки не позволяют в действительности провести тестовые испытания для определения срока службы, а это может быть 35 или даже 100 тыс. ч (в году всего 8640 ч). В результате в светодиодной индустрии вынуждены были согласиться с определением срока службы светодиода, как продолжительность (L95/90/80) его эксплуатации до достижения заявленной деградации светотдачи (95, 90 или 80% от номинального значения).

Технология изготовления светодиодов постоянно развивается и проведенные исследования показали, что в ряде случаев даже набор данных, получаемый при продолжительности тестирования 10 тыс. ч зачастую недостаточен для обеспечения статистической достоверности при экстраполяции кривой спада светового потока в диапазон больших величин, например, 35 и более тыс. ч. Однако, следует отметить, что спецификации TM-21 не является завершающим инструментом оценки ресурса изделий. Работа продолжается, что позволяет надеется, что новые уточнения рекомендаций, а, соответственно и результаты вычислений будут отличаться большей достоверностью.

Светодиоды серии XLamp XP-G3 (типоразмера 3535) сочетают ряд преимуществ популярных светодиодов серий XT-E и XP-G2. В сравнении с XP-G2 новые светодиоды XLamp XP-G3 отличаются, примерно, на 8% лучшей, энергоэффективностью и большим световым потоком. Применение светодиодов XLamp XP-G3 позволит упростить создание осветитель-

ных устройств и ускорить их продвижение на рынок. Благодаря таким качествам, как высокая светоотдача, надежность и большой КПД, светодиоды XLamp XP-G3 могут стать оптимальным выбором при создании разного типа осветительных устройств, используемых в системах освещения внутри и снаружи помещений, портативных светильниках, системах оптического контроля и пр.

Дополнительную информацию о светодио-

дах серии XLamp XP-G3 можно найти в [1-3] или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании CREE.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cree XLamp XP-G3 LEDs. Product family data sheet.
2. Cree Apr 2016 dist – Customer Slides.
3. [www.ledsmagazine.com/features/8/11/10](http://www.ledsmagazine.com/features/8/11/10).

## ОГРАНИЧИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ: TVS-ДИОДЫ



### TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSION DIODES

**В** статье рассматриваются характеристики полупроводниковых ограничителей напряжения компании Littelfuse.

**Abstract** – The purpose of this article is to promote a better understanding of transient voltage suppression diodes.

*В. Охрименко*

*V. Okhrimenko*

Для защиты радиоэлектронных устройств от перенапряжений, помимо традиционных плавких предохранителей, простейших LC- и RC-фильтров, широко используются специализированные приборы (например, газовые разрядники, металлооксидные варисторы и т.п.), а также полупроводниковые ограничители напряжения (Transient Voltage Suppression Diode – TVS). В статье рассматриваются характеристики и особенности TVS-диодов, выпускаемых компанией Littelfuse.

Компания Littelfuse – ведущий производитель пассивных электронных компонентов для "защиты" разного рода электротехнических устройств. Одно из направлений – производство TVS-диодов, основное назначение которых – защита от перенапряжений [1-4].

### ВВЕДЕНИЕ

В реальных условиях эксплуатации в электрических цепях электротехнического оборудования могут возникать различные виды перегрузок. Наиболее часто в процессе эксплуатации сталкиваются с перенапряжениями, вызванными электромагнитными импульсами естественного (мощные грозовые разряды) и искусственного происхождения (излучения радиопередающих антенн, высоковольтных

линий передачи электроэнергии, сетей электрифицированных железных дорог и т.п.). Кроме того, перенапряжения могут возникать вследствие переходных процессов при работе оборудования, например, при коммутации индуктивных нагрузок или в результате воздействия электростатических разрядов.

Воздействие электромагнитных импульсов любого происхождения на электронные компоненты приводит к изменению их параметров, как за счет непосредственного поглощения энергии, так и вследствие воздействия на них индуцированных в электрических цепях оборудования импульсов напряжения и тока.

Устройства защиты от перенапряжений предотвращают протекание импульсов тока через защищаемое устройство вследствие замыкания его на общий провод. Они также ограничивают напряжение до значений, совместимых с характеристиками подсоединенных устройств. Основные параметры устройства защиты от перенапряжений – допустимая мощность рассеивания (т.к. протекают большие токи) и напряжение ограничения.

TVS-ограничитель напряжения – это, по сути, полупроводниковый диод, работающий на обратной ветви вольтамперной характеристики (ВАХ). В симметричных TVS-диодах ис-

пользуется как обратная, так и прямая ветвь ВАХ. TVS-диод предназначен для защиты от перенапряжения радиоэлектронных устройств и компонентов. При воздействии импульса перенапряжения TVS-диод ограничивает выброс напряжения до безопасного уровня, при этом ток протекает через диод на общий провод, минуя защищаемую цепь (устройство). Принципы работы TVS-диода и его ВАХ приведены на рис. 1. В идеальном случае TVS-диод представляет собой разомкнутую цепь с током утечки. Если импульсное напряжение превышает пороговое напряжение, ток переходного процесса протекает через TVS-диод, при этом рассеиваемая мощность ограничивается максимально допустимой температурой кристалла. Аналогичный принцип действия имеют и классические кремниевые стабилитроны (диоды Зенера). TVS-диоды разработаны и предназначены для защиты от мощных кратковременных импульсов перенапряжения, на что и указывает их название (transient voltage suppression diode). Как правило, стабилитроны применяются в качестве источников эталонного напряжения и не предназначены для работы при больших импульсных нагрузках. Для правильного выбора и эффективного использования TVS-диодов необходимо иметь достоверную информацию о возможных источниках и параметрах кратковременных электрических помех.

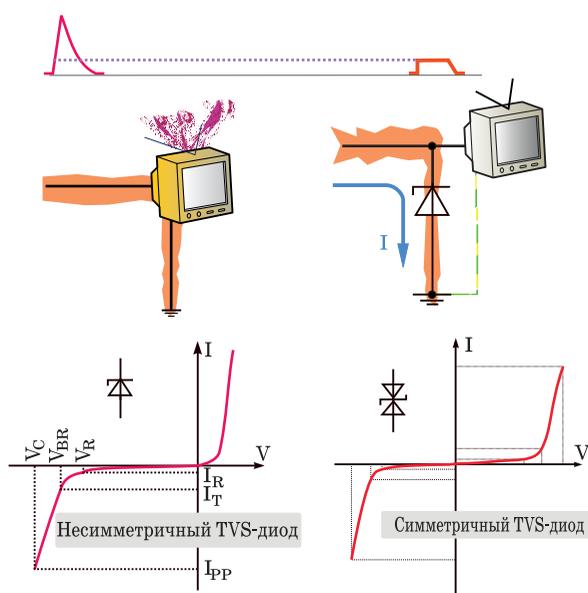


Рис. 1. Вольтамперные характеристики TVS-диодов

## ИСТОЧНИКИ ПОМЕХ

Кратковременные электрические помехи возникают в результате внезапного выброса предварительно запасенной электромагнитной энергии в различных физических объектах. В частности, в результате проявления природных явлений, например, грозových разрядов (молний). Кратковременные электрические помехи могут возникать в процессе работы разных электронных и электромеханических устройств (электродвигателей, генераторов, и т.п.), а также могут быть вызваны внешними электромагнитными импульсами или электростатическими разрядами.

Повторяющиеся кратковременные электрические помехи, как правило, возникают при эксплуатации электродвигателей, генераторов, или при коммутации мощных индуктивных нагрузок. Случайные помехи зачастую бывают вызваны молниями и электростатическими разрядами (ESD), которые происходят непредсказуемо, и, что может потребовать тщательного мониторинга для измерения уровня помех, особенно если индуцирование помех происходит в цепях, расположенных на печатной плате.

В результате многочисленных измерений с использованием общепринятых методов мониторинга и тестирования, были определены ориентировочные характеристики некоторых переходных процессов (табл. 1). В соответствующих стандартах (например, IEC 61000, IEC 62305 и др.) приводятся уточненные значения параметров тестовых импульсов, используемых при испытании электротехнического оборудования на устойчивость к воздействию кратковременных импульсов.

На рис. 2 приведены обобщенные характеристики импульсов тока, вызванных молнией и электростатическим разрядом. Обычно нарастающий фронт изменяется по двойному экспоненциальному закону. При разряде молний возникают очень большие токи (десятки килоампер) и эти токи протекают очень короткое время (несколько микросекунд). При длине проводника 1 м и длительности нарастающего фронта 8 мкс генерируемое на проводнике напряжение может составлять 1000 и более вольт ( $V = L \cdot di/dt$ ). Поэтому длина соединительных проводников между устройством за-

Таблица 1. Ориентировочные характеристики некоторых переходных процессов

Наименование	Напряжение, кВ	Ток, А	Длительность нарастающего фронта, нс	Длительность импульса, мс
Молния	25	20000	10000	1
Коммутационные помехи	0.6	500	50000	500
Электромагнитный импульс	1	10	20	1
Электростатический разряд	15	30	<1	0.0001

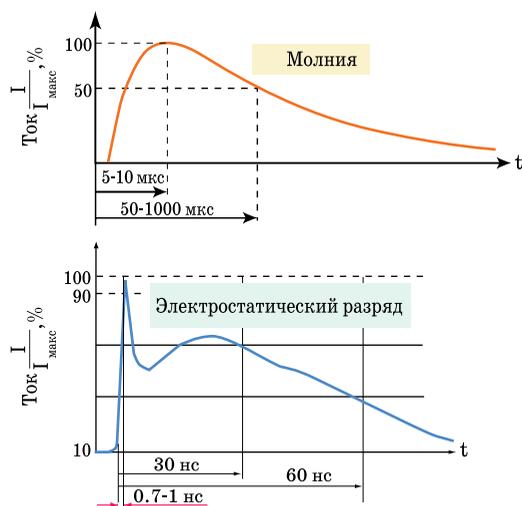


Рис. 2. Характеристики импульсов тока, вызванных молнией и электростатическим разрядом

щиты и токоведущими проводниками должна быть минимальной, поскольку импеданс этих проводников может существенно снизить эффективность защиты.

Результат миниатюризации электронных компонентов – снижение их устойчивости к приложенному электрическому напряжению. Как правило, современные электронные компоненты работают при низких напряжениях питания. В микропроцессорах предусматриваются соответствующие структуры по защите от перенапряжений, обеспечивающие проводящие токовые пути, однако они не в состоянии справиться с большими токами от электростатических разрядов, что, в конечном счете, может приводить к многочисленным отказам.

Электростатический разряд генерируется в процессе повседневной деятельности человека

(табл. 2, рис. 3) в результате неравномерного распределения положительных и отрицательных зарядов между объектами.

Таблица 2. Параметры электростатического заряда

Наименование	Относительная влажность, %	
	20	65
	Напряжение, кВ	
Ходьба по ковру	35	1.5
Ходьба по виниловому покрытию	12	0.25
Контакт с печатной платой	6	0.1
Контакт с виниловой упаковкой	7	0.6
Контакт с полиэтиленовой упаковкой	20	1.2

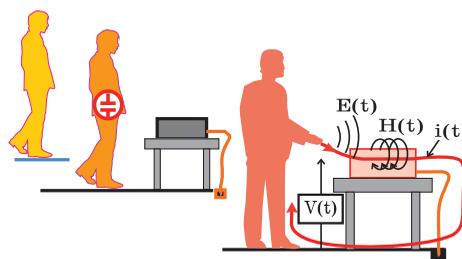


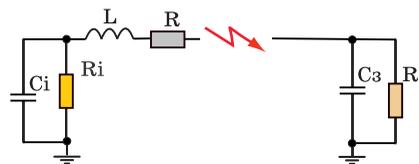
Рис. 3. Электростатический разряд

Электростатический разряд характеризуется малой длительностью нарастающего фронта и очень высоким пиковым напряжением, которое намного превосходит максимально допустимые значения для электронных компонентов, изготовленных по стандартной по-

лупроводниковой технологии.

При импульсном разряде статического электричества возникают помехи, которые могут вызвать сбой в работе компьютеров, принтеров, телефонов или других электронных приборов. Кроме того, электростатический разряд может оказывать разрушительное действие на электронные компоненты и узлы. Разряды статического электричества, которые оператор порой не замечает, зачастую оказываются достаточными для повреждения полупроводниковых элементов.

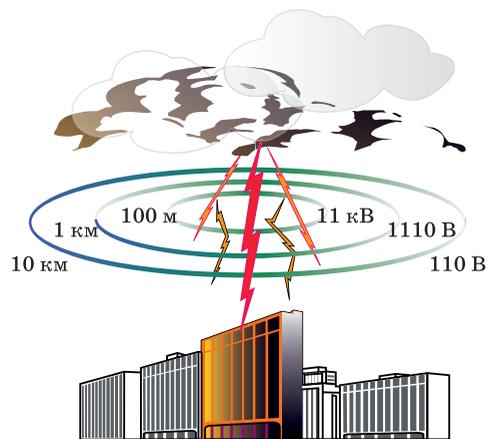
Заряды статического электричества возникают при ходьбе по напольному покрытию, соприкосновении с изделиями из синтетических материалов и т.п. В зависимости от взаимодействующих материалов заряды могут иметь положительную или отрицательную полярность. В зависимости от типа обуви и вида напольного покрытия, а также влажности воздуха тело человека может заряжаться до 30 кВ. Обычно возникающий при ходьбе по коврам потенциал имеет величину 5...15 кВ. Однако даже потенциала 2 кВ достаточно для того, чтобы повредить полупроводниковые компоненты. Накопленная энергия в зависимости от емкости заряженного объекта (емкость тела человека примерно 150 пФ) может составлять несколько десятых долей Джоуля. Проблемы проявляются при импульсном разряде между заряженными объектами, в течение которого возникают импульсы тока с длительностью фронта менее 1 нс и связанное с ним изменяющееся магнитное поле, что, как правило, и обуславливает нежелательные последствия. Во многих случаях для моделирования разряда статического электричества можно использовать простую эквивалентную схему (рис. 4). Величина сопротивления  $R_i$  зависит от источника помех, например, для тела человека  $R_i = 1$  кОм, для малогабаритной мебели – 10...50 Ом. В зависимости от постоянной времени цепи разряд может иметь колебательный или апериодический характер. Если источник разрядного тока тело человека, то параметры тока различаются в зависимости от пути его протекания. Например, через ногтевую фалангу пальца, поверхность руки или инструмент (например, отвертку), удерживаемый в ладони. При этом возникающая искра характеризуется нелинейными свойствами.



$R_i, C_i$  - эквивалентные параметры заряженного объекта  
 $R_z, C_z$  - эквивалентные емкость и сопротивление по отношению к земле объекта, через который происходит разряд

**Рис. 4. Эквивалентная схема цепи при электростатическом разряде**

Прямое попадание молнии всегда разрушительное, однако, обусловленные молнией переходные процессы в электрических цепях не являются результатом непосредственного попадания в объект. Создаваемое при разряде молнии магнитное поле индуцирует импульсы напряжения в близлежащих электротехнических объектах (электрических кабелях и т.п.). Например, молния облако-облако оказывает влияние не только на кабели воздушных линий передачи, но также на кабели, проложенные под землей. Даже в электрическом кабеле, удаленном на расстояние 1.6 км от молнии, может индуцироваться напряжение амплитудой до 70 В. Молния облако-земля (рис. 5) вызывает большие помехи.



**Рис. 5. Ориентировочные параметры молнии**

Перенапряжения в цепях электропитания, как правило, возникают в процессе эксплуатации электродвигателей, генераторов, или при коммутации индуктивных нагрузок. В последнее время все чаще появляются разнообразные автономные GPS/GSM/GPRS- и другие устройства, ориентированные на эксплуатацию в ав-

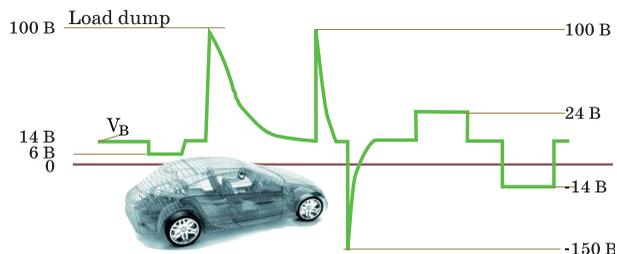
тотранспортных средствах. Причем большинство таких устройств устанавливается не на этапе промышленной сборки автомобиля, а при модернизации его электронного оборудования с целью обеспечить дополнительные функции. Для защиты устройств от помех и правильного выбора точки подключения к системе энергоснабжения, что позволит избежать проблем в процессе их эксплуатации, необходима информация о возможных источниках перенапряжения в автомобиле, а также их параметрах.

**TVS-ДИОДЫ**

Компания Littelfuse выпускает несколько серий TVS-диодов (TPSMA6L, TPSMB, TPSMC, TPSMD, TP6KE и SLD), ориентированных на использование в автотранспортных средствах. Все они соответствуют рекомендациям соответствующих стандартов.

Возможно, наиболее агрессивной средой (рис. 6) для электронных приборов является система электроснабжения автотранспортных средств и не только из-за наличия большого числа силовых установок, но и благодаря человеческому фактору. Нельзя исключить возможность непреднамеренного изменения полярности при подключении аккумулятора, а также, хотя и редкие, ситуации, когда придется испытывать силу и выносливость мышц в процессе "холодного" запуска двигателя. Высоковольтные выбросы напряжения малой длительности (единицы микросекунд и менее) вызваны, как правило, коммутацией индуктивных нагрузок – электродвигателей управляющих механизмов (топливного насоса, стеклоподъемников и т.п.), компонентов высоко-

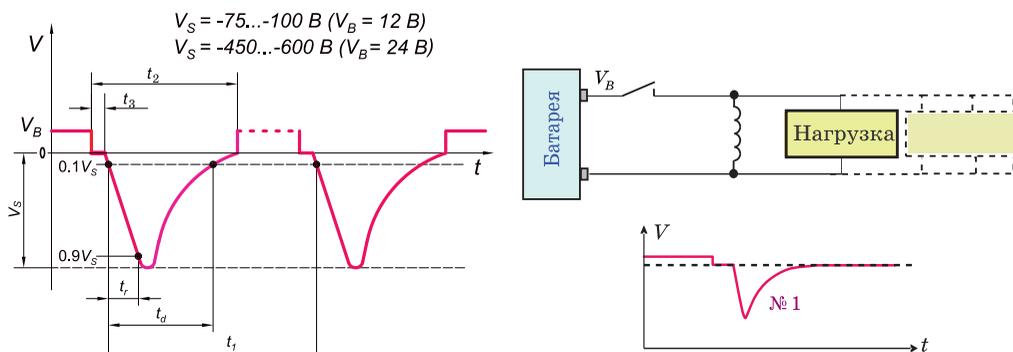
вольтной системы зажигания и других, содержащих катушки индуктивности.



**Рис. 6. Перенапряжения в бортовой сети питания автомобиля**

Общие требования, методика проверки кондуктивной помехозащищенности автомобильного оборудования, а также модели помех, имитирующие кондуктивные помехи в системе электроснабжения, разработаны Международной организацией по стандартизации ISO (International Organization for Standardization) и приведены в стандарте ISO 7637 (Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling). Требования к форме и параметрам генерируемых тестовых импульсов, предназначенных для проверки кондуктивной помехозащищенности автомобильного оборудования, приведены в стандарте ISO 7637-2-2011 (Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only). Для тестирования оборудования разработаны несколько моделей импульсов (1, 2a/b, 3a/b, 4, 5a/b), имитирующих выбросы напряжения в автомобильной силовой электропроводке. Многие ведущие мировые производители (BMW, Honda, Hyundai, Mazda, Nissan, Peugeot, Toyota и др.) для тестирования своего оборудования зачастую применяют более сложные и жесткие тесты.

В табл. 3 и на рис. 7 приведены параметры



**Рис. 7. Параметры импульса № 1**

импульса № 1, на рис. 8 – импульсов № 3а/б. Как видно, амплитуда выбросов напряжения при использовании автомобильного аккумулятора напряжением 24 В может достигать 600 вольт (импульс № 1). На величину выбросов напряжения большое влияние оказывают паразитные параметры электропроводки – распределенная индуктивность и емкость (рис. 8).

**Таблица 3. Параметры тестового импульса № 1**

Наименование параметра	Напряжение батареи ( $V_B$ )	
	12 В	24 В
$R_i$ , Ом	10	50
$t_d$ , мс	2	1
$t_r$ , мкс	1	3
$t_1$ , с	0.5...5	
$t_2$ , мс	200	
$t_3$ , мкс	<100	

Причины возникновения выбросов напряжения длительностью сотни миллисекунд и более – плохой контакт, подключение в аварийных ситуациях дополнительного аккумулятора, его отключение (в этом случае бортовая сеть питается только от автомобильного генератора) и др. Тестовый импульс № 5а (рис. 9) имитирует ситуацию при отключении аккумулятора, и электропитании бортовой сети от генератора (т.н. режим load dump). Энергия такого импульса в системе с аккумулятором напряжением 24 В (сопротивлении источника  $R_i = 1$  Ом и длительности импульса – 350 мс) составляет 575 Дж (0.0002 лошадиные силы × час). Аналитические выражения, описывающие тестовые импульсы, и формулы для определения энергии приведены в стандарте ISO7637-2.

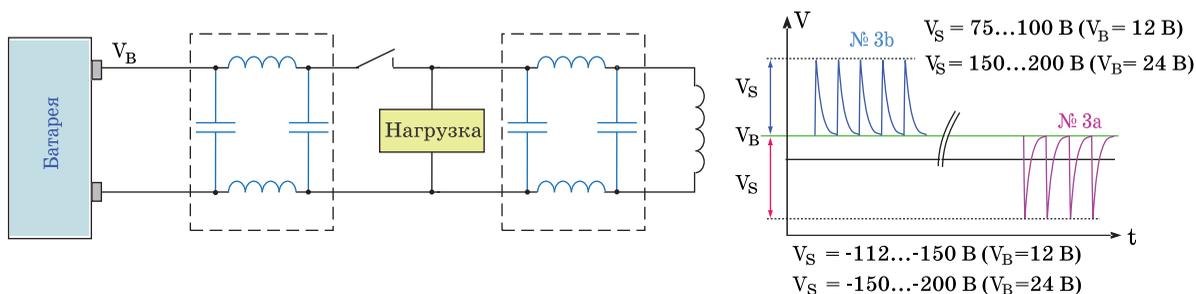
На протяжении многих лет ведущие производители электронных компонентов, при их тестировании на устойчивость при воздействии импульса № 5, использовали рекомендации стандарта ISO 7637-2. В 2010 г. этот стандарт был заменен новым ISO 16750-2, в котором рекомендуется использовать другие параметры тестовых импульсов. Сравнительные параметры импульса № 5а даны в табл. 4.

В стандарте ISO 7637-2 приведен также рекомендуемый перечень и условия проведения испытаний оборудования (табл. 5).

В табл. 6 приведены результаты испытаний TVS-диодов компании Littelfuse (TPSMA6L, TPSMB, TSPMC, TPSMD и TP6KE), проведенные в соответствии с рекомендациями стандарта ISO 7637-2. Как следует из данных TVS-диоды TPSMA6L, TPSMB, P6KE, TSPMC и TPSMD, соответственно мощностью 600, 600, 600, 1500 и 3000 Вт удовлетворяют требованиям стандарта. В режиме load dump в системах с напряжением бортовой сети 12 В, при сопротивлении генератора  $R_i > 4.5$  Ом, можно применять диоды типа TPSMD. Если  $R_i < 4.5$  Ом, следует использовать более мощные диоды типа SLD.

Перенапряжения в системе электроснабжения автомобиля, возникающие при отключении аккумулятора, и электропитании от генератора (load dump), характеризуются большой энергией. При использовании для ограничения напряжения TVS-диодов уровень тока, протекающего через диод, а, следовательно, выделяемая на нем мощность зависят от внутреннего сопротивления генератора ( $R_i$ ). В стандарте ISO7637-2 приведена формула для определения внутреннего сопротивления

$$R_i = 10 \times V_{ном} \times n / 0.8 \times I_{ном} \times 12000,$$



**Рис. 8. Параметры импульсов № 3а/б**

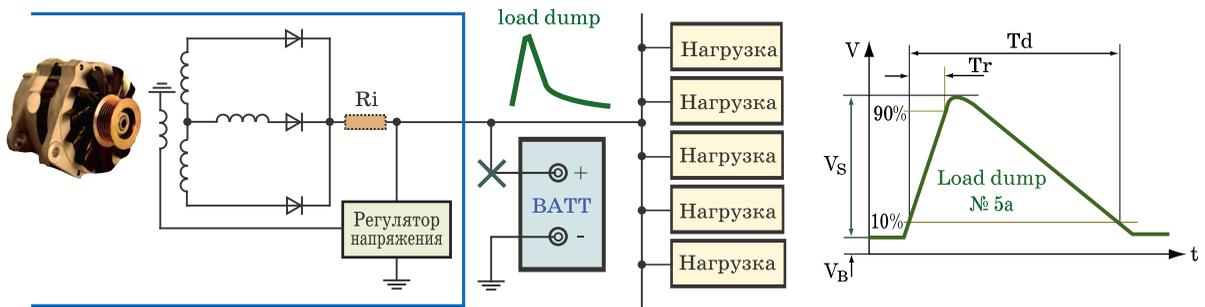


Рис. 9. Параметры импульса № 5а

Таблица 4. Сравнительные параметры импульса № 5а

Параметр	ISO16750-2		Число импульсов	ISO7637-2		Число импульсов
	Напряжение батареи			Напряжение батареи		
	12 В	24 В	10	12 В	24 В	1
$V_S, В$	79...101	151...202		65...87	123...174	
$V_B, В$	14	28		13...14	26...28	
$R_i, Ом$	0.5...4.0	1.0...8.0		0.5...4.0	1.0...8.0	
$t_d, мс$	40...400	100...350		40...400	100...350	
$T_r, мс$	10±0.5			10±0.5		

Таблица 5. Рекомендуемый перечень и условия проведения испытаний

Тестовый импульс	Батарея 12 В			Батарея 24 В		
	Категория жесткости испытаний		Кол-во импульсов, продолжительность тестирования	Категория жесткости испытаний		Кол-во импульсов, продолжительность тестирования
	3	4		3	4	
1	-75 В	-100 В	5000 имп.	-300 В	-600 В	5000 имп.
2а	37 В	112 В	5000 имп.	37 В	112 В	5000 имп.
2b	10 В	10 В	10 имп.	20 В	20 В	10 имп.
3а	-112 В	-220 В	1 час	-150 В	-300 В	1 час
3b	75 В	150 В	1 час	150 В	300 В	1 час
5а	65 В	87 В	1 имп.	123 В	173 В	1 имп.
5b			1 имп.			1 имп.

где,  $V_{ном}$  и  $I_{ном}$  – номинальные параметры генератора,  $n$  – скорость его вращения (об/мин). При использовании генератора с номинальными параметрами 14 В/60 А и  $n = 3000$  об/мин, получаем  $R_i = 0.73$  Ом.

Ток, протекающий через TVS-диод, определяется из простого выражения:

$$I = (V_S - V)/R_i,$$

где,  $V_S$  – амплитуда импульса,  $V$  – падение напряжения на TVS-диоде.

TVS-диоды серии SLD мощностью 2200/5000 Вт (10×150 мс/10×1000 мкс) соответствуют рекомендациям стандартов АЕС-Q101, ISO 7637, ISO 16750, IEC-61000-4-2, IEC 61000-4-4 и ориентированы на применение в автомобильной электронике, в том числе, и для защиты от выбросов напряжения, возникающих при отключении аккумулятора (load

Таблица 6. Результаты испытаний TVS-диодов компании Littelfuse

Тип	Батарея 12 В											
	Категория жесткости испытания 3					Категория жесткости испытаний 4						
	Тестовый импульс											
	1	2a	2b	3a	3b	1	2a	2b	3a	3b	5a	5b
	Напряжение, В											
	-75	37	10	-112	75	-100	112	10	-220	150	87	87
TPSMA6L	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TPSMB	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TPSMC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TPSMD	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		≥4.5 Ом
TP6KE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Тип	Батарея 24 В											
	Категория жесткости испытания 3					Категория жесткости испытаний 4						
	Тестовый импульс											
	1	2a	2b	3a	3b	1	2a	2b	3a	3b	5a	5b
	Напряжение, В											
	-300	37	20	-150	150	-600	112	20	-300	300	173	173
TPSMA6L	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TPSMB	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TPSMC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TPSMD	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
TP6KE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		

Таблица 7. Параметры некоторых TVS-диодов серии SLD

Тип		$V_{BR}$ ( $I_T = 5$ мА,) В		$V_R$ , В	$I_R$ , мкА	$I_{PP}$ , А	$V_C$ , В
		Мин.	Макс.				
SLD12U-017	SLD12-018	13.3	14.7	12	10	256.3	19.9
SLD15U-017	SLD15-018	16.7	18.5	15		209	24.4
SLD20U-017	SLD20-018	22.2	24.6	20		157.4	32.4
SLD28U-017	SLD28-018	31.1	34.4	28		112.3	45.4
SLD33U-017	SLD33-018	36.7	40.6	33		95.7	53.3
SLD43U-017	SLD43-018	49.0	54.2	43		73.6	69.4
SLD58U-017	SLD58-018	64.4	71.2	58		54.5	93.6
SLD60U-017	SLD60-018	68.4	75.6	60		52.7	96.8

dump). TVS-диоды серии SLD предназначены для монтажа в отверстия и имеют габаритные размеры 9.1×9.1 мм. Параметры некоторых TVS-диодов серии SLD (Littelfuse) даны в табл. 7.

Для TVS-диода SLD15U-017 на рис. 10 приведены графики зависимости допустимой амплитуды ( $V_S$ ) импульса № 5а от сопротивления источника и длительности ( $T_d$ ) для систем с на-

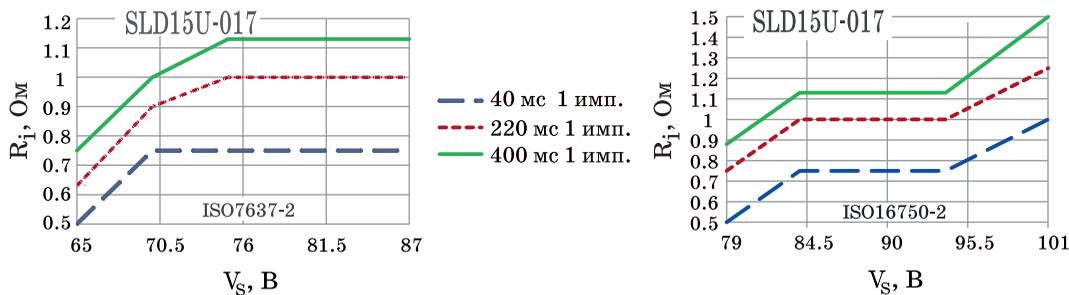


Рис. 10. Графики зависимости допустимой амплитуды от сопротивления источника и длительности импульсов

пряжением бортовой сети 12 В и с учетом рекомендаций соответствующих стандартов [2]. В [3] кроме стандартного набора параметров для TVS-диодов SLD15U-017, SLD15-018 и SLD28U-017, которые могут использоваться в качестве ограничителей напряжения в бортовых системах 12/24 В, приводится также зависимость допустимой амплитуды импульса от сопротивления генератора (рис. 11).

В автотранспортных средствах для передачи данных между устройствами широко используется высокоскоростная шина CAN (Control Area Network) и низкоскоростная LIN (Local Interconnect Network). Естественно, что на проводах сигнальных цепей вследствие индуктивных и емкостных связей могут возникать нежелательные перенапряжения.

Требования, а также методики проверки помехозащищенности автомобильного оборудования, в которых моделируются помехи в цепях, не относящиеся к цепям электропитания, приведены в стандарте ISO 7637-3 (Part 3: Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than sup-

ply lines). В стандарте описан набор тестов и методики испытаний для оценки помехозащищенности электронного оборудования. Предлагаются три методики: ICC (Inductive Coupling Clamp), DCC (Direct Capacitive Coupling) и CCC (Capacitive Coupling Clamp). Примеры реализации этих методик приведены на рис. 12.

Диапазон напряжений на входе/выходе LIN-приемопередатчиков: -15...24 В. В этом случае для защиты от перенапряжений можно рекомендовать использовать два TVS-диода – TPSMA6L15A и TPSMA6L24A, соответственно с напряжением пробоя 15 и 24 В и допустимой мощностью 600 Вт. Для защиты CAN-приемопередатчиков можно рекомендовать использовать пару симметричных TVS-диодов типа TPSMB24CA или TPSMB15CA (рис. 13).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для защиты цепей электронных устройств от воздействия перенапряжений могут использоваться различные методы защиты. Одним из эффективных схемотехнических способов за-

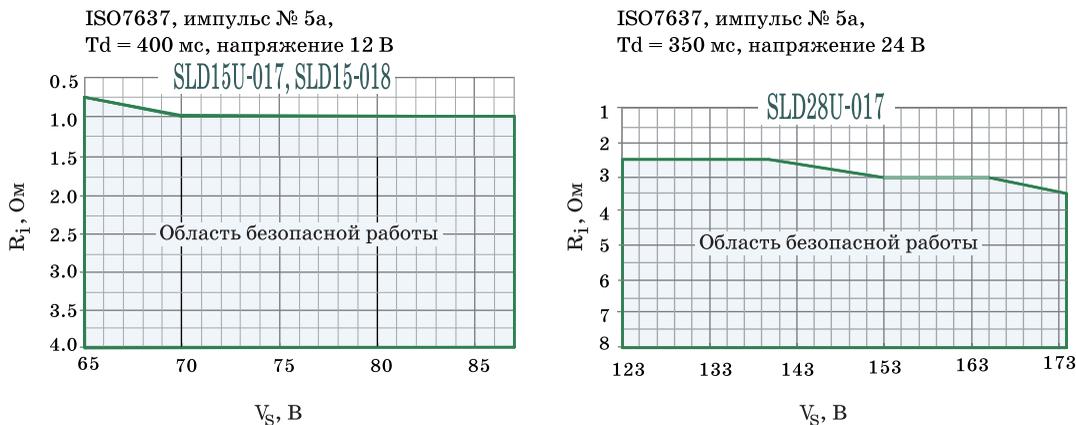


Рис. 11. Область безопасной работы TVS-диодов

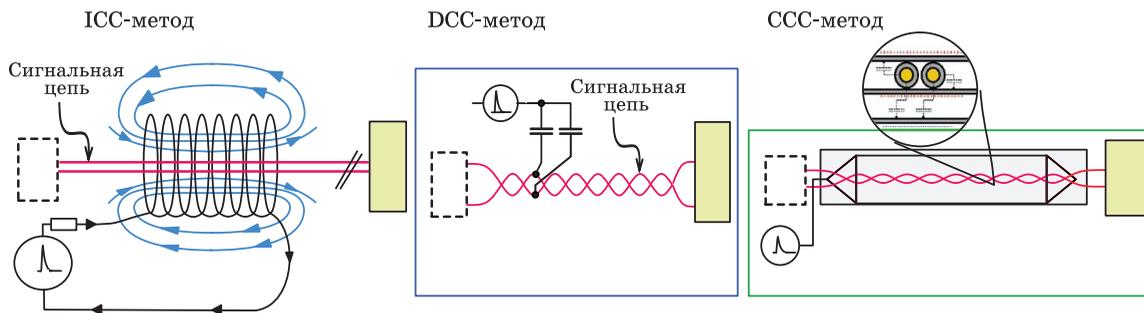


Рис. 12. Методики испытаний в соответствии со стандартом ISO7637-3

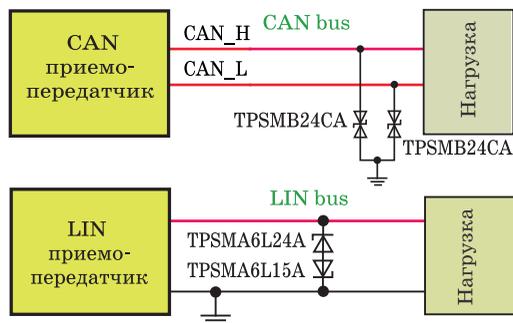


Рис. 13. Варианты защиты устройств от перенапряжений

щиты электротехнического оборудования от воздействия выбросов напряжения является

применение TVS-диодов.

Более полную информацию о TVS-диодах компании Littelfuse можно найти в [1-4].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Product catalog&design guide. TVS diode transient voltage suppression diode devices. – Littelfuse, 2014.
2. Automotive circuit protection using littelfuse automotive TVS diodes. – Littelfuse, 2015.
3. Transient voltage suppression diodes. 2200W, SLD series. – Littelfuse, 2015.
4. www.littelfuse.com.

# 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@vdm ais.ua  
 тел.: (0-44) 220-0101 (внутр. 1209)  
 факс: (0-44) 220-0202  
 Контактное лицо: Вадим Черный



Точность,  
простота,  
универсальность



# Лазерные дальномеры Fluke

Измеряемые параметры		Fluke 414D	Fluke 419D	Fluke 424D
Измерение расстояния, м	максимальное	50	80	100
	типовое	40	80	80
Погрешность измерения, мм	номинальная	±2	±1	±1
	максимальная	±3	±2	±2
Измерение наклона	диапазон, градус	–	–	360
	погрешность, градус	–	–	±2
	косвенное изм. высоты	–	+	+
Память, число измерений		–	20	20
Лазер		Класс 2, 635 нм, <1 мВт		
Автоматическое выключение лазера, с		90		
Автоматическое выключение питания, с		180		
Класс защиты		IP40	IP54	IP54
Калибровка		–	–	Наклон и компас

Лазерные дальномеры Fluke 414D, 419D и 424D выпущены взамен снятых в 2013 г. с производства дальномеров Fluke 411D, 416D и 421D.



**VD MAIS** – официальный дистрибьютор компании Fluke в Украине  
тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmias.ua, www.vdmias.ua

## КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ КОМПАНИИ ADI: ADA4077-2S



ADI'S DUAL-USE COMPONENTS:  
ADA4077-2S

**В** статье рассматриваются параметры ОУ ADA4077-2S компании Analog Devices.

*В. Охрименко*

Abstract - **T**he article discusses the features of the dual-use electronic components ADA4077-2S.

*V. Okhrimenko*

Компания Analog Devices, Inc. (ADI) известна инновационными разработками для оборонной и авиационно-космической индустрии. Производительность, надежность и качество предлагаемых электронных компонентов сделало компанию ADI одним из ведущих поставщиков Министерства обороны США (Department of Defense – DoD) и национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration – NASA) [1-4].

Не секрет, что к компонентам для космической и военной промышленности предъявляются повышенные требования по стойкости к дестабилизирующим воздействиям, в том числе и радиационной стойкости, надежности, отказоустойчивости, стабильности характеристик и пр.

Оборудование, предназначенное для использования агентством NASA, должно соответствовать рекомендациям пакета стандартов, принятых логистическим агентством вооруженных сил США (Defense Logistics Agency – DLA). В спецификациях приводятся различные уровни радиации, на воздействие которых должно тестироваться радиационно-устойчивое оборудование. Как правило, при тестировании, стандартный уровень поглощенной дозы радиации (Total Ionizing Dose – TID) не более 100 крад. Рад – единица измерения поглощенной дозы радиации (Radiation Absorbed Dose – Rad). Во многом, нормы поглощенной дозы радиации для космических приборов зависят от высоты орбиты. Кроме того, нормируется также мощность дозы. Как правило – это 50...300 рад (Si)/с, хотя иногда в зависимости от предполагаемой области применения используются и меньшие уровни.

При тестировании на устойчивость к погло-

щенной дозе радиации (TID) электронное оборудование (интегральные микросхемы) подвергается воздействию гамма-лучей от источника (изотопы кобальт-60) в течение определенного периода времени и при определенной мощности дозы. Процесс тестирования осуществляется в два этапа, которые между собой отличаются мощностью дозы, т.н. малой мощностью (Low Dose Rate – LDR), или высокой – (High Dose Rate – HDR). Аналогия довольно простая. Плащ из непромокаемой ткани должен выдерживать воздействие как небольшого тумана на протяжении длительного времени, так внезапный ливень (шторм).

Автоматическая межпланетная станция "Юнона", запущенная для исследования атмосферы планеты Юпитер в 2011 г., в августе 2016 г. достигла планеты Юпитер и находится на вытянутой полярной орбите с максимальным приближением к планете 5 тыс. км. Юпитер обладает самым мощным в Солнечной системе магнитным полем (примерно, в 11 раз сильнее поля Земли), которое порождает наличие мощнейших радиационных поясов вокруг планеты, уровень радиации в которых может достигать 20 млн рад, что эквивалентно уровню радиации при одновременном выполнении 100 млн рентгеновских зубных снимков в стоматологическом кабинете. Поэтому даже электронное оборудование прошедшее тестирование на радиационную стойкость следует экранировать.

Компания ADI предлагает широкую номенклатуру электронных компонентов, ориентированных на применение в оборонной и авиационно-космической отрасли [4]. Один из них – ОУ ADA4077-2S. Сдвоенный усилитель ADA4077-2 характеризуется малым входным напряжением смещения (макс. значение 25 мкВ)

и его высокой стабильностью (0.25 мкВ/С) в диапазоне температур (-40...125 С). Спектральная плотность входного шумового напряжения – 7 нВ/√Гц. Подавление пульсаций источника питания (Power Supply Rejection Ratio – PSRR) не менее 123 дБ. Стабильность усилителя гарантируется при емкостной нагрузке 1000 пФ без цепей внешней компенсации. Напряжение питания от ±2.5 до ± 18 В. ОУ ADA4077-2 ориентирован на использование с разными типами датчиков (термодатчиками, термопарами, тензодатчиками и пр.).

Все компоненты для космической индустрии подвергаются тестированию на устойчивость к поглощенной дозе радиации. В процессе испытаний измеряются многие электрические параметры компонентов. К примеру, при тестировании ОУ ADA4077-2S измеряется ток потребления, напряжение смещения, уровень выходного напряжения, ток утечки по входу, коэффициент подавления пульсаций источника питания, коэффициент усиления, скорость нарастания выходного напряжения, ток короткого замыкания и др. В таблице приведены некоторые результаты тестирования ОУ ADA4077-2S на устойчивость к поглощенной дозе радиации (HDR = 140 рад/с).

Дополнительную информацию о ADA4077-2S, а также о другой продукции двойного назначения компании Analog Devices можно найти в сети Интернет по адресу: [www.analog.com](http://www.analog.com) или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании Analog Devices.

**Результаты тестирования  
ОУ ADA4077-2S на устойчивость  
к поглощенной дозе радиации  
(HDR = 140 рад/с).**

№	PSRR, дБ		
	PRE	100 крад	24 ч
1	128.64854	128.72363	128.64536
4	127.64551	127.98461	127.90793
5	127.59042	127.66267	127.64434
6	127.92072	127.97176	128.07635
7	127.01562	127.20908	127.38772
8	127.15716	127.15201	127.10537
9	127.73722	127.63824	127.69513
10	127.28646	127.75256	127.73754
11	126.73690	127.09747	127.19889
12	127.24556	127.13783	127.31849
13	127.77197	127.86891	127.90878
14	127.29993	127.63181	127.72887

### ЛИТЕРАТУРА

1. Space qualification of components: part 1.
2. LOW dose radiation test report ADA4077-2S.
3. HIGH dose radiation test report ADA4077-2S.
4. <https://landandmaritimeapps.dla.mil/Downloads/MilSpec/Smd/14233.pdf>.

**VD MAIS**

**Электронные  
компоненты  
и системы**



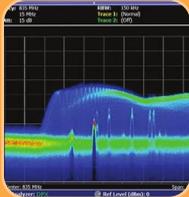
- Микросхемы • Датчики • Оптоэлектроника
- Источники питания • Драйверы светодиодов
- Резонаторы и генераторы
- Дискретные полупроводники
- Пассивные компоненты
- СВЧ-компоненты
- Системы беспроводной связи

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

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

**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@vdmis.ua](mailto:info@vdmis.ua), [www.vdmis.ua](http://www.vdmis.ua)

## ГЕНЕРАТОРЫ MICROSEMI С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ОТ GPS

**В** статье приведена краткая информация о термостатированных кварцевых и квантовых генераторах, синхронизируемых от GPS. Приведены параметры некоторых модулей, предназначенных для использования в системах связи, авионике, радиолокации и других областях техники, в которых выдвигаются жесткие требования к стабильности частоты и временному дрейфу опорных сигналов.

В. Макаренко



### OSCILLATORS MICROSEMI SYNCHRONIZATION FROM GPS

**Abstract** – The article presents brief information about temperature-controlled quartz oscillators that are synchronized by GPS. Given the parameters of some modules designed for use in communication systems, avionics, radar and other fields of technology, which set out stringent requirements for frequency stability and time drift of the reference signal.

V. Makarenko

Первичные эталонные генераторы (ПЭГ) являются управляющими генераторами в сетях SDH и обеспечивают точность установки частоты не хуже, чем  $10^{-11}$ . Эти генераторы строятся на основе рубидиевых или цезиевых стандартов частоты [1]. ПЭГ могут быть построены на основе систем всемирного координированного времени GPS. Для построения таких ПЭГ используют местные рубидиевые или кварцевые генераторы, которые синхронизируются сигналами, получаемыми от GPS. Такие генераторы можно использовать и в измерительных приборах в качестве высокостабильных источников опорной частоты.

Наличие приемника GPS в составе кварцевого генератора позволяет осуществлять не только синхронизацию самого генератора, но и формировать координаты объекта и другие параметры. Это позволяет использовать такие генераторы в беспилотных летательных аппаратах и другой авиационной технике, в системах связи, радиолокации и формирования активных радиопомех.

Сигналы GPS – прекрасный эталон времени. Каждый спутник содержит две пары рубидиевых и цезиевых атомных часов. Они контролируются по атомным часам на Земле, а вся система непрерывно калибруется по мировому стандарту времени – универсальному координированному времени (Universal Time Coordinated, UTC).

Сигнал от каждого спутника очень точен. Временная нестабильность не превышает 1 нс. Однако, при использовании этих сигналов для

синхронизации различных устройств эта нестабильность может составлять 50 нс. Самый большой источник ошибок – код ограниченного доступа (Selective Availability, SA). Министерство Обороны США преднамеренно ухудшает точность GPS, вынуждая медленно дрейфовать частоту спутниковых часов GPS. При наличии SA в сигнал каждого спутника вносится ошибка синхронизации, равная приблизительно 100 нс (за 1 с), и ошибка частоты, равная приблизительно  $10^{-8}$ . При отсутствии SA, ошибки синхронизации были бы в лучшем случае приблизительно 10 нс и ошибка не более  $10^{-10}$ . При условии хорошего обзора неба многоканальный GPS-приемник может осреднять ошибки от SA по семи или восьми спутникам, уменьшая эффект SA почти в три раза. Это нужно учитывать при выборе генератора, синхронизируемого сигналами GPS.

Компания Microsemi выпускает ряд кварцевых и атомных генераторов, синхронизируемых от GPS [2]. Это модули GPS-500, GPS-1000, GPS-2000, GPS-2500, GPS-2700 и GPS-2750, SSM-2000 и SSM-2650. Рассмотрим основные характеристики некоторых из них.

#### Модуль 10 МГц ОСХО GPS-1000 [3]

Это модуль (рис.1) небольшого размера, содержащий термостатированный генератор ОСХО (Oven-Controlled Crystal Oscillator) с частотой выходных колебаний 10 МГц, и приемник сигналов GPS, осуществляющий синхронизацию генератора (GPSDO).



Рис. 1. Внешний вид модуля GPS-1000

Основные характеристики GPS-1000:

- выходной сигнал гармонический
- частота выходного сигнала 10 МГц
- амплитуда выходного сигнала +13 дБм
- низкий уровень фазовых шумов
- дополнительный выход прямоугольного сигнала с периодом 1 с (КМОП 3.3 В)
  - приёмник GPS отслеживает до 50 сигналов
  - уровень сигналов GPS не менее -160 дБм
  - приёмник совместим с сигналами GPS, WAAS, EGNOS, MSAS и Галилео
  - быстрый разогрев.

Программное обеспечение модуля GPS-1000 поддерживает бортовые приложения авионики, формируя 3 вектора скорости (выход сигналов скорости для X, Y и Z плоскостей). Устройство может также контролироваться и управляться через RS-232 порт с помощью стандартных команд SCPI.

Основные характеристики модуля:

- отклонение от ежесекундных импульсов (1 PPS) UTC не более  $\pm 50$  нс (среднеквадратическое значение)
  - нестабильность задержки относительно сигналов UTC не более  $\pm 11$  мкс за 3 часа работы при температуре 25 °C
  - частота сигнала GPS L1, C/A 1574 МГц
  - переключение антенны GPS в активный режим сигналом с уровнем 3.3 В
    - уровень сигнала при активизации не менее -144 дБм, в режиме слежения не менее -160 дБм
    - холодный старт не более 45 с, горячий старт не более 1с
      - ADEV (Allan Deviation statistic) за 1 с составляет  $10^{-11}$
      - время прогрева после которого достигается стабильность частоты  $10^{-8}$  не более 5 минут
      - диапазон напряжения питания 8...14 В (12 В

номинальное значение)

- потребляемая мощность не более 1.8 Вт (типичное значение 1.35 Вт)

- диапазон рабочих температур 0...60 °C
- габаритные размеры 1×2.5×0.5 дюйма.

Основные характеристики кварцевого генератора

- нестабильность частоты выходного сигнала через 1 час работы не более  $\pm 2 \cdot 10^{-8}$  (без использования сигналов GPS) при температуре 25 °C и  $\pm 2.5 \cdot 10^{-8}$  при более высокой температуре
  - амплитуда выходного сигнала  $13 \pm 3$  дБм
  - спектральная плотность фазового шума при отклонении от центральной частоты 1 Гц не более -80 дБн/Гц, 10 Гц – -110 дБн/Гц, 100 Гц – -135 дБн/Гц, 1 кГц – -145 дБн/Гц, 10 кГц – -145 дБн/Гц.

Малые габариты и быстрый горячий старт позволяют использовать модуль GPS-1000 даже в небольших беспилотных летательных аппаратах.

### Модуль GPS-2000

Модуль GPS-2000 [4] имеет улучшенные характеристики. Внешний вид модуля приведен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид модуля GPS-2000

По сравнению с GPS-1000 в GPS-2000 уменьшена нестабильность частоты до  $\pm 3 \cdot 10^{-10}$  после трех часов работы, уменьшен уровень фазового шума до -72 дБн/Гц при отклонении от центральной частоты 1 Гц, и -150 дБн/Гц при отклонении частоты 10 кГц, расширен диапазон рабочих температур до 0...75 °C. Увеличена потребляемая мощность до 3.2 Вт и увеличены габариты до 1.5×3.0×0.65 дюйма. Модуль содержит встроенный усилитель с тремя выходами гармонического сигнала и один

выход LVDS. Частота выходного сигнала, как и в GPS-1000 равна 10 МГц. Остальные характеристики очень близки к характеристикам модуля GPS-1000.

Даже при отсутствии SA сигнал GPS не позволяет обеспечить стабильность эталонной частоты, требуемой для технологии CDMA. Атомные генераторы и даже многие кварцевые генераторы, обеспечивают на коротких интервалах времени более стабильную частоту, чем GPS. Тем не менее, все генераторы имеют дрейф частоты и фазы, величина которых зависит от типа используемого генератора. В конечном счете, даже сложный и дорогой цезиевый генератор будет иметь дрейф по отношению к UTC. А вот сигнал GPS в долговременном плане всегда калиброван в пределах нескольких сотен наносекунд относительно UTC, хотя в нем и наблюдаются кратковременные изменения задержки в ту или иную сторону.

Для удовлетворения высоких требований к стабильности временного положения и частоты сигналов синхронизации компания Microsemi выпускает генераторы на основе атомных часов (CSAS) 10 МГц с синхронизацией по GPS (GPSDO), использующие в своем составе атомные часы чип-фактора QUANTUMTM SA.45s.

### Модули GPS-2700 и GPS-2750

Модули GPS-2700 и GPS-2750 (рис. 3), используют атомные часы чип-фактора MicrosemiQuantumTM SA.45s в качестве опорных генераторов [5]. Эти устройства обеспечивают высокие характеристики в режиме удержания, сверхнизкое энергопотребление, малое время прогрева, высокие показатели точности сигнала 1 PPS и при этом имеют малые габариты. Оба модуля формируют выходной сигнал с частотой 10 МГц. Диапазон рабочих температур модуля GPS-2700 составляет 0...75 °С, а GPS-2750 – расширенный, от -40 до 85 °С.

Такие параметры позволяют использовать модули Microsemi® GPS-2700 и GPS-2750 в переносных радиостанциях, терминалах военной системы спутниковой связи (MILSATCOM), авионике беспилотных автономных систем, а также для применения в устройствах, работающих при высоких ускорениях (например, в реактивных истребителях). Во всех этих при-



Рис. 3. Внешний вид модуля GPS-2700

ложениях все чаще требуется повышенная производительность даже в условиях отсутствия сигнала GPS. Другим применением этих устройств является сетевая синхронизация времени в системах мобильной связи, например, в базовых станциях.

Основные параметры модулей GPS-2700 (GPS-2750):

- долговременная нестабильность частоты не более  $3 \cdot 10^{-10}$  в месяц без использования GPS
- нестабильность частоты не более  $\pm 9 \cdot 10^{-10}$  при изменении температуры от 0 до 35 °С (без использования GPS)
- отклонение от ежесекундных импульсов (1 PPS) UTC не более  $\pm 15$  нс (среднеквадратическое значение)
- нестабильность частоты не более  $\pm 2 \cdot 10^{-10}$  после 3-х минут прогрева при использовании GPS
- нестабильность задержки относительно сигналов UTC не более  $\pm 2$  мкс за 24 часа работы при температуре 25 °С (через 1 час после включения слежения за сигналами GPS)
- ADEV (с использованием GPS) за 1 с не более  $10^{-10}$ , за 10 с –  $2.5 \cdot 10^{-11}$ , за 100 с –  $2 \cdot 10^{-11}$ , за 1000 с –  $1 \cdot 10^{-11}$ , за 10 000 с –  $2 \cdot 10^{-12}$
- выход импульсов 1 PPS (в уровнях КМОП 5 В) со сдвигом относительно сигналов UTC не более 1 нс
- 4 изолированных выхода гармонического сигнала с частотой 10 МГц с уровнем  $13 \pm 3$  дБм
- выход прямоугольных импульсов с частотой 5 МГц в уровнях КМОП 5 В
- переходное затухание между выходами на частоте 10 МГц не менее 85 дБ, на частоте 2 МГц – не менее 98 дБ

- управление через порт RS-232 (или USB) с поддержкой команд SCPI-99
- частота сигнала GPS L1, C/A 1574 МГц
- переключение антенны GPS в активный режим сигналом с уровнем 5 В
- GPS-приемник имеет 50 каналов, совместим с сигналами GPS, WAAS, EGNOS, MSAS
- уровень сигнала при активизации не менее -144 дБм, в режиме слежения не менее -160 дБм
- холодный старт не более 45 с, горячий старт не более 1с
- GPS-приемник оптимизирован для использования в высокоскоростных транспортных средствах
- адаптивный фильтр (автоматическое включение и регулировка чувствительности)
- формирование сигнала тревоги в уровнях TTL при потере сигнала GPS
- диапазон напряжения питания от 8 до 36 В или 5 В через мини USB
- потребляемая мощность не более 1.4 Вт при температуре 25 °С (менее 1 Вт при напряжении питания 12 В и выходом КМОП)
- диапазон рабочих температур 0...35 °С (GPS-2700) и -10...35 °С (GPS-2750)
- средняя наработка на отказ >100 000 часов (0...35 °С)
- спектральная плотность фазового шума выходного сигнала при отклонении от центральной частоты:
  - ◆ 10 Гц -90 дБн/Гц
  - ◆ 100 Гц -125 дБн/Гц
  - ◆ 1 кГц -145 дБн/Гц
  - ◆ 10 кГц -152 дБн/Гц
  - ◆ 100 кГц -153 дБн/Гц.

К модулю для контроля параметров можно подключить ЖК-дисплей (рис. 4), на который



**Рис. 4. Модуль GPS-2700 с подключенным ЖК-дисплеем**

может выводиться информация о дате и времени, количестве спутников, координатах местоположения, высоте над уровнем моря и многих других параметрах.

Более подробную информацию о модулях GPS-2700 и GPS-2750 можно найти в [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев К.Ф. Основы SDH: Монография. – К.: ИВЦ "Видавництво "Політехніка"", 2003. – 584 с.
2. <http://www.microsemi.com/products/timing-synchronization-systems/embedded-timing-solutions/modules/gps-disciplined-oscillators>.
3. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133392-gps-1000](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133392-gps-1000).
4. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133396-gps-2000](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133396-gps-2000).
5. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133346-gps-2700-and-gps-2750](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133346-gps-2700-and-gps-2750).
6. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133459-gps-2750-manual](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133459-gps-2750-manual).

## VD MAIS

### Разработка и серийное производство электроники



- разработка электрических схем
  - проектирование и изготовление печатных плат
  - комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
  - контрактное производство (по стандарту IPC-A-610):
    - автоматизированный монтаж SMD-компонентов и автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
    - изготовление опытных образцов изделий
    - мелко- и крупносерийное производство
  - многолетний опыт разработки и производства
  - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.  
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: info@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 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.  
Цены – оптимальные.

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



# Широкий выбор паяльных станций и инструментов компании PACE для монтажа/демонтажа электронных компонентов любого поколения



ST-25



MBT-301



MBT-350



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

**VD MAIS – официальный дистрибьютор компании Pace в Украине**  
тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua), [www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА В NI MULTISIM

**В** статье рассмотрены вопросы выбора параметров моделирования и инструментов анализа при проектировании высокочастотных устройств. Сформулированы рекомендации, позволяющие минимизировать ошибки при анализе работы ВЧ-устройств.

В. Макаренко

### THE CHOICE OF SIMULATION PARAMETERS AND ANALYSIS TOOLS IN THE NI MULTISIM

**Abstract** – In the article the questions of choice of parameters of modeling and analysis tools when designing high-frequency devices are considered. Recommendations in order to minimize error in the analysis of RF devices are given

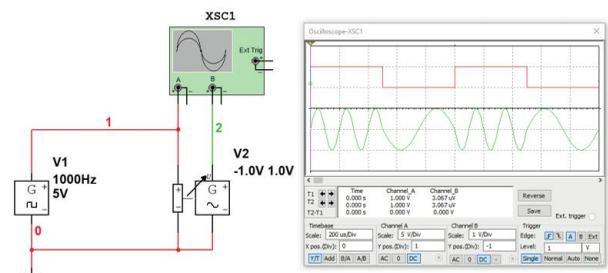
V. Makarenko

При использовании NI Multisim для моделирования различных устройств, работающих на низких частотах, как правило, проблем не возникает. А если какие-то параметры моделирования не позволяют корректно провести анализ исследуемой модели, то помощи ассистента, автоматически подбирающего параметры моделирования, оказывается вполне достаточно.

Однако при работе на высоких частотах или использовании управляемых источников сигналов, представленных в NI Multisim, этой помощи окажется недостаточно. Хотя информация о том, как нужно выбрать параметры моделирования и содержится в файле подсказки, многие пользователи об этом не задумываются и рассчитывают на то, что программа автоматически установит требуемые для анализа параметры. Однако это не так. В результате моделирование окажется либо невозможным, либо будет получен результат, абсолютно не соответствующий тому, который был бы получен при использовании реальных электронных компонентов.

Проиллюстрируем это на примере. Схема модели для исследований приведена на рис. 1. В качестве генератора, управляемого напряжением (ГУН), в Multisim можно использовать источник VOLTAGE\_CONTROLLED\_SINE\_WAVE (V2 на рис. 1). Чтобы наглядно продемонстрировать как изменяется не только частота, но и форма сигнала при неверно установленных параметрах моделирования, используем в качестве источника управляющего сигнала V1 генератор однополярных прямоугольных импульсов CLOCK\_VOLTAGE.

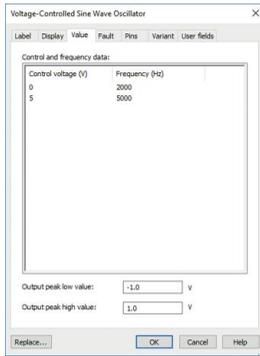
Для первого эксперимента зададим период



**Рис. 1. Схема для исследования влияния шага моделирования на форму сигнала генератора VOLTAGE\_CONTROLLED\_SINE\_WAVE**

следования импульсов генератора V1 равным 1 мс, скважность импульсов 50%, а у генератора V2 значение частоты выходного сигнала 2000 Гц при нулевом значении управляющего напряжения и 5000 Гц – при напряжении управления 5 В (рис. 2). Амплитуду выходного гармонического сигнала установим равной  $\pm 1$  В. Для установки параметров V2 достаточно дважды щелкнуть "мышкой" по иконке генератора на схеме. Осциллограммы сигналов на входе управления (красный) и на выходе V2 (зеленый) приведены на рис. 1. На выходе V2 формируется сигнал с частой манипуляцией. Причем форма сигнала как низкой, так и более высокой частоты, соответствует гармоническому сигналу.

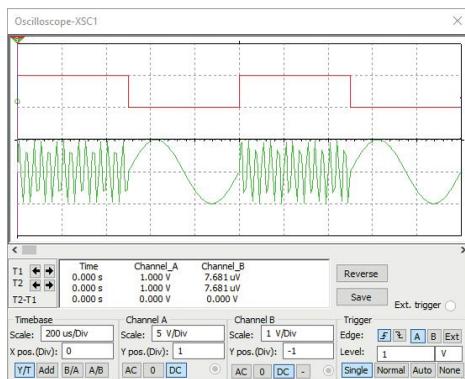
Зададим другой диапазон изменения частоты при сохранении остальных параметров. Напряжению 0 В будет соответствовать частота 2 кГц, а 5 В – 25 кГц. Форма сигнала на выходе



**Рис. 2. Окно установки параметров генератора VOLTAGE\_CONTROLLED\_SINE\_WAVE**

V2 приведена на рис. 3. Как следует из этого рисунка форма сигнала высокой частота сильно искажена. Это объясняется следующими причинами.

В NI Multisim все сигналы формируются

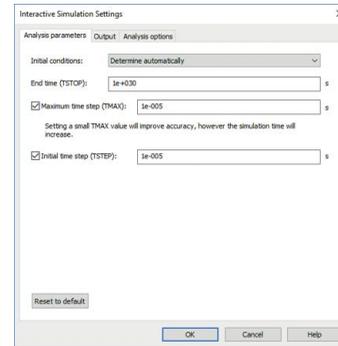


**Рис. 3. Осциллограммы сигналов на входе управления (красный) и на выходе V2 (зеленый) при максимальном значении выходной частоты 25 кГц**

цифровыми методами. Чтобы форма сигнала была близка к идеальной, необходимо выполнения условия  $f_d \geq 100f_B$ , где  $f_d$  – частота дискретизации,  $f_B$  – верхняя частота в спектре сигнала, который нужно сформировать или исследовать. Конечно, можно установить и меньшее значение частоты дискретизации (не менее  $10f_B$ ), но это приведет к ухудшению формы сигнала и уменьшению точности анализа. В параметрах Multisim вместо частоты дискретизации фигурирует величина обратная частоте – шаг анализа во времени (Maximum time step – TMAX), который по умолчанию установлен равным  $10^{-5}$  с (рис. 4). Установка другого значения временного шага осуществляется пу-

тем выбора в меню Simulate пункта Interactive Simulation Settings, после чего открывается окно установки параметров, приведенное на рис. 4.

Проверим это утверждение эксперимен-

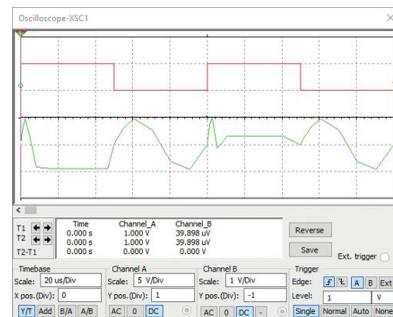


**Рис. 4. Окно установки временного шага анализа**

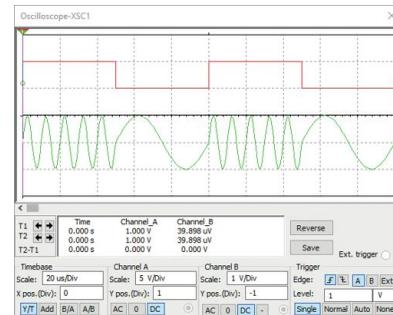
тально. Для этого зададим значения минимальной и максимальной частоты 10 и 100 кГц, соответственно. В соответствии с приведенными выше рекомендациями частоту дискретизации следует выбрать равной 10 МГц, что соответствует шагу временного анализа  $TMAX = 10^{-7}$  с. Уменьшим длительность периода генератора V1 до 0.1 с для ускорения процесса анализа.

Как следует из рис. 5, а, при установленном

а)



б)



**Рис. 5. Форма выходного сигнала с частотой 10/100 кГц при шаге анализа  $10^{-5}$  с (а) и  $10^{-7}$  с (б)**

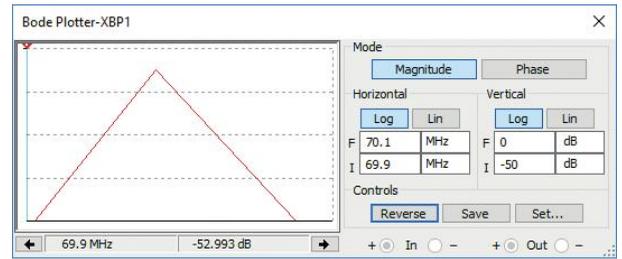
по умолчанию временном шаге сигнал настолько искажен, что использовать его невозможно. А при уменьшении шага ТМАХ до рассчитанного значения, равного  $10^{-7}$  с, форма сигнала соответствует требуемой. При выборе шага анализа следует учитывать, что чем меньше шаг, тем больше время, необходимое для выполнения анализа, и тем выше точность полученных результатов.

При анализе параметров моделей высококачественных устройств виртуальные инструменты Multisim не всегда позволяют провести корректные измерения. Рассмотрим один из таких случаев на примере анализа характеристик узкополосного LC-фильтра.

Фильтр спроектирован по методике, приведенной в [1]. И по расчету имеет такие характеристики: значение центральной частоты 70 МГц; полоса пропускания фильтра 100 кГц; нормированная частота среза 2.05; неравномерность АЧХ в полосе пропускания не более 0.4 дБ; величина гарантированного затухания не менее 55 дБ; сопротивление нагрузки 100 Ом.

При выборе аппроксимации по Чебышеву была реализована модель фильтра 7-го порядка, приведенная на рис. 6. Измерение АЧХ с помощью Боде-плоттера XBP1 с параметрами, установленными по умолчанию, дало результат, приведенный на рис. 7. Как следует из рисунка, АЧХ имеет значительную неравномерность в полосе пропускания, примерно 13 дБ. Число точек анализа было задано максимально возможным равным 1000.

Конечно же, это совершенно не совпадает с результатами расчетов. Однако измерение с помощью Боде-плоттера АЧХ фильтра, рассчитанного на центральную частоту 70 МГц, при установке значений максимального шага



**Рис. 7. АЧХ фильтра, полученная в результате моделирования при стандартных параметрах, установленных по умолчанию**

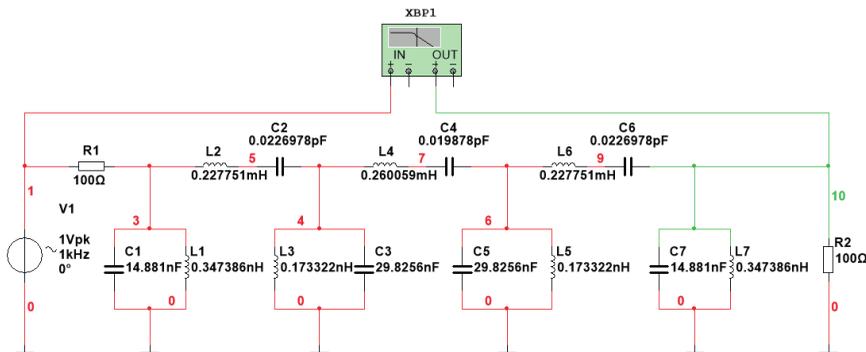
анализа ТМАХ от  $10^{-12}$  до  $10^{-15}$  с не привели к желаемому результату. Была получена такая же форма АЧХ. Это свидетельствует об ограничениях анализа, проводимого с помощью этого инструмента.

Подтверждением служит результат анализа по переменному току (AC analysis). Для получения требуемого результата недостаточно задать параметры интерактивного моделированного, указанные выше. Необходимо задать начальное и конечное значение частоты анализа (FSTART и FSTOP), масштаб по горизонтали (Sweep type) линейный, масштаб по вертикали (Vertical scale) логарифмический в дБ (Decibel), количество точек анализа (Number of points per decade) не менее 100.

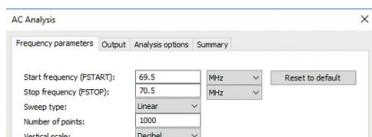
При измерении АЧХ фильтра были заданы параметры моделирования, приведенные на рис. 8.

Результаты измерений приведены на рис. 9. Они полностью соответствуют рассчитанным значениям.

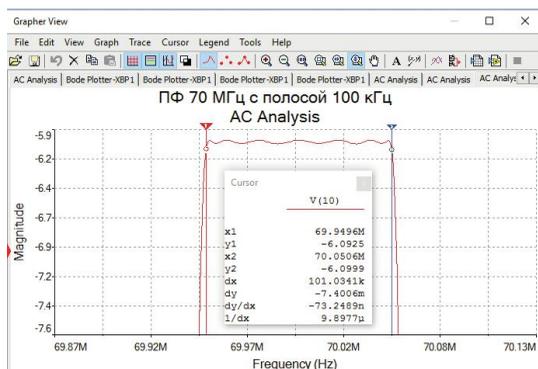
Приведенные выше результаты позволяют сделать некоторые выводы:



**Рис. 6. Модель полосового фильтра**



**Рис. 8. Параметры моделирования, установленные для измерения АЧХ в режиме AC Analysis**



**Рис. 9. Результаты измерения АЧХ фильтра в режиме AC Analysis**

1. При анализе работы высокочастотных устройств необходимо правильно задать максимальный шаг анализа TMAX, учитывая со-

отношение  $TMAX \leq 1/100f_B$ .

2. Поскольку, кроме функциональных возможностей, остальные параметры инструментов анализа NI Multisim не документированы, следует экспериментально определить их предельные возможности, сравнивая результаты, полученные с помощью разных методов анализа.

3. Для повышения достоверности полученных результатов анализ работы устройств и его параметров желательно проводить с использованием различных инструментов и затем сравнить полученные результаты.

4. При исследовании ВЧ-устройств следует по возможности минимизировать диапазон частот, в котором проводится анализ работы устройства, для повышения точности и сокращения времени измерений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров. США, 1969. Пер. с англ., под ред. А. Е. Знаменского. М., "Сов. радио", 1974. – 288 с.

People | Power | Partnership

www.HARTING.com

**HARTING – это качество!**

Переключатели mCon-Switch производства компании HARTING — идеальные сетевые компоненты

Интеллектуальные сетевые компоненты, высокое качество которых соответствует бренду HARTING, гарантируют оптимизацию функций управления IT-ресурсами систем автоматизации производства. Изготавливаются под заказ для упрощения соединений в сети Ethernet.

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

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

# О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ВЕРСИЙ NI MULTISIM

**В** статье рассмотрены особенности моделей некоторых операционных усилителей в базе компонентов NI Multisim. На простых примерах показано, что применение компонентов, модели которых не соответствуют характеристикам реальных ИМС, может привести к ошибкам при проектировании различных электронных устройств. Сформулированы рекомендации, позволяющие уменьшить риск неверного решения при моделировании аналоговых устройств с помощью NI Multisim.

В. Макаренко

## SOME FEATURES OF COMPONENT MODELS OF DIFFERENT VERSIONS OF NI MULTISIM

**Abstract** – In the article the peculiarities of some models of operational amplifiers in the component database NI Multisim are given. In simple examples it is shown that application components of the model do not correspond to the real characteristics of ICs, may lead to errors in the design of various electronic devices. Recommendations to reduce the risk of wrong decisions when modeling analog devices using NI Multisim are considered.

V. Makarenko

При моделировании аналоговых устройств с помощью NI Multisim нередки случаи, когда модели усилителей не только содержат неточности, но и отличаются в различных версиях программы. Рассмотрим пример неинвертирующего усилителя (рис. 1), реализованного на ОУ ADA4000, выпускаемого компанией Analog Devices.

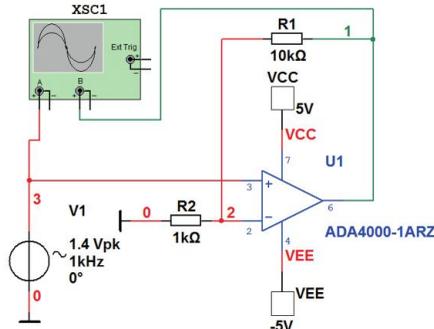
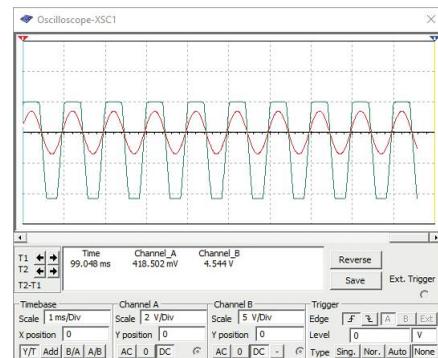


Рис. 1. Модель для исследования неинвертирующего усилителя

Диапазон допустимых значений напряжения питания этого усилителя от  $\pm 4$  до  $\pm 18$  В. Следует ожидать, что напряжение на выходе усилителя не превысит значения  $\pm 5$  В при установленных на схеме источниках питания  $\pm 5$  В. На рис. 2 приведены осциллограммы сигналов на входе (красная) и выходе (зеленая) усилителя, полученные в различных версиях Multisim.

а)



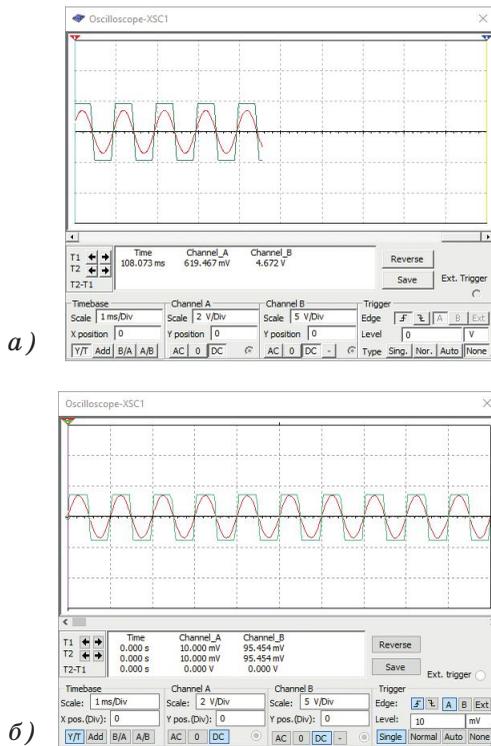
б)



Рис. 2. Осциллограммы сигналов на входе (красная) и выходе (зеленая) усилителя с ОУ ADA4000, полученные в Multisim версии 10 (а) и версии 13 и 14 (б)

Как следует из рис. 2, а, в версии 10 отрицательная полуволна больше положительной и ее амплитуда составляет 12 В (чувствительность осциллографа по входу В установлена

равной 5 В). А вот для версии 13 и 14 Multisim обе полуволны имеют амплитуду 12 В. Ни в одной из версий программы не получен верный результат. Для сравнения на рис. 3 приведены осциллограммы сигналов, полученные при замене ОУ на ИМС типа AD8671 в Multisim версии 10 (рис. 3,а) и версии 14 (рис. 3,б).



**Рис. 3. Осциллограммы сигналов на входе (красная) и выходе (зеленая) усилителя с ОУ ADA8671 полученные в Multisim версии 10 (а) и версии 14 (б)**

Как видим, и в этом случае наблюдаются различия в осциллограммах, но амплитуда на выходе усилителя уже не превышает напряже-

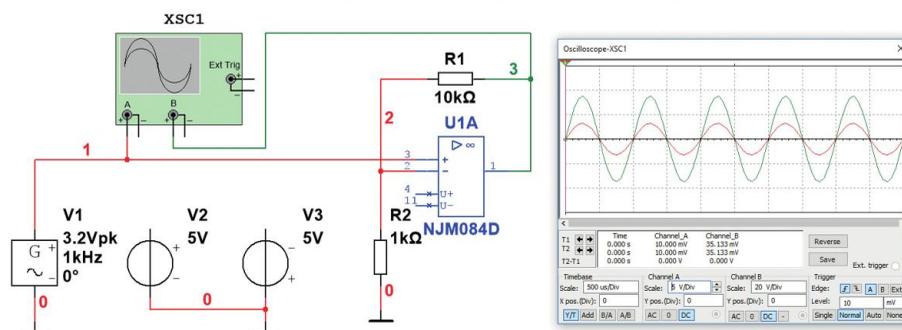
ние питания, а осциллограммы отличаются только абсолютным значением амплитуды.

Если же использовать в качестве ОУ ИМС типа NE5532, то независимо от напряжения питания на выходе усилителя будет сформирован неограниченный сигнал, амплитуда которого определяется только значением входного сигнала и коэффициентом усиления усилителя. При амплитуде входного сигнала 1000 В на выходе формируется неискаженный сигнал амплитудой 12 кВ. И это не единственные примеры некорректных моделей в базе программы. В каждой из версий можно найти такие микросхемы, в которых выходное напряжение не соответствует допустимому значению.

Например, все модели операционных усилителей компании NJR (New Japan Radio) ведут себя аналогично ИМС типа NE5532. Усилители от OP01 (модель 1998 года) до OP06, TLC2202 не только формируют на выходе сигнал неограниченной амплитуды, но и работают, как и усилителей компании NJR, без подключения источников питания (рис. 4). Т.е. модели этих усилителей нужно использовать осторожно, либо отказаться от их использования.

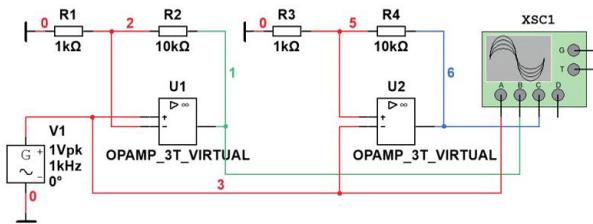
На рис. 4 чувствительность канала А осциллографа XSC1 установлена равной 5 В/дел, а канала В – 20 В/дел.

Еще с одним примером некорректной работы моделей можно ознакомиться в [1]. При использовании виртуальных операционных усилителей OPAMP\_3T\_VIRTUAL или OPAMP\_5T\_VIRTUAL для реализации усилителя оказывается совершенно не важен характер обратной связи, введенной для формирования заданного коэффициента усиления. Такой виртуальный ОУ абсолютно одинаково реагирует как на отрицательную, так и положитель-

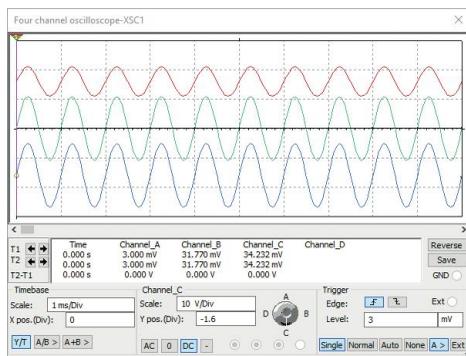


**Рис. 4. Модель, иллюстрирующая работу ОУ при отключенных источниках питания**

ную обратную связь. На рис. 5 приведена схема модели с использованием виртуального операционного усилителя, на которой один усилитель охвачен отрицательной ОС, а второй – положительной ОС. Осциллограммы выходных сигналов обоих усилителей (зеленая и голубая) идентичны (рис. 6).



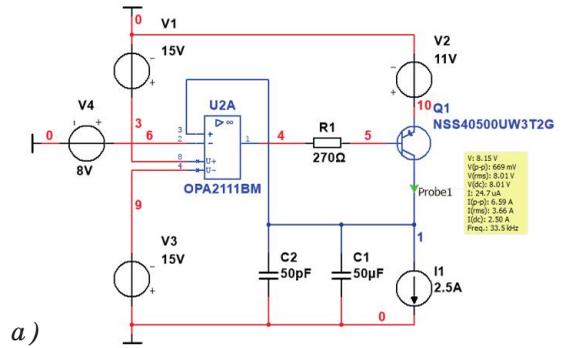
**Рис. 5. Модель для исследования влияния типа ОС на работу виртуального ОУ OPAMP\_3T\_VIRTUAL**



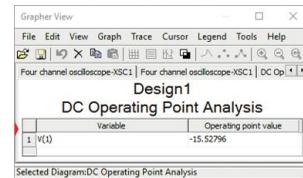
**Рис. 6. Осциллограммы сигналов на входе (красная) и выходе усилителя охваченного отрицательной ОС (зеленая) и положительной ОС (синяя)**

Но встречаются случаи, которые на первый взгляд совершенно необъяснимы. На рис. 7 приведена схема модели источника напряжения 8 В, реализованная на ОУ ОРА2111. Напряжение, измеренное с помощью пробника, равно 8 В, а анализ по постоянному току дает результат -15.52 В.

Допустимое напряжение питания этого ОУ составляет от  $\pm 5$  до  $\pm 18$  В, а на схеме использованы источники  $\pm 15$  В, что укладывается в рабочий диапазон. При уменьшении напряжения питания до  $\pm 12$  В результаты, полученные при анализе по постоянному току, и отображаемые пробником, стали совпадать. Это говорит о несоответствии модели и данных приве-



а)



б)

**Рис. 7. Модель источника напряжения 8 В (а) и результаты ее анализа в режиме DC Operating Point Analysis**

денных в datasheet.

Проверить работоспособность схемы можно и другим способом. Например, заменив ОРА2111 другим ОУ, у которого допустимое напряжение питания не менее  $\pm 15$  В. После замены на ОУ типа AD8698 показания в режиме анализа по постоянному току и пробника стали совпадать.

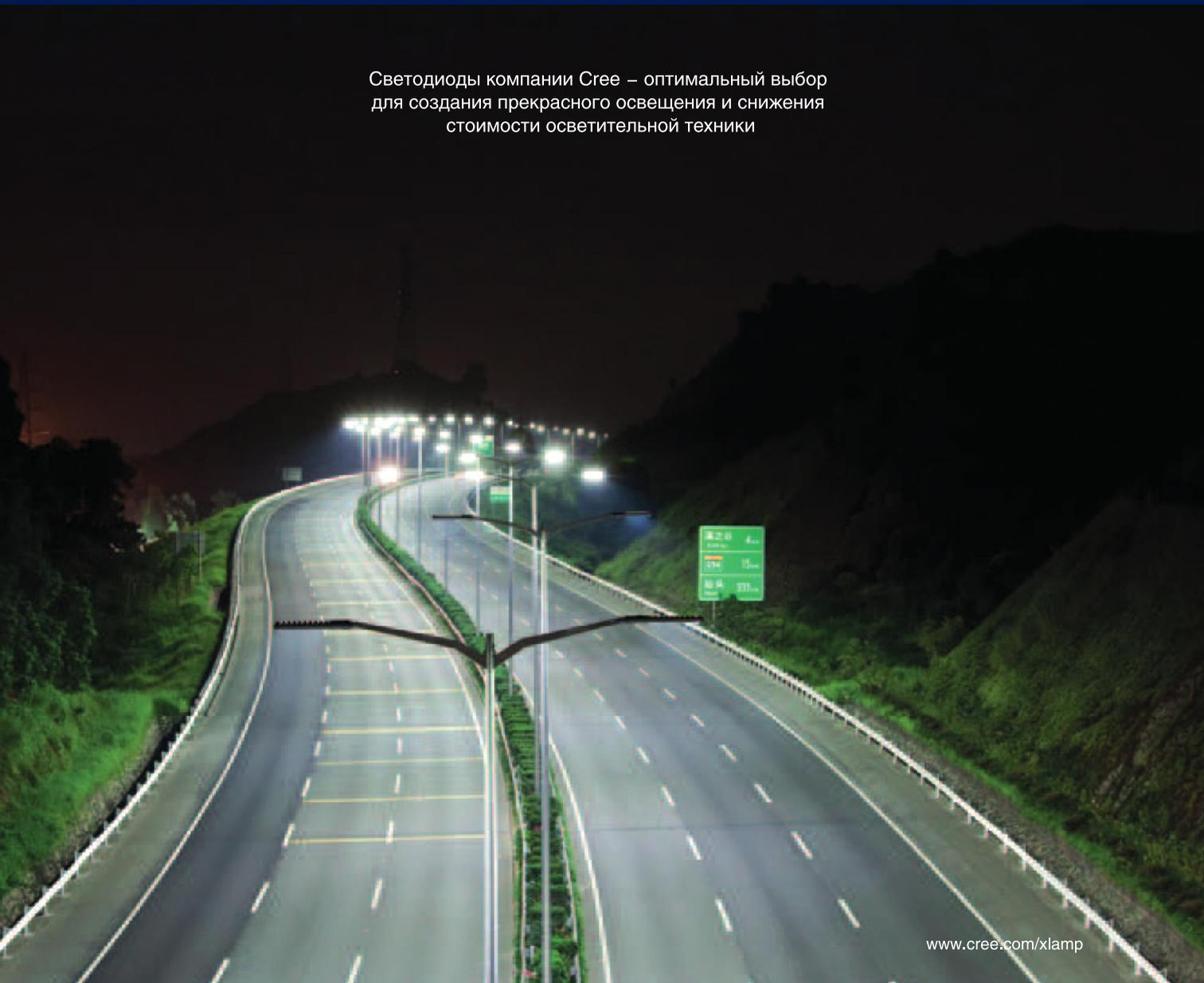
## ВЫВОДЫ

Из приведенных выше данных можно сделать вывод о том, что не все модели адекватно отражают работу реальных и виртуальных компонентов. Зная о том, что модель некорректно отображает работу компонента, можно исключить ее использование. В случае же, когда в модели устройства возникают необъяснимые процессы, следует проверить подозрительный компонент, используя для этого простейшие схемы, или попытаться заменить его элементом аналогичного назначения. Это позволит значительно сократить время, требуемое для отладки проектируемого устройства.

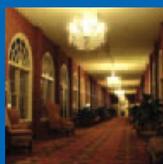
1. <http://www.edn.com/electronics-blogs/living-analog/4408243/Multisim-s-3T-Virtual-Op-Amp->

# СВЕТОДИОДЫ КОМПАНИИ CREE – РЕВОЛЮЦИЯ СВЕТА

Светодиоды компании Cree – оптимальный выбор  
для создания прекрасного освещения и снижения  
стоимости осветительной техники



[www.cree.com/xlamp](http://www.cree.com/xlamp)



**CREE** 

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

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

# НОВЫЕ СВЕТОДИОДЫ КОМПАНИИ CREE



## NEW LEDS CREE

### CXB1310/1520

Светодиоды CXB1310/1520 компании CREE изготавливаются с использованием новой технологии SC5 Technology и характеризуются высокой энергоэффективностью.

Большой световой поток и маленькие размеры светоизлучающей поверхности (LES – Light Emitting Surface) всего 6 или 9 мм, соответственно у CXB1310 и CXB1520, позволяют изготавливать компактные светотехнические приборы, отличающиеся меньшими размерами, стоимостью и потребляемой мощностью.

Светодиоды CXB1310/1520 выпускаются в вариантах с цветовой температурой (CCT) от 2700 до 6500 К и индексом цветопередачи (CRI) 70, 80 и 90. По типоразмеру они идентичны светодиодам типа CXA. Один светодиод типа CXB1520 может заменить семь тради-

ционных ламп накаливания мощностью 60 Вт.

**Основные параметры светодиодов CXB1520 (рис. 1):**

- энергоэффективность до 149 лм/Вт
- световой поток 1160...6400 лм
- максимальная мощность рассеивания 49 Вт
- максимальная ток 1.4 А
- типовое падение напряжения 33 В (при токе 0.5 А)
- габаритные размеры 15.85×15.85 мм.

**Основные параметры светодиодов CXB1310:**

- энергоэффективность до 111 лм/Вт
- световой поток 1400...2100 лм



Рис. 1. Светодиод 1520

3.45×3.45 мм	3.45×3.45 мм	3.45×3.45 мм	2.45×2.45 мм	1.6×1.6 мм	1.6×1.6 мм
Royal Blue	Royal Blue Blue Red Photo Red Far Red	Royal Blue Blue Red	Royal Blue Blue Red	Royal Blue Blue Red	Royal Blue Blue Red



XT-E	XP-E	XP-E2	XB-D	XQ-A	XQ-E
------	------	-------	------	------	------

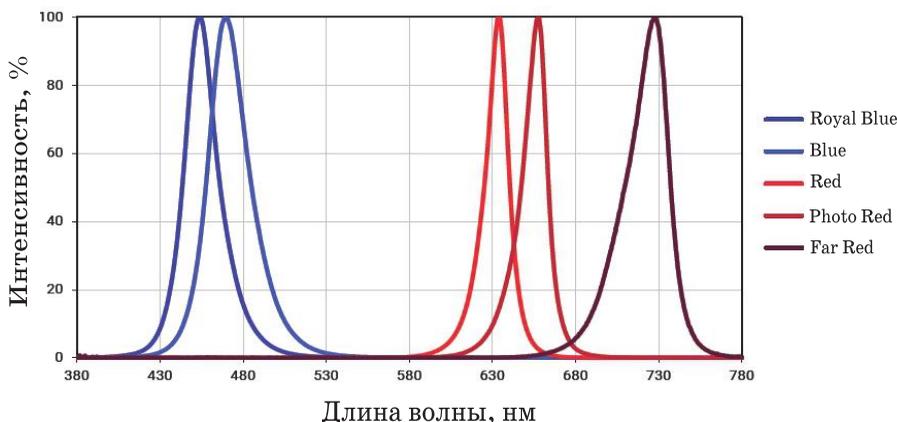


Рис. 2. Светодиоды XT-E, XP-E, XP-E2, XB-D, XQ-A, XQ-E

- максимальная мощность рассеивания 20 Вт
- максимальный ток 1.05 А
- типовое падение напряжения 17.8 (при токе 0.7 А) или 35.6 В (0.35 А)
- габаритные размеры 13.35×13.35 мм.

**ХТ-Е, ХР-Е, ХР-Е2, ХВ-Д, ХQ-А, ХQ-Е**

В настоящее время по всему миру работают тепличные комплексы, в которых применяется подсветка растений светодиодными светильниками, что способствует сокращению сроков созревания, снижению затрат на электроэнергию и увеличению урожайности. Кроме того, применение светодиодов упрощает регулирование микроклимата в теплицах, что приводит к более активному развитию растений и улучшению качества продукции. Использование малогабаритных светодиодов

компании CREE типа ХТ-Е, ХР-Е, ХР-Е2, ХВ-Д, ХQ-А, ХQ-Е (рис. 2) позволяют изготавливать агросветильники с заданным спектром излучения, что увеличивает эффективность подсвечивания растений в защищенном грунте.

Диапазон длин волн излучения:

- ХТ-Е: 475...625 нм
- ХР-Е: 475...625/465...485/620...630/650...670/720...740 нм
- ХР-Е2: 475...625/465...485/620...630 нм
- ХВ-Д: 475...625/465...485/620...630 нм
- ХQ-А: 475...625/465...485/620...630 нм
- ХQ-Е: 475...625/465...485/620...630 нм.

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

Идеальное совмещение контактных площадок и отверстий

Time: 10:28:51  
 OBJECT ID: 1697800422  
 DISTANCE: 0.0035 mm  
 ACCEPTABLE ACCURACY: 0.0001 mm  
 ENTRIES ARE MADE SUCCESSFULLY  
 STOPPING TO THE RIGHT 0.02 DEGREES  
 STOPPING TO THE LEFT 0.02 DEGREES

BC11, RN34, RN34, BC15, U12, JP3

SPEED: 0.00152 mm/s  
 WARNING: NEW OBJECT IS DISCOVERED

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- производство

**Изготовление печатных плат с приемкой по стандарту IPC-A-600H, класс 3**

Класс 3 – высоконадежные электронные изделия: оборудование и изделия, для которых критичным требованием является непрерывность работы или включение по запросу

Фрагмент стандарта IPC-A-600H

## 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@vdmiais.ua](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)

# СЛИЯНИЕ КОМПАНИЙ ANALOG DEVICES И LINEAR TECHNOLOGY

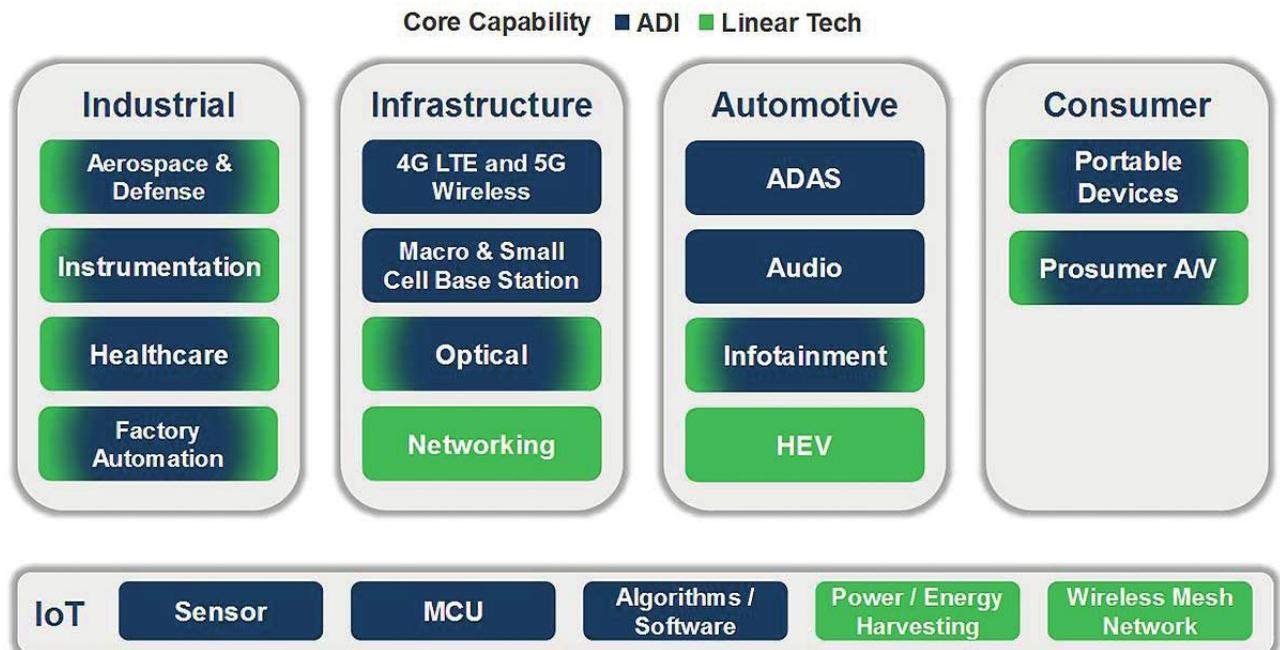
## THE MERGER OF THE COMPANIES ANALOG DEVICES AND LINEAR TECHNOLOGY



Как заявили на совместной пресс-конференции руководители компаний Analog Devices и Linear Technology, лидеров в области разработки и производства аналоговых электронных компонентов, принято окончательное решение и запущен процесс слияния компаний. Уже в ближайшее время в результате этого союза Analog Devices станет игроком №1 на рынке аналоговых технологий.

Нужно отметить, что ведущей в этой сделке выступает компания из Массачусетса. Компания Analog Devices давно нацелились на первенство в сегменте аналоговой электроники.

Компания с первых лет существования уверенно шла к лидерству в отрасли. В начале XXI века Analog Devices уже вошла в "высшую лигу" мировой электронной промышленности, наряду с National Semiconductor, Maxim Integrated Products, Linear Technology, Infineon Technologies, STMicroelectronics и Intersil Corporation. Недостигаемым лидером казалась лишь корпорация Texas Instruments, особенно после поглощения в 2011 году National Semiconductor, одного из ближайших конкурентов. Отрасль в 2010-х начала стремительно консолидироваться. Так, STM вошла в число акцио-



неров NXP, которая, в свою очередь, в 2015 поглотила Freescale Semiconductor. В том же 2015 году Infineon объединилась с International Rectifier. Ранее отметились приобретениями и Maxim (в отраслях телекоммуникационных, "облачных" и радиочастотных приложений).

Стоимость объединенной компании рыночные аналитики оценивают в 30 миллиардов долларов. Взаимодополняющие линейки продуктов Analog Devices и Linear Technology де-

лают возможным создание комплексных предложений высококачественных аналоговых компонентов. Уникальное сочетание инженерного таланта, технологий и опыта применения, производственных и маркетинговых возможностей приведут к созданию мирового лидера в области высокопроизводительных аналоговых микросхем: преобразователей данных, интегральных микросхем управления питанием, усилителей, интерфейсных компонентов и ВЧ/СВЧ-компонентов.

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ MEAN WELL ДЛЯ АРХИТЕКТУРНОЙ И ЛАНДШАФТНОЙ СВЕТОДИОДНОЙ ПОДСВЕТКИ



### POWER SUPPLIES MEAN WELL FOR ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE LED ILLUMINATION

Источники питания с выходной мощностью 65 Вт выполнены в металлических корпусах, класс защиты IP65. Диапазон рабочих температур от -40 до 90 °С, КПД до 90%, встроенный корректор коэффициента мощности.

Компания Mean Well – лидер в разработке и производстве импульсных блоков питания, в т.ч. AC/DC-преобразователей для применения в системах светодиодного освещения.

В связи с появлением устойчивого спроса на источники питания для ландшафтного и архитектурного освещения, разработчики из Mean Well начали разрабатывать специализированные источники, адаптированные для этих целей, объединенные в семейство FDL.

Это LED-драйверы, которые устойчивы к воздействию погодных условий, неприхотливы в эксплуатации, надежны и, при этом, рассчитаны на номиналы напряжения, применяемые в архитектурном и ландшафтном освещении, стабилизированы по току, с простым методом подстройки тока. И при этом с доступной для целевого применения ценой.

Первенцами в семействе стали FDL-65 – драйверы номинальной мощностью 65 Вт. В семейство входят две модели, FDL-65-1550 и FDL-65-1800 с номинальным стабилизированным выходным током, 1.5 и 1.8 А, соответственно.

Выходной ток может подстраиваться в ши-



роких пределах с помощью потенциометра: 0.77...1.55 А для FDL-65-1550 и 0.9...1.8А для FDL-65-1800. Выходное напряжение изменяется в диапазоне 25.2...42 В и 21.6... 36 В, соответственно.

Диапазон входных напряжений 180...295 В переменного тока или 254...417 В постоянного тока.

Драйверы имеют встроенную схему корректора коэффициента мощности и достаточно высокий коэффициент полезного действия (в своем классе устройств) – до 90%. Мощность потребляемая на холостом ходу не превышает 0.5 Вт, а ток утечки менее 0.75 мА (при сетевом напряжении 277 В переменного тока).

В драйверах семейства FDL предусмотрены встроенные системы защиты от перегрева, перенапряжения и короткого замыкания. После устранения фактора, вызвавшего срабатывание защиты, работа устройства возобновляется

автоматически. Напряжение пробоя изоляции между входной и выходной цепями составляет 3 кВ, изоляция относительно земли составляет 2 и 1.5 кВ, соответственно для входной и выходной цепей.

Конструктивно FDL-65 выполнены в герметичном металлическом корпусе 151×53×31.5 мм со степенью защиты IP65. Масса устройства составляет всего 420 грамм.

Внутреннее пространство корпуса залито теплопроводящим полимерным компаундом, демпфирующим механические воздействия и надежно изолирующим электронную начинку от проникновения влаги, но при этом обеспечивающим теплоотвод, достаточный, чтобы драйверы могли функционировать в температурном диапазоне от -40 до +90 °С без принудительного обдува. Устройства способны выдерживать механические удары с ускорением до 5 г. Соответствуют стандартам по электромагнитному излучению (EN55015, EN61000-3-2 Class C, EN61000-3-3, GB17743, GB17625.1) и стойкости к ЭМИ (EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; EN6154).

Целевым применением новых драйверов являются общее освещение, декоративная архитектурная и ландшафтная подсветка, прожектора, парковые светильники, анкерные (настенные) светильники для подсветки зда-

ний и сооружений. FDL-65 можно использовать для наружного и внутреннего освещения общественных, коммерческих производственных сооружений.

Компания Mean Well предоставляет гарантию безотказной работы 3 года

Технические характеристики источников приведены в таблице.

**Основные характеристики драйверов семейства FDL**

Параметр	FDL-65-1550	FDL-65-1800
Входное напряжение, В (АС)	180...295	
Выходное напряжение, В	25.2...42	21.6...36
Номинальный ток, мА	1550	1800
Мощность, Вт	65.1	64.8
КПД, %	90	90
Пульсации и шумы, В (размах)	4.2	3.6

**VD MAIS**  
**Печатные платы**



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

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

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

**Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!**

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

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

# ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ БЕЗЫНДУКТИВНЫЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ Понижающий ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОТ LINEAR TECHNOLOGY



## A NON-INDUCTIVE HIGH-VOLTAGE DUAL CHANNEL BUCK CONVERTER FROM LINEAR TECHNOLOGY

Linear Technology анонсировала высокоинтегрированную высоковольтную малошумящую микросхему двухканального источника питания LTC3256, преобразующего входное напряжение постоянного тока в два выходных напряжения 5 и 3.3 В положительной полярности.

Устройство, рассчитанное на широкий диапазон входных напряжений от 5.5 В до 38 В, имеет два независимо отключаемых выхода с общим максимальным током нагрузки 350 мА – 5 В/100 мА и 3.3 В/250 мА, причем второй канал содержит LDO-регулятор напряжения. Такая структура намного снижает потери мощности по сравнению с решением на двух LDO стабилизаторах. Например, при входном напряжении 12 В и максимальной нагрузке на обоих выходах экономия мощности, обеспечиваемая использованием LTC3256, превышает 2 Вт, что существенно уменьшает тепловыделение.

ИМС LTC3256 разработана в соответствии с требованиями, предъявляемыми стандартом функциональной безопасности ISO26262, и поддерживает множество защитных и диагностических функций. Устройство хорошо подойдет для множества приложений, требующих малошумящих маломощных источников питания, формируемых из высоких входных напряжений, таких, как источники питания автомобильных приемопередатчиков ECU/CAN, вспомогательные источники питания промышленного и телекоммуникационного оборудования, а также маломощные преобразователи общего назначения, понижающие напряжение 12 В до 5 и 3.3 В.

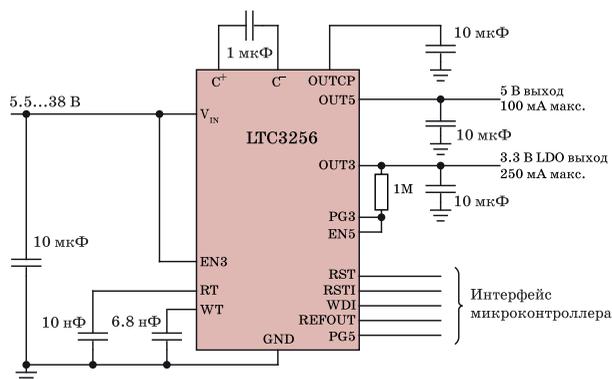
Увеличение КПД LTC3256 достигнуто благодаря использованию двухрежимного зарядового насоса, который, пока это возможно, работает в режиме понижения 2:1 и по мере необходимости автоматически переключается в режим 1:1 в соответствии с уровнями токов нагрузки и входного напряжения. Управляемый входной ток и мягкое переключение миними-

зируют уровни кондуктивных и излучаемых помех. Собственный ток, потребляемый микросхемой, составляет 20 мкА при активном состоянии обоих выходов (без нагрузки) и 0.5 мкА в режиме останова. Интегрированный сторожевой таймер, независимые выходы “Питание в норме” и вход сброса обеспечивают надежную работу ИМС и позволяют выполнять диагностику неисправностей.

Буферизованный выход источника опорного напряжения 1.1 В предназначен для самодиагностики систем с особыми требованиями к уровню безопасности. Дополнительные функции безопасности LTC3256 включают защиту от перегрузки и перегрева.

ИМС LTC3256 выпускается в 16-выводных корпусах MSOP со сниженным тепловым сопротивлением. Допустимый диапазон температур перехода для микросхем групп E и I составляет -40...125 °С, группа H работоспособна в диапазоне температур от -40 до 150 °С, а для группы MP нижняя граница сдвинута до -55 °С.

Типовая схема включения ИМС LTC3256 приведена на рисунке.



Более подробную информацию можно найти в [1,2].

- [1.http://www.linear.com/product/LTC3256.](http://www.linear.com/product/LTC3256)
- [2.http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3256fa.pdf.](http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3256fa.pdf)



## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Полный цикл контрактного производства электроники:

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

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

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

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

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

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  
[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

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

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

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

**69000 Запорожье**  
бульвар Шевченко, 25, оф. 14  
тел. (+38095) 2746897  
r.moiseienko@vdmajs.ua