



### **В номере:**

- 11 мифов об анализе аналоговых шумов
- Особенности применения PGA-усилителей с емкостным входом
- Инновационные технологии в системах дистанционного мониторинга состояния здоровья
- Светодиодная оптика компании Ledil
- Микросхемы для жестких условий эксплуатации
- Контроллер синхронного DC/DC-преобразователя с технологией расширения спектра
- Тактовые генераторы с малым джиттером для высокочастотных АЦП и ЦАП
- Технологии беспроводной передачи звуковых сигналов



## 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, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.

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

Пайка компонентов осуществляется в азотной среде.

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

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

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ  
И СИСТЕМЫ**2016 октябрь-декабрь  
№ 4 (216)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@vdmais.ua**Интернет:** www.vdmais.ua  
www.ekis.kiev.ua**Адрес для переписки:**Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
Подписано к печати 30.12.2016*В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ*

С. Хант

**11 мифов об анализе аналоговых шумов** .....3

М. Усач, Дж. Мора-Пучалт

**Особенности применения PGA-усилителей  
с емкостным входом** .....7

Т. Зарола

**Инновационные технологии в системах дистанционного  
мониторинга состояния здоровья** .....11

У. Джаямохан

**Многодиапазонные приемники с быстродействующими  
АЦП (часть 1)** .....16*ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА*

В. Охрименко

**Светодиодная оптика компании Ledil** .....20*КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ*

В. Охрименко

**Микросхемы для жестких условий эксплуатации** .....31*ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ*

В. Макаренко

**Контроллер синхронного DC/DC-преобразователя  
с технологией расширения спектра** .....42*ГЕНЕРАТОРЫ*

В. Макаренко

**Тактовые генераторы с малым джиттером  
для высокочастотных АЦП и ЦАП** .....48*НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ*

В. Макаренко

**Технологии беспроводной передачи звуковых сигналов** ..55*СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА ЭКИС***Содержание журнала ЭКИС за 2016 г.** .....62Перепечатка опубликованных в журнале  
материалов допускается с разрешения редакции.  
За рекламную информацию ответственность несет  
рекламодатель.

ASK THE APPLICATIONS ENGINEER

S. Hunt  
**11 Myths About Analog Noise Analysis** .....3  
 M. Usach Merino, G. Mora-Puchalt  
**Integrated Capacitive PGAs in ADCs: Redefining Performance** .....7  
 T. Zarola  
**“Home” Is Where the Hear Is**.....11  
 U. Jayamohan  
**Crossing a New Frontier of Multiband Receivers with Gigasample ADCs – (part 1)** .....16

OPTOELECTRONIC COMPONENTS

V. Okhrimenko  
**Optic modules of Ledil** .....20

DUAL-USE COMPONENTS

V. Okhrimenko  
**The ICs for harsh environments**.....31

POWER SUPPLIES

V. Makarenko  
**Synchronous Buck-Boost Controller with Spread Spectrum** .....42

GENERATORS

V. Makarenko  
**Clock generators with low jitter for high frequency ADC and DAC** .....48

NEW TECHNOLOGY

V. Makarenko  
**Technology wireless transmission of audio signals** .....55

CONTENTS OF JOURNAL "ECAS" IN 2016

**Contents of journal "ECaS" in 2016** .....62



**ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS**

October-December 2016  
 No. 4(216)

Monthly Scientific and Technical Journal

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

**Director**  
 V.A. Davidenko

**Head Editor**  
 V.A. Romanov

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

**Address:**  
 M. Dontsia Str., 6,  
 03061 Kyiv, Ukraine  
**Tel.:**  
 (380-44) 220-0101,  
 492-8852 (multichannel)  
**Fax:**  
 (380-44) 220-0202  
**E-mail:**  
 ekis@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.

# 11 МИФОВ ОБ АНАЛИЗЕ АНАЛОГОВЫХ ШУМОВ \*

**Ш**умы являются одной из основных проблем при проектировании аналоговых устройств. К сожалению, встречается много ошибок и неточностей в статьях, посвященных анализу шумов и их уменьшению. Одинадцать наиболее распространенных заблуждений, фигурирующих в научно-технических изданиях, рассмотрены в данной публикации.

С. Хант

S. Hunt

**Первое заблуждение.** Уменьшение величины сопротивления резистора всегда приводит к улучшению шумовых характеристик.

Хорошо известно, что согласно уравнению Джонсона  $e_{\text{скз}} = \sqrt{kTRB}$ , где  $e_{\text{скз}}$  – среднеквадратичное напряжение шума,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура в градусах Кельвина,  $R$  – сопротивление резистора и  $B$  – полоса пропускания усилителя. Откуда следует, что чем больше величина сопротивления резистора, тем больше уровень шумов. Поэтому для уменьшения шума Джонсона следует уменьшить величину сопротивления резистора. Это утверждение, как правило, справедливо, но есть примеры обратной зависимости – чем больше величина сопротивления резистора, тем меньше уровень шумов. В большинстве случаев величину протекающего через резистор тока вычисляют через измеренное падение напряжения на резисторе по формуле  $U = IR$ . Но согласно приведенному уравнению шум Джонсона пропорционален корню квадратному из величины сопротивления резистора  $R$ . Отсюда улучшение шумовой характеристики или улучшение отношения сигнал/шум на 3дБ достигается если уменьшить в 2 раза сопротивление резистора. Это утверждение справедливо при высоких значениях рабочих напряжений и соответственно большой рассеиваемой мощности.

**Второе заблуждение.** Спектральная плотность шума всех источников характеризует общий шум системы в целом.

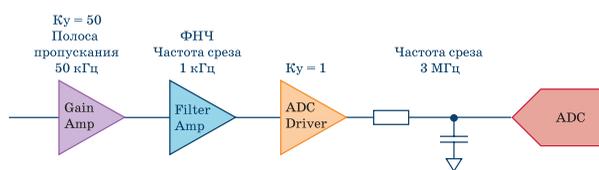
Для простоты вычисления спектральной

## 11 MYTHS ABOUT ANALOG NOISE ANALYSIS

**Abstract –** Noise is a central topic in analog circuit design. Unfortunately, there is a large amount of confusion and misinformation regarding noise. The article addresses of the most persistent myths about noise analysis in analog design.

плотности шума нескольких источников, измеряемой в нВ/ Гц, находится корень квадратный из суммы квадратов спектральной плотности шума каждого источника, т.е. среднеквадратичное значение шума каждого отдельно взятого источника не вычисляется. Это может привести к серьезной ошибке, т.к. не учитывается полоса пропускания каждого отдельного источника шума.

Как показано на рис. 1, для системы со сверхвыборкой шум усилителя является доминирующим в общем суммарном шуме приведенной на этом рисунке схемы. Но если вычислять спектральную плотность шума для системы на рис. 1 с учетом полосы пропускания каждого узла, то вклад среднеквадратичского значения шума каждого узла окажется практически одинаковым.



Ку входного усилителя, ФНЧ и драйвера АЦП	50	1	1	Суммарное значение
Спектральная плотность шума, приведенная к выходу, нВ/√Гц	300	39	4	Не имеет смысла
Среднеквадратичный уровень шума, приведенный к выходу, мкВ	9.7	8.7	8.7	22.3

**Рис. 1. Преимущества использования параметров среднеквадратичного уровня шума по сравнению со спектральной плотностью шума**

**Третье заблуждение.** При расчете шумов можно не учитывать источники с величиной

\* Hunt S. 11 Myths About Analog Noise Analysis. [www.analog.com](http://www.analog.com). Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

шума ниже порогового значения.

У разработчиков, как правило, появляется искушение учесть все источники шума при проектировании изделия. Но это отнимает много времени. Поэтому лучшим средством расчета шумов является шумовая модель проектируемого устройства. Однако, если расчеты выполняются вручную, источники с уровнем шумов ниже определенного порога, например, ниже  $e_{\text{скз}}/5$  от допустимого уровня, просто игнорируются, т.к. их вклад меньше нескольких процентов. Но в сумме таких источников может оказаться много, и их суммарный шум может быть значительным. Поэтому рекомендуется выполнять расчет шумов с учетом шума каждого источника.

**Четвертое заблуждение.** Следует выбирать драйвер АЦП с уровнем шума не более 0.1 уровня шума АЦП.

Так обычно рекомендуется в технической документации (data sheet) на АЦП. Однако такое решение не всегда будет лучшим выбором. Следует все же проанализировать суммарный уровень шума системы в целом. Покажем это на простом примере. Если эквивалентный шум 16-разрядного АЦП равен 100 мкВ (скз), а шум усилителя-драйвера составляет 10 мкВ (скз), то суммарный уровень шума составит 100.5 мкВ (скз), т.е. очень близкий к шуму собственно АЦП. Если мы заменим усилитель на аналогичный, но с меньшим потреблением и с уровнем шума 30 мкВ (скз), то суммарный шум составит не более 104 мкВ (скз). Возможно, второе решение ближе к оптимуму, особенно, если влияние небольшого ухудшения шумовой характеристики на проектируемую систему в целом незначительно.

**Пятое заблуждение.** Фликкер-шум ( $1/f$  шум) проявляется на постоянном токе.

Полагают, что фликкер-шум проявляется на низких и сверхнизких частотах, т.к. в высокочастотной области спектра он легко ослабляется с помощью фильтра нижних частот или интегратора. Однако, имеется множество цепей постоянного тока, в которых доминирует белый шум. Поэтому нет смысла вычислять величину фликкер-шума, так как он не прибавляется к белому шуму. Фликкер-шум проявляется в усилителях, как правило, в полосе от 0 до 10 Гц, и растет при уменьшении частоты по закону  $1/f$ . На высоких частотах им

можно пренебречь. Белый шум проявляется в полосе, которая в 100 и более раз шире. Отметим, что фликкер-шум на низкой или сверхнизкой частоте можно существенно ослабить применением усилителей с нулевым дрейфом напряжения (zero-drift). Зависимость влияния фликкер-шума от частотного диапазона усилителя показана в таблице.

**Шестое заблуждение.** В связи с тем, что фликкер-шум растет на низких частотах, то цепи постоянного тока всегда имеют определенный уровень шума.

Анализ цепей на постоянном токе выполняется без учета фликкер-шума. Наблюдать шум затруднительно на частотах 0.01 Гц и ниже. Теоретически можно показать, что уровень шума увеличивается с уменьшением частоты. Однако в связи с тем, что при значениях частоты менее 0.01 Гц затруднительно измерить среднеквадратическое значение шума из-за необходимости проводить измерения в течении очень длительного времени (для измерения шума на частоте 1 нГц потребовалось бы 30 лет), в инженерной практике принято учитывать влияние фликкер-шума в полосе частот не ниже 0.01 Гц, а изменения напряжения с более низкой частотой являются дрейфом напряжения из-за старения элементов или влияния других факторов. Поэтому говорить о бесконечном увеличении фликкер-шума на сверхнизких частотах не имеет практического смысла.

**Седьмое заблуждение** состоит в том, что эквивалентная ширина шумовой полосы частот (NEB – Noise Equivalent Bandwidth) является точным определением для шумовой характеристики устройства.

Однако это утверждение справедливо для идеального устройства, когда полоса частот NEB совпадает с частотой среза, которую принято определять по уровню -3дБ на границе полосы пропускания. На самом деле эквивалентная ширина шумовой полосы частот больше частоты среза и равна  $1.57f_c$ . Отсюда уровень шума  $e_{\text{скз}}$  равен

$$e_{\text{скз}} = \text{NSD} \times \sqrt{\text{NEB}} = \text{NSD} \times \sqrt{1.57f_c},$$

где NSD – спектральная плотность шума.

**Восьмое заблуждение.** Для уменьшения уровня шума следует выбирать малошумящие

### Влияние фликкер-шума на шум усилителя в полосе частот

Полоса пропускания усилителя В, Гц	Отношение $V/f_{\text{фш}}^*$ ( $f_{\text{фш}} = 10$ Гц)	Уровень шума в широкой полосе, нВ (скз)	Фликкер-шум, нВ (скз)	Общий шум, нВ (скз)	Влияние фликкер-шума, %
100	10	100	220	240	140
300	30	170	250	310	77
1000	100	320	209	430	36
3000	300	550	330	640	16
10000	1000	1000	360	1100	6
30000	3000	1700	400	1800	3
100000	10000	3200	440	3200	1

\* граничная частота фликкер-шума.

усилители.

Выбирая малозумящие усилители, разработчик должен обратить внимание не только на шум по напряжению, но и учитывать шум по току. Этот шум, как правило, является дробовым шумом входного тока смещения  $i_{\text{ш}}$ , причем  $i_{\text{ш}} = \sqrt{2qI_B}$ , где  $I_B$  – входной ток усилителя. Этот шум преобразуется в шум по напряжению на сопротивлении источника сигнала. Поэтому, если величина этого сопротивления велика, дробовой шум является доминирующим. Рассмотрим в качестве примера малозумящий усилитель ADA4898-1 с последовательным резистором на входе, сопротивление которого равно 10 кОм. Шум (спектральная плотность шума) по напряжению этого усилителя составляет 0,9 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ , шум резистора равен 12,8 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$  и шум по току – 2,4 пА/ $\sqrt{\text{Гц}}$ . Шум по току, преобразованный в шум по напряжению на резисторе 10 кОм, составит 24 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ . Таким образом, шум по току будет вносить наибольший вклад в шумовые характеристики проектируемого устройства. Поэтому в данном случае при выборе усилителя следует руководствоваться, прежде всего, минимизацией шума по току.

**Девятое заблуждение.** Лучшей шумовой характеристикой обладает система с максимальным коэффициентом усиления в первом каскаде.

Действительно, максимальное усиление в первом каскаде увеличивает чувствительность

системы в целом, но такое решение может привести к уменьшению динамического диапазона. Поэтому можно уменьшить коэффициент усиления первого каскада и компенсировать снижение чувствительности применением АЦП с более высоким разрешением. При таком решении обеспечиваются необходимые чувствительность и динамический диапазон.

**Десятое заблуждение.** Все типы резисторов имеют одинаковый, зависящий от величины сопротивления уровень шума.

Это неверное утверждение. Действительно шум Джонсона для всех типов резисторов одинаков, однако фликкер-шум зависит от типа резистора. Иногда этот шум характеризуют шумом по току, протекающему через этот резистор и оценивается специальным шумовым индексом (NI – noise index), который измеряется в децибелах. Он равен отношению  $[1 \text{ мкВ (скз)}]/U_{dc}$  на декаду. Это значит, если напряжение на резисторе равно 1 В, индекс NI которого равен 0 дБ, то уровень шума в диапазоне частот одной декады равен 1 мкВ (скз). Максимальный индекс NI имеют углеродистые резисторы, до +10 дБ, тонкопленочные резисторы имеют шумовой индекс, равный -20 дБ, NI фольговых резисторов составляет -40 дБ.

**Одиннадцатое заблуждение.** Уменьшить уровень шума можно за счет увеличения частоты выборки с последующим усреднением данных.

Это утверждение справедливо, например,

для белого шума. Если же усреднение используется для фликкер-шума и выполняется в полосе от минимального до максимального значения частоты, уровень шума будет зависеть от отношения этих частот. Дальнейшее увеличение частоты выборки с последующим усреднением может привести к увеличению уровня шума.

### ВЫВОДЫ:

1. При построении систем и устройств с малым уровнем шума следует руководствоваться

### ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКЦИИ

Данные приведенные в таблице к рис. 1 не коррелированы между собой и на основании этих данных делаются сомнительные выводы. Покажем это на примере.

Известно, что соотношение между спектральной плотностью шума и напряжением шумов, приведенным ко входу, определяется соотношением

$$U_{ш.пр.} = S_{ш} \sqrt{\Delta f},$$

где  $S_{ш}$  – спектральная плотность шума,  $\Delta f$  – полоса пропускания усилителя.

Пересчитаем спектральную плотность шума, приведенную на рис. 1, для входного усилителя с полосой пропускания 50 кГц (рис. 1) в значение напряжения шума, приведенного ко входу усилителя. Следует учесть, что в таблице на рис. 1 приведены значения спектральной плотности шума для выхода усилителя, что само по себе странно. Ведь все производители приводят параметры шума, приведенные ко входу. Иначе они не имеют смысла.

$$U_{ш.пр.} = (S_{ш} \sqrt{\Delta f}) / 50 = [(300 \cdot 10^{-9} \text{ В} / \sqrt{\text{Гц}}) \sqrt{50 \cdot 10^3}] / 50 = 1.34 \cdot 10^{-6},$$

или 1.34 мкВ. В таблице приведена цифра 9.7 мкВ. Уровню шума 9.7 мкВ соответствует спектральная плотность шума на выходе входного усилителя 2169 нВ/ Гц.

Каким же образом получено значение уровня шума 9.7 мкВ? Оказывается, что если учесть полосу пропускания ФНЧ, установленного между выходом усилителя и драйвером,

не общими соображениями, а учитывать конкретное схемотехническое решение, типы усилителей, резисторов и других компонентов.

2. Выбор малошумящих усилителей или резисторов не всегда приводит к желаемым результатам. Для достижения цели необходимо учитывать как параметры системы в целом, так и особенности применения выбранных компонентов.

то эквивалентный уровень шума с учетом этого фактора будет в  $\sqrt{(\Delta f_{yc} / \Delta f_{ФНЧ})} = 7.07$  меньше, т.е. составит  $9.7 / 7.07 = 1.37$  мкВ. Но тогда некорректно указывать это значение на выходе усилителя, а нужно было бы написать, что это вклад шума входного усилителя в полосе частот 1 кГц.

В таблице на рис. 1 приведены значения шума ФНЧ и драйвера АЦП, равные 8.7 мкВ. Учитывая, что полоса пропускания ФНЧ (как указано на рис. 1) составляет 1 кГц, то спектральная плотность шума ФНЧ должна составлять

$$S_{ш} = U_{ш.пр.} / \sqrt{\Delta f} = 8.7 \cdot 10^{-6} / 1000 = 275 \text{ нВ} / \sqrt{\text{Гц}}.$$

Аналогично не прослеживается связь между шумом и спектральной плотностью шума драйвера.

Загадкой остается и вычисление суммарного значения шума, приведенного к выходу. Чтобы определить суммарное значение шума, нужно произвести несложные вычисления

$$U_{ш.пр.Σ} = [(U_{ш.пр.ус})^2 + (U_{ш.пр.ФНЧ})^2 + (U_{ш.пр.др})^2] = (9.7 \cdot 10^{-6})^2 + (8.7 \cdot 10^{-6})^2 + (8.7 \cdot 10^{-6})^2 = 15.7 \text{ мкВ}.$$

Полученные значения никак не совпадают с приведенными на рис. 1. Можно предположить, что при подготовке текста была допущена неточность и на рисунке приведены не те характеристики, которые использовал автор в своих вычислениях.

# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ PGA-УСИЛИТЕЛЕЙ С ЕМКОСТНЫМ ВХОДОМ \*

## INTEGRATED CAPACITIVE PGAS IN ADCS: REDEFINING PERFORMANCE

**В** статье рассмотрены особенности применения резисторных и конденсаторных PGA-усилителей с прерыванием для усиления сигналов низкого уровня.

**Abstract** – The article describes how chopped capacitive amplifier operates when small signal from the sensor needs to be amplified.

М. Усач, Дж. Мора-Пучалт

M. Usach Merino, G. Mora-Puchalt

Запатентованный компанией Analog Devices PGA-усилитель (усилитель с программируемым коэффициентом усиления), в прямой и обратной цепях которого использованы конденсаторы (вместо резисторов), имеет ряд преимуществ в сравнении с традиционными аналогами, включая более высокий КООС. Особенности новых PGA-усилителей рассмотрены ниже.

Для кодирования сигналов низкого уровня используется сигма-дельта АЦП. Высокие параметры таких АЦП обеспечиваются сверхвыборкой входного сигнала с последующим сдвигом шумов за пределы частотного диапазона полезного сигнала. На рис.1 показана зависимость шума квантования АЦП для разных частот выборки.

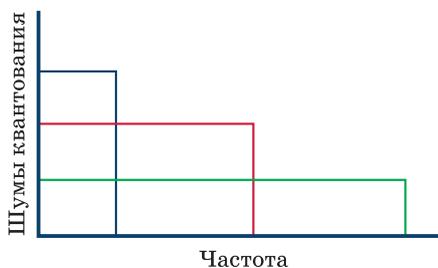


Рис. 1. Зависимость шума квантования от частоты выборки

В общем случае динамический диапазон неискаженного сигнала увеличивается на 3 дБ при увеличении частоты выборки вдвое, начиная с частоты Найквиста. Сдвиг полосы шумов

за пределы частотного диапазона полезного сигнала в результате сверхвыборки показан на рис. 2.

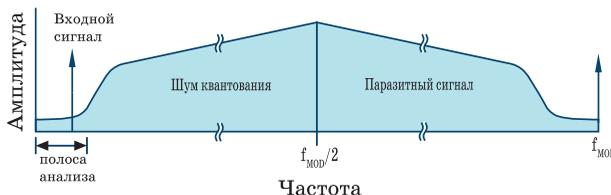


Рис. 2. Зависимость сдвига полосы шума от частоты сверхвыборки

Применение цифрового фильтра на выходе сигма-дельта АЦП позволяет отсечь полосу с шумом квантования, рис. 3.

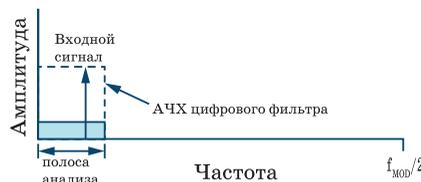


Рис. 3. Уровень шума после цифровой фильтрации

Однако применение сигма-дельта АЦП со сверхвыборкой для кодирования сигналов низкого уровня предполагает более жесткие требования к параметрам входного PGA-усилителя. Встроенный в сигма-дельта АЦП буферный усилительный каскад может увеличить погрешность измерительного канала, в частности, за счет фликкер-шума на низких и

\* Usach Merino M., Mora-Puchalt G. Integrated Capacitive PGAs in ADCs: Redefining Performance. Analog Dialogue, 50-08, August, 2016.

Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

сверхнизких частотах, рис. 4.

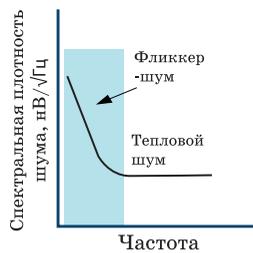


Рис. 4. Зависимость уровня шума усилителя от частоты

Дополнительный вклад в общую погрешность вносит погрешность смещения нуля буферного каскада. Так, например, температурный дрейф напряжения смещения нуля 500 нВ/°С при изменении температуры окружающей среды на 10 °С уменьшает точность 24-разрядного дельта-сигма АЦП до 16.8 бит. Решением этой проблемы является применение на входе сигма-дельта АЦП усилителя с прерыванием (chop amplifier), рис. 5.

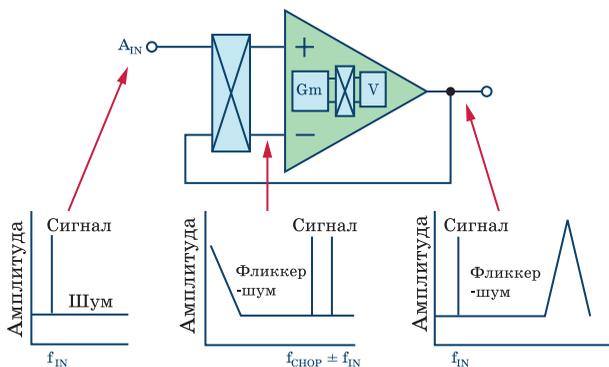


Рис. 5. Схема усилителя с прерыванием входного сигнала

Благодаря высокой частоте модуляции входного сигнала с последующей фильтрацией можно исключить низкочастотные фликкершум, смещение и дрейф нуля. Демодуляция позволяет вернуть очищенный от низкочастотных шумов входной сигнал в свой частотный диапазон. Вместо традиционного буферного каскада на входе АЦП может быть использован измерительный PGA-усилитель с модулятором на входе, рис. 6.

Такое решение целесообразно при усилении сигналов низкого уровня. Недостатком применения резисторного PGA-усилителя, как показано на рис. 6, является ограниченный коэффициент усиления и недостаточная согласо-

ванность резисторов в прямой и обратной цепях, их временной и температурный дрейф. От этих недостатков свободны PGA-усилители с конденсаторами в прямой цепи и цепи обрат-

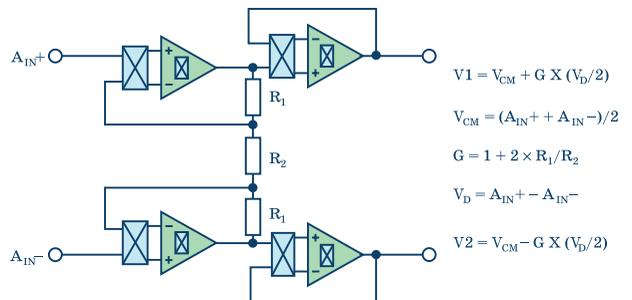


Рис. 6. Резисторный PGA-усилитель

ной связи, рис. 7.

Для усиления сигналов постоянного тока в них использован модулятор во входной цепи. Основными преимуществами такого решения по сравнению с резисторными PGA-усилителями являются:

- низкий уровень шумов
- параметры конденсаторов меньше зависят от температуры по сравнению с параметрами резисторов

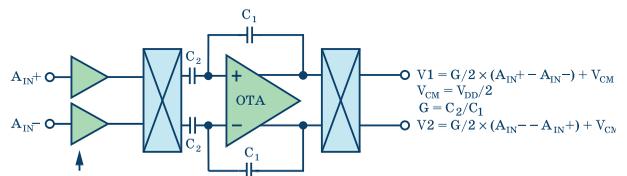
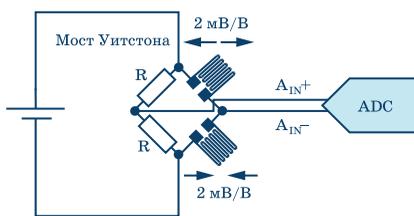


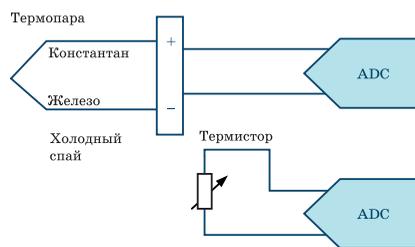
Рис. 7. Конденсаторный PGA-усилитель

- конденсаторы технологически легче согласовать по своим параметрам, чем резисторы
- максимальный синфазный сигнал на входе конденсаторных PGA-усилителей практически равен диапазону напряжений питания
- конденсаторные PGA-усилители имеют меньшее потребление по сравнению с резисторными аналогами
- конденсаторные усилители могут быть выполнены в одном кристалле с сигма-дельта АЦП.

На рис. 8 приведена схема моста Уинстона для весоизмерительных сенсоров. Чувствительность датчика 2 мВ/В, т.е. чем выше напряжение питания моста, тем больше чувстви-



**Рис. 8. Весозмерительная схема на основе моста Уинстона**

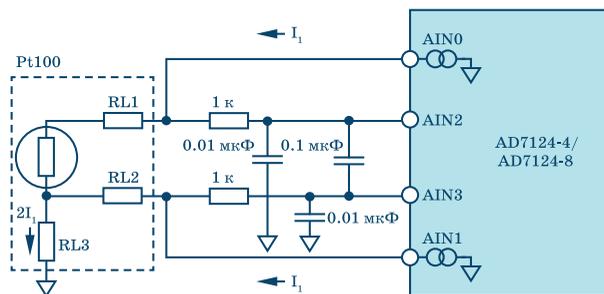


**Рис. 9. Схема измерения температуры на основе термопары**

тельность схемы. Для обеспечения большого динамического диапазона и отношения сигнал/шум следует использовать более высокое напряжение питания моста, чем напряжение питания АЦП. Это условие трудно обеспечить для АЦП с встроенным резисторным PGA-усилителем, а для конденсаторного аналога такое ограничение отсутствует. Сравнительные параметры разных типов PGA-усилителей в составе сигма-дельта АЦП приведены в таблице.

В случае дистанционно удаленного АЦП возможен сдвиг уровня синфазного сигнала по отношению к потенциалу земли. В резисторных усилителях затруднительно обеспечить согласование удаленного сенсора по этому параметру без потери чувствительности. Поэтому, как выход, в резисторной схеме усилителя следует использовать двухполярное напряжение питания, что усложняет и удорожает устройство в целом. В конденсаторных усилителях увеличение напряжения питания не приводит к усложнению схемы.

На рис. 9 приведена схема измерения температуры на основе термопары. Трехпроводная схема включения сигма-дельта АЦП AD7124-8 с компенсацией погрешности, возникающей из-за падения напряжения на выводах термопары, приведена на рис. 10. Применение прецизионного резистора RL3 для компенсации эффекта саморазогрева приводит к сдвигу синфазного сигнала, что снижает динамический диапазон резисторного PGA-усили-



**Рис. 10. Трехпроводная схема измерения температуры**

теля в составе АЦП. Если вместо этого усилителя использовать конденсаторный аналог, то за счет увеличения напряжения питания этого усилителя можно сохранить необходимый динамический диапазон.

На рис. 11 приведена 4-проводная схема измерения температуры логометрического типа.

Использование прецизионного резистора (Precision Resistor) позволяет компенсировать сдвиг средней точки входного сигнала PGA-усилителя. Если напряжение питания усилителя равно 3.3 В., то напряжение, формируемое прецизионным резистором, составляет приблизительно 1.65 В, причем в резисторном PGA-усилителе ограничен коэффициент усиления из-за опасности ограничения выходного сигнала. В то же время в конденсаторном усилителе путем увеличения напряжения питания можно поддерживать необходимый коэффициент усиления, не взирая на сдвиг средней точки входного сигнала.

**Сравнительные параметры резисторного и конденсаторного PGA-усилителей в схеме моста Уинстона**

Тип усилителя	Резисторный	Конденсаторный
Максимальное напряжение питания моста Уинстона, В	3.3	6
Дифференциальная чувствительность сенсора, мВ	3.3	6
Увеличение динамического диапазона, дБ		5.2

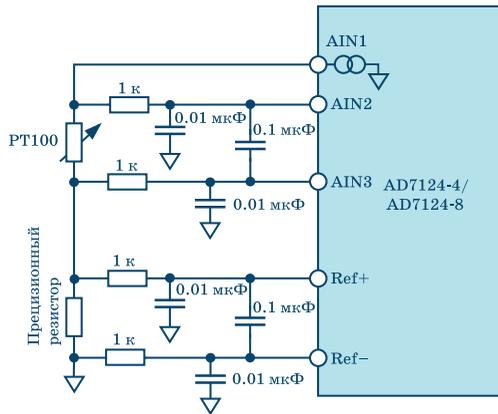


Рис. 11. Четырехпроводная схема измерения температуры

**ВЫВОДЫ:**

1. В сигма-дельта АЦП, как правило, используется PGA-усилители для усиления сигналов низкого уровня.

2. Замена резисторных PGA-усилителей конденсаторными аналогами позволяет уменьшить уровень шума, температурный и временной дрейф, увеличить динамический диапазон и чувствительность, уровень синфазного сигнала на входе при проектировании весоизмерительных устройств, измерителей температуры и т.п.

**ПОЧЕМУ SPI-ИНТЕРФЕЙС БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АЦП РАБОТАЕТ СО СБОЯМИ? \***

**BECAUSE MR.OHM SAID SO...RARELY ASKED QUESTIONS**

У. Джаяхоман

U. Jayahoman



Одним из часто задаваемых разработчиками вопросов является следующий: почему SPI-интерфейс АЦП выдает ошибочный код 0xFF?

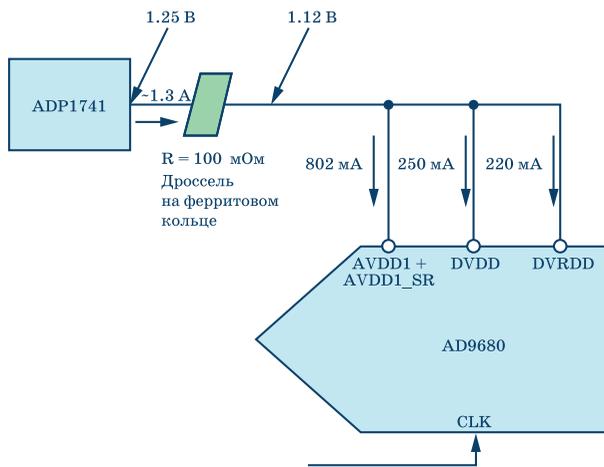
Объяснение состоит в следующем. Новое поколение АЦП с частотой выборки больше чем 1 ГГц, например, AD9620, выполнено по субмикронной технологии (разрешение 65 нм, тип технологии CMOS). Такие АЦП имеют несколько уровней питания: 1.25; 2.5; 3.3 В.

Обычно, в этих АЦП используется согласованное во времени включение каждого источника питания. Однако компания Analog Devices для облегчения проектирования разработала быстродействующие АЦП, в которых нет необходимости задавать определенную последовательность включения источников питания. В АЦП AD9680 имеется встроенный запуск преобразователя при включении питания (power-on reset или POR). При запуске АЦП через SPI-интерфейс будет выдаваться код 0xFF, если не все уровни напряжений установятся в заданное состояние, т.е. 1.8; 2.5 или 3.3 В. Отличие одного из уровней питания от заданного значения может привести к сбою в работе АЦП.

Рассмотрим работу АЦП AD9680-1250 с частотой выборки 1.25 ГГц на примере функциональной схемы, приведенной на рис. 1.

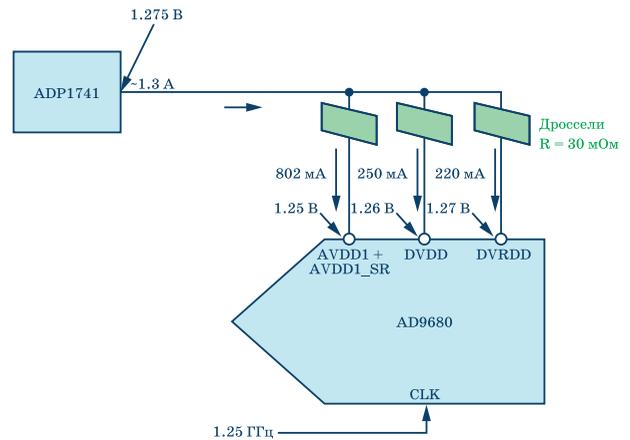
Уровень напряжения с минимальным значением составляет 1.25 В. LDO-стабилизатор напряжения ADP1741 удовлетворяет этим

\* Jayahoman U. Because Mr.Ohm Said So...Rarely asked Questions, Issue 134, Analog Dialogue, 50-10, October, 2016. Сокращенный перевод с английского В. Романова.



**Рис. 1. Схема формирования напряжения питания АЦП с общим дросселем на ферритовом кольце**

требованиям. В связи с тем, что на выходе LDO-стабилизатора включен дроссель с ферритовым кольцом для сглаживания пульсаций в цепи питания, на нем будет подано некоторое напряжение. Поэтому на соответствующих входах АЦП напряжение питания уменьшается до уровня 1.12 В, как показано на рис. 1. Эта основная причина появления сбоя при считывании данных АЦП. Для устранения сбоев



**Рис. 2. Схема формирования напряжения питания АЦП с несколькими дросселями на ферритовых кольцах**

необходимо выполнить одно из следующих условий:

- уменьшить сопротивление дросселя, например, со 100 до 50 мОм;
- поднять уровень выходного напряжения LDO-стабилизатора на величину падения напряжения на дросселе;
- изменить схему включения дросселя согласно рис. 2.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ \*

“HOME” IS WHERE THE HEAR IS

В статье показано, как современные инновационные технологии позволяют снизить стоимость оказания медицинской помощи.

Abstract-

This paper looks how innovative technologies reduce healthcare costs due to health monitoring application.

Т. Зарола

T. Zarola

В настоящее время благодаря развитию информационных и микроэлектронных технологий индивидуальные средства и системы мониторинга состояния здоровья (personal health monitoring) все чаще приходят на смену клиническим или домашним аналогам. Это позволяет существенно снизить стоимость медицинского обслуживания, т.к. пациенты получают

возможность гораздо быстрее покинуть клинику, при этом состояние их здоровья остается под постоянным медицинским контролем. Чем выше качество контроля основных показателей состояния организма (vital signs), тем безопасней и комфортней чувствует себя пациент. Традиционно под домашними средствами контроля состояния здоровья подразумева-

\* Zarola T. “Home” Is Where the Hear Is. [www.analog.com](http://www.analog.com). Сокращенный перевод с английского и комментарий В. Романова.



**Рис. 1. Традиционные домашние медицинские приборы**

лись такие приборы, как термометр, тонометр, глюкометр, весы и т.п., рис. 1. Кроме того, при занятиях спортом используются еще носимые мониторы сердечного ритма. В настоящее время множество фирм выпускает носимые медицинские приборы для контроля здоровья и их применение не ограничивается домашними условиями или спортивными залами. К основным факторам развития такого рынка относятся следующие:

- уменьшение стоимости медицинского обслуживания (например, в США затраты на здравоохранение составляют 18% от ВВП)
- быстрое старение населения (ожидается, что в 2030 г. людей в возрасте 65 лет будет больше чем пятилетних детей)
- нездоровый образ жизни приводит к росту числа людей, страдающих гипертонией, диабетом, легочными заболеваниями и т.п.
- развитие средств телекоммуникацией облегчает удаленный доступ к средствам диагностики
- дистанционный мониторинг состояния здоровья становится реальным средством улучшения качества жизни
- широкое распространение дистанционного мониторинга состояния здоровья уменьшает риск преждевременного попадания в клинику.

Рынок дистанционных средств мониторинга здоровья включает:

- госпитали
- дома престарелых
- спортивные залы и стадионы
- школы и вузы
- страховые компании

- армию и флот
- автомобильную промышленность
- ветеринарию.

Несмотря на наличие множества средств для создания систем дистанционного мониторинга состояния здоровья, имеется достаточно факторов, ограничивающих их применение и снижающих их эффективность. Компания Analog Devices направляет свои усилия на преодоление существующих ограничений, создавая новые компоненты для измерения на расстоянии основных параметров состояния здоровья людей.

Как уже отмечалось выше, к традиционно используемым в домашних условиях медицинским приборам относятся термометр, тонометр, глюкометр, весы (рис. 1), причем используются они, как правило, от случая к случаю.



**Рис. 2. Основные физиологические параметры человека, подлежащие измерению**

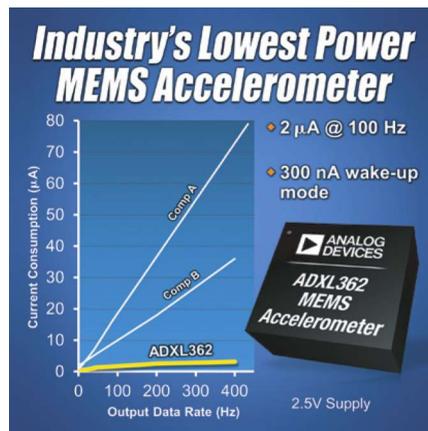
Для непрерывного мониторинга этих же параметров необходимы другие средства и методы их проектирования. К таким устройствам предъявляются следующие требования: они должны быть миниатюрными, носимыми, иметь автономный источник питания (желательно перезаряжаемый), предназначены для долговременной эксплуатации. К одному из основных параметров этих средств относится надежность приема-передачи данных, причем

задержки при этом должны быть сведены к минимуму. Передача данных в мониторах состояния здоровья поддерживается стандартами Bluetooth Smart, Wi-Fi, GPRS и другими. Эти мониторы используются для хронически больных пациентов ( в эту группу входят лица пожилого возраста, пациенты, перенесшие инсульт, инфаркт и т.п.), для спортсменов и лиц, занимающихся фитнесом, для сотрудников МЧС, десантников, спасателей, чья работа сопряжена с чрезвычайными, опасными для жизни ситуациями.

Для пациентов первой группы необходимо обеспечить слежение за уровнем глюкозы в крови, давлением крови, частотой дыхания и пульса (рис. 2). Желательно иметь в составе этих средств кардиомонитор. Такой монитор следит за параметрами подобно тому, как это делают в клинике стационарные мониторы.

В мониторах этой группы может быть использован аналоговый интерфейс для кардосигналов компанией Analog Devices ADAS1000, рис. 3.

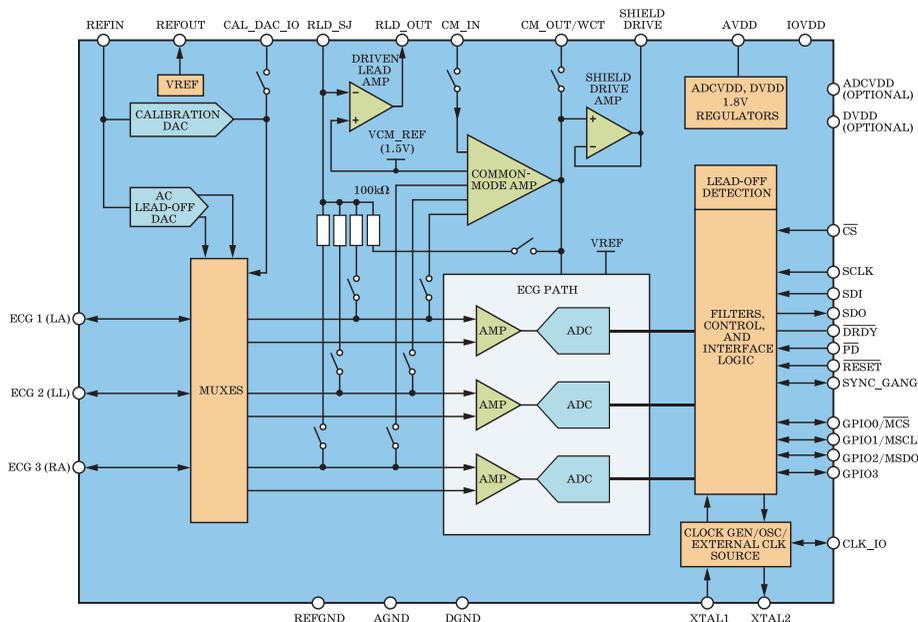
Для людей пожилого возраста важно иметь встроенный детектор падения, который в реальном времени сообщает в центральный компьютер информацию о несчастном случае. Основным элементом такого детектора является интегральная микросхема 3-осного акселерометра ADXL362 рис. 4. Благодаря сверхнизко-



**Рис. 4. ADXL362 – трехосный акселерометр для использования в шагомерах и индикаторах падения**

му потреблению этой ИМС, такой детектор может работать без подзарядки аккумулятора несколько месяцев.

Одним из быстро растущих рынков для систем дистанционного мониторинга состояния здоровья является спорт и фитнес. Частоту сердечных сокращений в этих мониторах измеряют с помощью специального пояса со встроенным датчиком или датчиком, встроенным в рулевое управление бегущей дорожки. Датчики кардосигналов, кроме того, могут быть встроены в специальную одежду. Мониторы, встраиваемые в одежду, должны иметь



**Рис. 3. ADAS1000 – интерфейс трехэлектродного кардиографа**



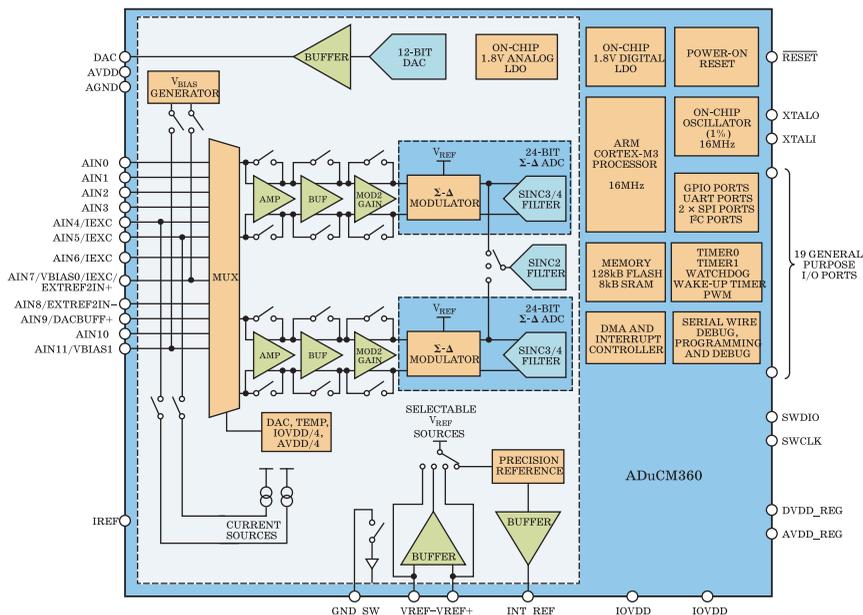


Рис. 7. Система сбора данных для измерения сопротивления кожи ADuCM360

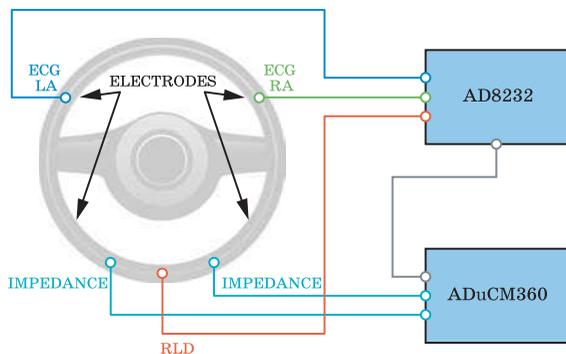


Рис. 6. Трехосный акселерометр для измерения силы удара ADXL377

**ВЫВОДЫ:**

1. Концепция дистанционного измерения состояния здоровья в настоящее время получила развитие во многих областях человеческой деятельности.
2. Дистанционные мониторы здоровья позволяют снизить стоимость медицинских услуг, повысить безопасность хронических больных, находящихся вдали от медицинских учреждений, обеспечить своевременную помощь персоналу в условиях чрезвычайных ситуаций, повысить надежность работы транспортных средств.
3. Компания Analog Devices выпускает широкий набор микросхем для построения дистанционных мониторов здоровья.

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

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

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, ISO 13485:2003 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, ISO 13485:2003 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

## МНОГОДИАПАЗОННЫЕ ПРИЕМНИКИ С БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИМИ АЦП (часть 1) \*

**В** настоящей публикации рассмотрены преимущества применения быстродействующих АЦП с цифровым понижающим преобразователем.

Abstract-

**T**he advantages of using RF sampling ADCs with digital down converters are considered.

У. Джаямохан

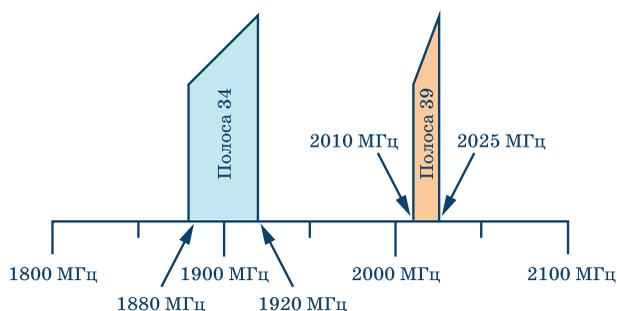
U. Jayamohan

В цифровых приемниках применяются АЦП с высокой скоростью преобразования радиочастотных сигналов, частота выборки которых составляет единицы гигагерц. Однако, чем больше частота выборки АЦП, тем больше данных поступает в сигнальный процессор. В этом случае к сигнальному процессору предъявляются более жесткие требования к скорости обработки данных.

Эту проблему можно решить, если встроить цифровой понижающий преобразователь в кристалле быстродействующего АЦП. В этом случае поток цифровых данных на выходе АЦП имеет меньшую частоту, в результате чего данные могут быть обработаны недорогим процессорным ядром, выполненным на основе ПЛИС типа FPGA или заказной БИС.

Еще одним преимуществом такого решения является высокая гибкость при построении многодиапазонных и, в частности, двухдиапазонных систем приема-передачи данных. В статье это преимущество показано на примере АЦП AD9680.

Традиционно двухдиапазонные радиосистемы состоят из двух независимых каналов, один из которых поддерживает диапазон приемника TDD LTE, полоса 34 (полоса А: 2010...2025 МГц), и полоса 39 (полоса F: 1880...1920 МГц), рис. 1. Структура такого приемника приведена на рис. 2. Это решение прежде всего неэкономично, так как все элементы дублируются, т.е. растет сложность и потребление системы в целом. Также удваивается число FPGA-интерфейсов, как показано на рис. 3.



**Рис. 1. Диаграмма распределения частот в двухдиапазонном приемнике**

В приведенной на рис. 3. схеме могут быть использованы два типа интерфейсов на выходе АЦП: LVDS и JESD204B. Скорость передачи данных по первому интерфейсу ниже скорости передачи по второму. Поэтому при работе с более быстрым интерфейсом следует использовать ПЛИС FPGA с большим быстродействием.

АЦП с частотой выборки более 1 ГГц позволяют обеспечить более высокую гибкость при построении двухдиапазонных систем приема/передачи данных. Благодаря субмикронной технологии в кристаллах таких АЦП могут быть встроены узлы первичной обработки данных, которые имеют гораздо меньше потребление в сравнении с внешними аналогами на основе FPGA-ПЛИС.

АЦП с частотой выборки более 1 ГГц имеет избыточное число отсчетов на выходе, поэтому встроенный цифровой понижающий преобразователь обеспечивает необходимую частоту

\* Jayamohan U. Crossing a New Frontier of Multiband Receivers with Gigasample ADCs – (part 1). Analog Dialogue, 50-08, August, 2016.

Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

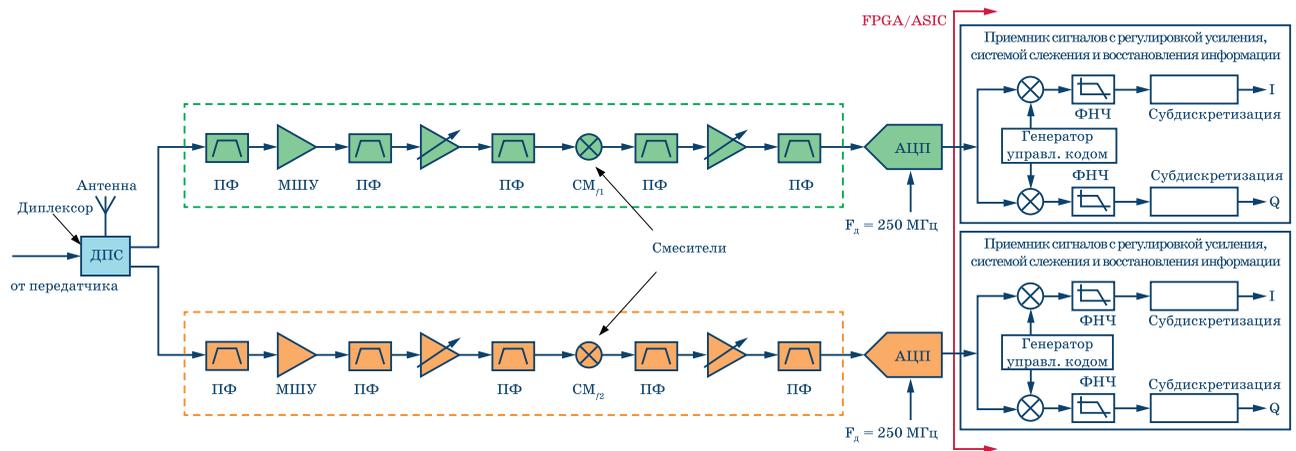


Рис. 2. Традиционная структурная схема двухдиапазонного радиоприемника

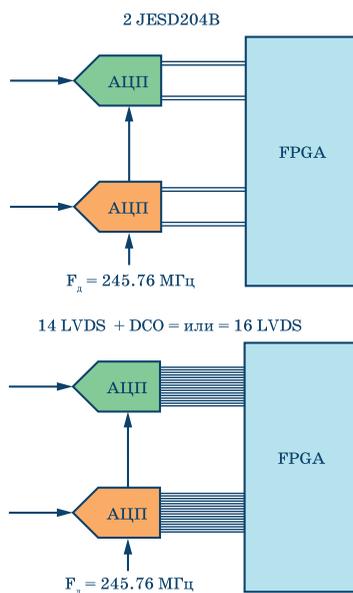


Рис. 3. Структурная схема интерфейса традиционного двухдиапазонного приемника

выходных отсчетов для последующей обработки. Структурная схема такого АЦП приведена на рис. 4. Используемый в схеме понижающий частоту отсчетов преобразователь позволяет согласовать выход АЦП с интерфейсом типа JESD204B. Вместе с сигнальным процессором такое решение позволяет упростить двухдиапазонный приемник, рис. 5.

Аналогичное схемотехническое решение может быть использовано в быстродействующих интерфейсах с сверхвыборкой, в которых функции дециматора выполняет понижающий преобразователь.

### ВЫВОДЫ:

1. Создание АЦП с частотой выборки 1 ГГц и более, выполненных по субмикронной технологии, открывает новые возможности в области телекоммуникаций, систем обработки данных и т.п.

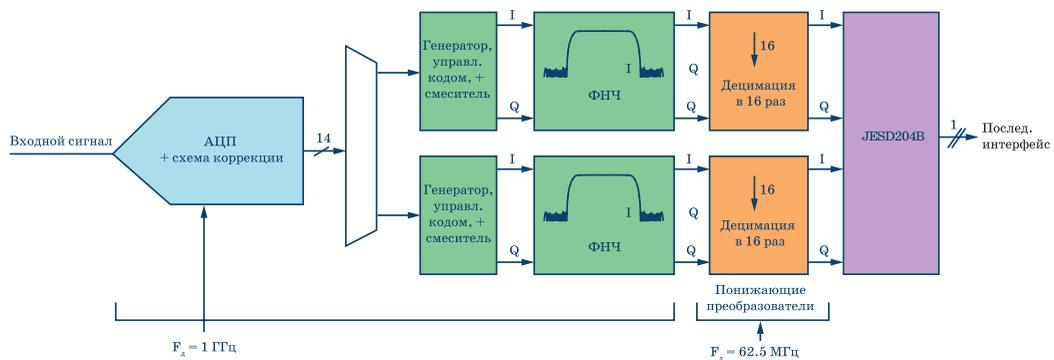


Рис. 4. Структурная схема быстродействующего АЦП с встроенным цифровым понижающим преобразователем

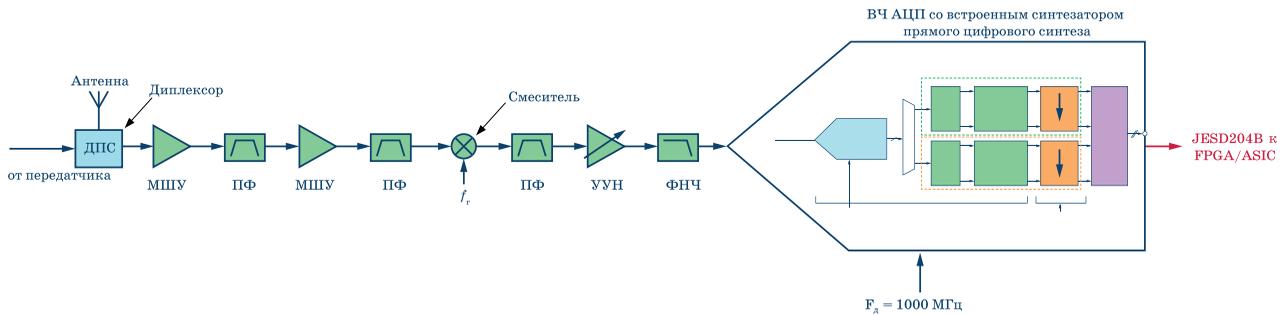


Рис. 5. Структурная схема двухдиапазонного приемника на основе быстродействующего АЦП и понижающего преобразователя

2. Вместе с встроенными цифровыми понижающими преобразователями эти АЦП позволяют создавать двухдиапазонные приемники с малым потреблением, системы обработки дан-

ных с сверхвыборкой. При этом не требуются внешние интерфейсы, выполненные на дорогих ПЛИС типа FPGA или заказных БИС.

**VD MAIS**  
PCB Professionally

Украина,  
03061 Киев  
ул. М. Донца, 6

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

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- проектирование
- производство

**НПФ VD MAIS предлагает:**

- проектирование
- технологическую подготовку производства
- изготовление любого количества
  - по ГОСТ 23752-79
  - по стандарту IPC-A-600H
- проектирование и изготовление трафаретов для нанесения паяльной пасты
- качество работы, соответствующее требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, ISO 13485:2003 и ISO/TS 16949:2009

[ 20 лет на рынке печатных плат ]

**VD MAIS**  
PCB Professionally

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

# LEDiL



## ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПАНИИ LEDiL

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

Поддержка  
приложений

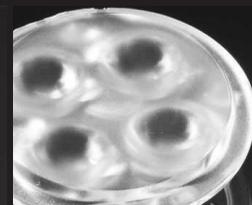
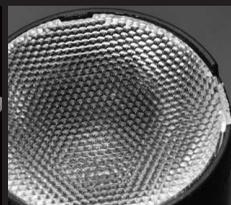
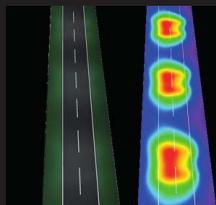
Пользовательские  
решения

Симметричные

Асимметричные

Рефлекторы

Массивы



НПФ VD MAIS – официальный дистрибьютор компании LEDiL в Украине

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

# СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDIL

## OPTIC MODULES OF LEDIL

**В** статье приведены основные технические характеристики оптических компонентов компании Ledil.

Abstract – **T**he main characteristics of optic modules are considered in this article.

*В. Охрименко*

*V. Okhrimenko*



### ВВЕДЕНИЕ

Финская компания Ledil – одна из компаний, специализирующихся на выпуске оптических компонентов. Многообразие выпускаемой продукции позволяет найти вариант, наиболее полно удовлетворяющий требования заказчиков [1-3]. Кроме того, компания предоставляет файлы в формате IES (Illuminating Engineering Society – Общество проектирования осветительных приборов), которые могут быть полезны в случае работы с бесплатным программным обеспечением (ПО) "Dialux", позволяющим моделировать освещенность помещения при использовании комплекта линз в процессе проектировании систем освещения.

Оптические компоненты (линзы и рефлекторы) предназначены для того, чтобы сформировать пространственное распределение (по сути, диаграмму направленности) светового потока источников света для решения конкретных задач освещения.

Важная характеристика диаграммы направленности – ширина телесного угла, в пределах которого интенсивность излучения составляет не менее половины значения, измеренного в направлении ее максимума. Этот параметр обычно обозначают как "ширина диаграммы направленности" или "угол половинной яркости" (Full Width at Half Maximum – FWHM). Форма диаграммы направленности определяет, какая часть общего светового потока заключена внутри упомянутого телесного угла. Степень прозрачности линз характери-

зуют таким параметром, как "пропускная способность" или КПД ( $\eta$ ), обозначающим прошедшую через линзу часть светового потока. В табл. 1 приведены примеры обозначения некоторых простейших диаграмм направленности в зависимости от ширины светового пучка (луча).

*Таблица 1. Обозначение диаграмм направленности*

Обозначение диаграммы направленности	Ширина, ± град.
RS (real spot – узкая)	4
SS (smooth spot – узкая сглаженная)	7
D (diffuser – рассеивающая)	10
M (medium – средней ширины)	15
W (wide – широкая)	25
WW (extra wide – очень широкая)	30
O (oval – овальная)	5×20 *
REC (rectangular – прямоугольная)	20×10 *
* во взаимно перпендикулярных плоскостях	

Выпускаемые компанией Ledil оптические линзы предназначены для использования совместно со светодиодами разных производителей (Cree, Nichia, OSRAM и др.) Их высокое качество обеспечивается, в первую очередь, благодаря тому, что материалом для изготовления линз служит полиметилметакрилат (PMMA), отличающийся высокой прозрачностью, водостойкостью, устойчивостью к воздействию высокой температуры (до 105 °C) и ультрафиолетового излучения, а также щелочных и солевых растворов. Преимуществом этого материала является то, что спектр проходя-

щего через его светового потока остается неизменным.

По конструктивному исполнению различают круглые и прямоугольные линзы, а также линзы специальной формы. Особенностью прямоугольных линз является возможность их установки вплотную друг к другу без зазоров, что важно при их использовании в системах наружного освещения. Выпускаются линзы как для одного, так и для нескольких (от 3 до 8) светодиодов.

Формирование заданного светового потока – сложная задача, требующая определенных знаний, навыков, опыта, времени и пр. Поэтому всегда предпочтительнее использовать продукцию компаний, специализирующихся на разработке и производстве оптических компонентов для светодиодов. В последнее время в ассортименте оптических элементов для светодиодных светильников, в том числе и для уличных, наметилась тенденция к переходу от одиночных линз к блочным. Основные причины – это существенное снижение стоимости линз в пересчете на один светодиод, а также отказ от использования защитного стекла, функции которого выполняет в этом случае блочная линза. Поэтому цена светильника может быть снижена. Кроме того, при отказе от защитного стекла исключаются искажения и снижаются потери светового потока, а также увеличивается коэффициент использования.

### КРИВЫЕ СИЛЫ СВЕТА

В технической документации на светодиоды приводится их энергетическая характеристика, т.е. значение создаваемого светового потока, что вполне объяснимо. Этот параметр характеризует излучение, которое распространяется от источника по всем направлениям. Однако зачастую важнее знать не полный световой поток, а тот поток, который распространяется в определенном направлении или падает на определенную поверхность. Автомобильные фары должны обеспечить большой световой поток в сравнительно узком телесном угле. При освещении письменного стола интересуют поток, приходящийся на вполне конкретную поверхность (например, тетрадь или книгу). Поэтому в светотехнике кроме светового потока ( $\Phi$ ) широко применяются и другие физиче-

ские величины – это сила света ( $I$ ), освещенность ( $E$ ) и яркость ( $L$ ).

Распределение излучения реального источника в окружающем пространстве, как правило, неравномерно. Поэтому полный световой поток не является исчерпывающей характеристикой источника, если неизвестно распределение излучения по разным направлениям окружающего пространства. Чтобы характеризовать распределения светового потока пользуются таким понятием как пространственная плотность светового потока в разных направлениях окружающего пространства. Пространственную плотность светового потока, которая определяется как отношение светового потока к телесному углу (в пределах которого он равномерно распределен и с вершиной в точке расположения источника), называют силой света.

Т.е. сила света ( $I$ ) – отношение светового потока ( $\Phi$ ), распространяющегося внутри телесного угла ( $\Omega$ ), к этому углу. Единица измерения силы света в Международной системе единиц (СИ) – кандела (1 кд = 1 лм/ср), что соответствует световому потоку 1 лм, равномерно распределенному внутри телесного угла 1 стереadian (ср.). Телесный угол – часть пространства, заключенного внутри конической поверхности.

$$I = \Phi / \Omega.$$

Освещенность ( $E$ ) – отношение светового потока ( $\Phi$ ), падающего на поверхность, к площади этой поверхности ( $S$ ). Единица измерения освещенности в СИ – люкс (1 лк = 1 лм/м<sup>2</sup>).

$$E = \Phi / S.$$

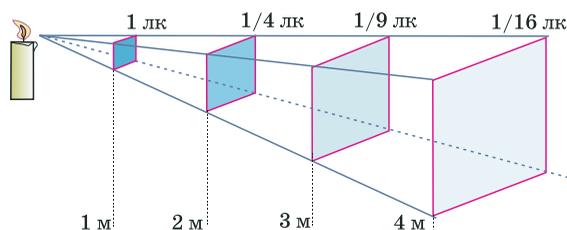
Освещенность – это количество светового потока, падающего на единицу площади поверхности или другими словами плотность светового потока на освещаемой поверхности.

Приведенные формулы определяют среднюю силу света и среднюю освещенность. Они будут тем ближе к истинным, чем равномернее световой поток и чем меньше значения  $\Omega$  и  $S$ .

Освещенность поверхности от точечного источника света подчиняется закону квадрата расстояния и в общем случае определяется как:

$$E = I \cos \alpha / d^2;$$

где  $I$  – сила света в направлении освещаемой точки на поверхности,  $d$  – расстояние от источника,  $\alpha$  – угол, между направлением лучей света и нормалью к освещаемой поверхности. В соответствии с приведенным выражением освещенность поверхности существенно снижается при удалении от точечного источника света, (рис. 1).



**Рис. 1. Зависимость уровня освещенности от расстояния до источника света**

Более объективная фотометрическая характеристика, на которую непосредственно реагирует человеческий глаз, – это яркость. Яркость ( $L$ ) – это поверхностная плотность силы света в заданном направлении:

$$L = I/S.$$

Освещенность, создаваемая источниками света разных размеров, но с равными световыми потоками на одинаковом расстоянии от них, будет одинакова. Однако, чем меньше размер источника, тем ярче он будет казаться наблюдателю, т.к. сила света, испускаемая с единицы площади поверхности источника, будет больше. Единица измерения яркости – кд/м<sup>2</sup> (это яркость поверхности, с каждого квадратного метра которой излучается сила света 1 кд в направлении перпендикулярном этой поверхности).

Очевидно, что при использовании одного и того же источника, можно добиться разной силы света и освещенности. Если направить весь световой поток или большую его часть внутрь малого телесного угла, то в этом направлении можно получить большую силу света в определенном направлении, как, например, в прожекторе или автомобильной фаре. Если сконцентрировать благодаря отражателям или линзам даже сравнительно небольшой световой поток на малой площади, то можно достигнуть большой освещенности этой поверхности.

Оптическая система светильника, в том числе и светодиодного, представляет собой отражающую и/или преломляющую оптическую систему, формирующую распределение светового потока в окружающем пространстве. Это одна из важных составляющих светильника. Как правило, светильники снабжены разнообразными оптическими системами разного назначения. Чтобы выбрать оптимальный вариант оптической системы для конкретного приложения следует принимать во внимание много характеристик. Это эффективность, внешний вид, конструктивные особенности и многие другие. Однако правильный выбор кривых силы света оптической системы – первостепенная задача. Именно эта характеристика важна для создания требуемой пространственной освещенности объекта.

Кривые силы света (КСС) – диаграммы распределения силы света ( $I$ ), представленные в полярных или декартовых системах координат. Как правило КСС, приводимые в документации производителей, – это графическое изображение распределения светового потока в пространстве, которое представляется в виде графиков:

$$I = f(a) \text{ и } I = f(b),$$

где,  $a$  и  $b$  – углы распространения светового потока, соответственно в продольной и поперечной плоскостях. Например, чем больше кривые напоминают овал, вытянутый вдоль оптической оси источника, тем выше освещенность в центре светового пятна.

В подавляющем большинстве случаев производители линз на диаграмме приводят значения силы света в единицах кд, причем для источника со световым потоком 1000 лм. На диаграммах, представленных в полярных координатах, даны кривые силы света в двух перпендикулярных плоскостях, проходящих через оптическую ось системы и, обозначаемых на диаграмме C0-C180 и C90-C270 (рис. 2). Если кривые симметричные, то зачастую диаграмма дается только для одной плоскости. КСС приводятся также в декартовых координатах. В этом случае по оси абсцисс откладываются углы в одной из плоскостей, по оси ординат значения силы света (рис. 3). Для систем, формирующих узконаправленное распределе-

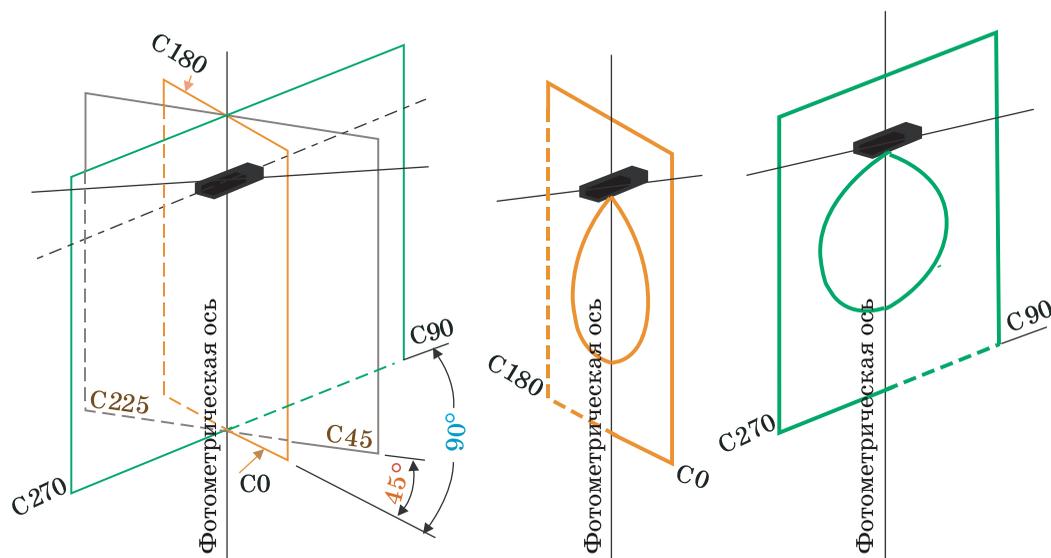


Рис. 2. КСС в полярной системе координат

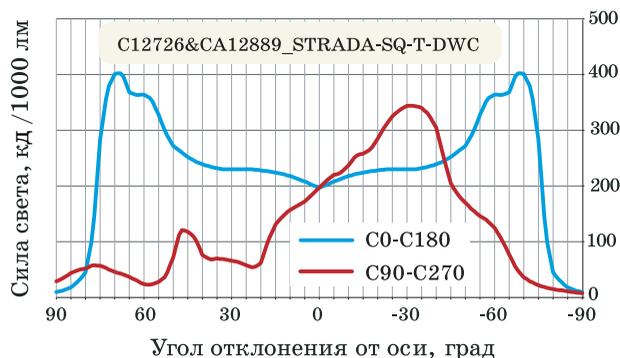
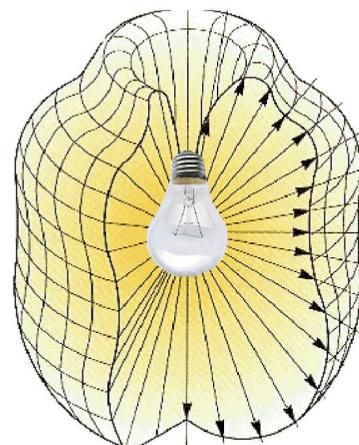


Рис. 3. КСС в декартовой системе координат

ние светового потока (например, в прожекторе), нагляднее пользоваться диаграммой, представленной в декартовой системе.

Нельзя не отметить, что диаграммы, приведенные только для двух взаимно перпендикулярных плоскостей (как это принято в документации производителей), дают лишь общее представление о пространственной форме распределения светового потока. Строго говоря, как для симметричных кривых, так и для несимметричных невозможно определить освещенность объекта с большой достоверностью, и в этом случае только использование прототипа светильника дает гарантию получить результат максимально приближенный к реальной картине. В противном случае необходимо построить КСС для значительно большего количества плоскостей (рис. 4). При наличии файлов в формате .ies для моделирования освещенности объекта можно использовать соответствующее программное обеспечение.

Рис. 4. Полная диаграмма распределение светового потока в пространстве



ценности объекта можно использовать соответствующее программное обеспечение.

Одной из важнейших характеристик светильников и, безусловно, линз являются кривые силы света. Во многих случаях светильники разрабатываются не для одного конкретного приложения, а для типового и массового использования и от того, как распределяется в пространстве световой поток, зависит их назначение.

Существует ряд стандартных (рис. 5) симметричных типов КСС (концентрированная, косинусная, синусная, равномерная и др.), описание которых можно найти в соответ-

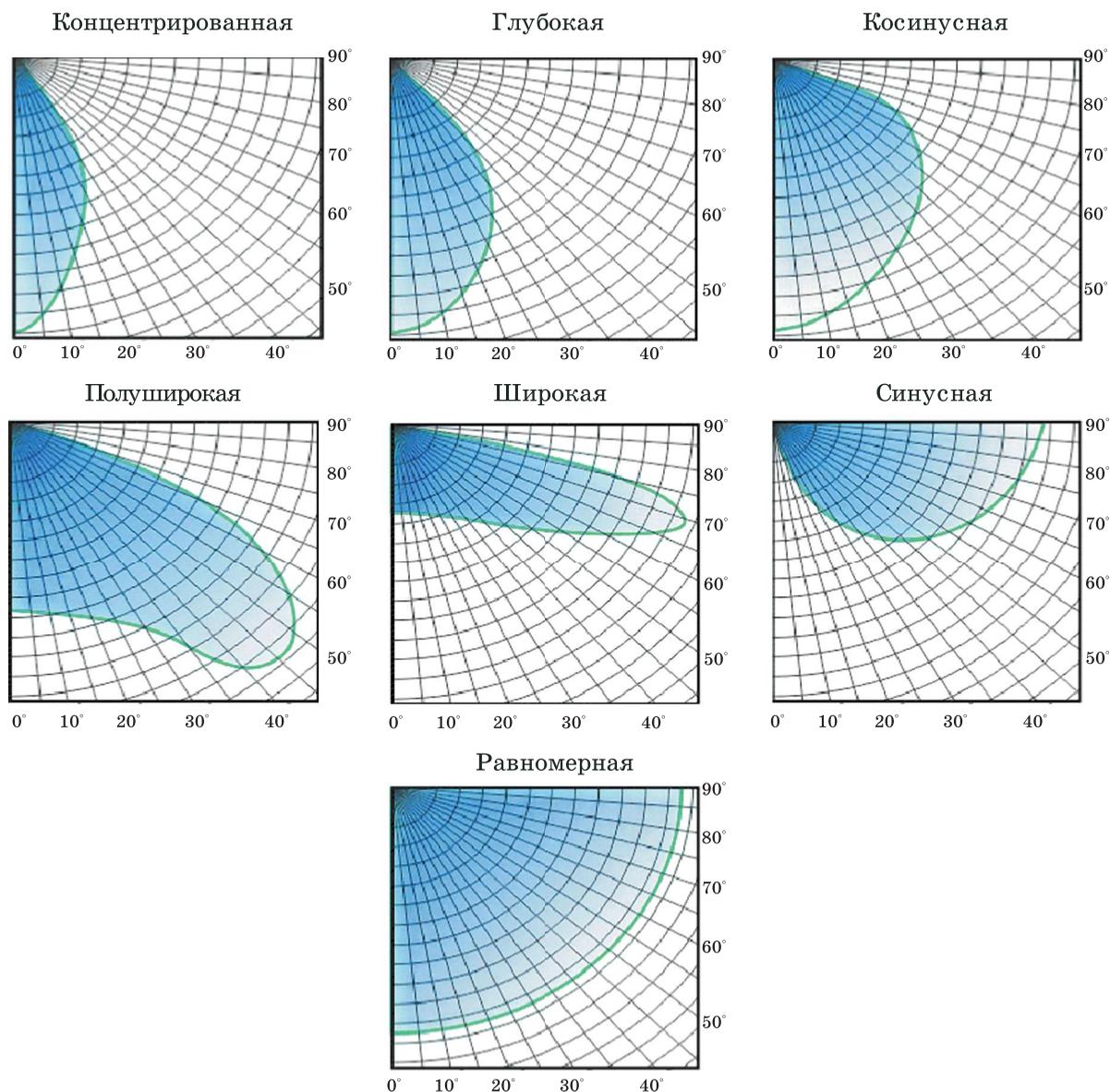


Рис. 5. Стандартные симметричные КСС

ствующих национальных стандартах.

Зачастую для формирования пространственного светового потока в светодиодных светильниках применяются оптические системы, формирующие стандартные кривые силы света, или разрабатываются специальные конструкции светильников.

В наружном освещении и для освещения производственных помещений применяют светильники с косинусной и полуширокой кривой силы света. Для общего освещения офисов в основном применяются светильники прямого и рассеянного света с косинусной кривой. Для подсветки выделенных архитектурных зон и деталей интерьера следует использовать

светильники прямого света с концентрированной кривой силы света. Чтобы создать "приглушенное" освещение (например, в холле здания или офиса) применяются светильники отраженного света с синусной кривой.

Однако далеко не всегда при использовании стандартных КСС можно создать желаемую освещенность объекта.

Кроме того, неверно полагать, что каждая из выпускаемых серий линз имеет только свою, достаточно ограниченную область применения. Как правило, можно лишь говорить о возможных сферах применения. Линзы можно использовать в любых приложениях исходя из их основных характеристик, и в первую

очередь, исходя из кривых силы света.

### СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDIL

Линзы Florence-1R предназначены для использования в светильниках с высотой подвеса примерно 4 м для создания освещения в проходах между стеллажами, для равномерного освещения вертикальных стен и для одностороннего освещения стеллажей на складах и в магазинах. Наборы линейных линз Florence-1R (Florence-1R-Z90/Z60/ZT25 и др.) предназначены для применения с полуваттными и одноваттными светодиодными модулями, расположенными в ряд. Габаритные размеры линз Florence-1R, состоящих из трех секций, – 286×19.5×7 мм. Предусмотрены места для размещения разъемов и каналы для проводов питания, что дает возможность разместить коннекторы на печатной плате со светодиодами и избавиться от операции пайки при сборке светильника. Линзы Florence-1R позволяют создавать разные линейные системы внутреннего освещения с широким выбором световых диаграмм.

На складах со стеллажами, как правило, освещают проезды, проходы и пространство между стеллажами. Чтобы сформировать световой поток в нужном направлении, применяют светодиодные светильники с овальной диаграммой, что позволяет равномерно осветить пространство, при этом расстояние между светильниками можно увеличить и тем самым сократить их число.

В крупных складских комплексах при использовании погрузчиков возникает дополнительное требование к освещению – снижение габаритной яркости. Водители складских погрузчиков при складировании упакованных товаров на верхние стеллажи вынуждены часто смотреть вверх и при этом они не должны испытывать стресс от ярких точечных источников света, что может быть причиной аварийности и приводить к снижению производительности труда. Для решения этой проблемы в светильниках используют большое количество малогабаритных полуваттных светодиодов, которые распределяют световой поток по значительной поверхности светильника. Что-

бы при большой высоте подвеса светильников "свет не терялся под потолком", следует использовать вторичную оптику, что гарантирует достаточную освещенность пола.

Линзы типа Florence-3R (Florence-Z60/Z90/ZT25) имеют габаритные размеры 286×61×8.5 мм и предназначены для применения в светильниках, размещаемых на высоте от 3.5 до 7 м.

Линзы Florence ориентированы на использование со светодиодами разных производителей, в том числе и со светодиодами Cree XH-B. На рис. 6 приведены диаграммы КСС для блочных линз Florence-Z60/Z90/ZT25. Эти линзы предназначены для светильников, размещаемых на складах, в супермаркетах и офисах. На рис. 7 приведен пример освещения стеллажей с использованием блочных линз Florence-ZT25. Оптическая асимметричная система содержит 6 светильников, которые установлены с интервалом 3.8 м. Высота подвеса 3.5 м, ширина прохода 3 м. Световой поток светильника

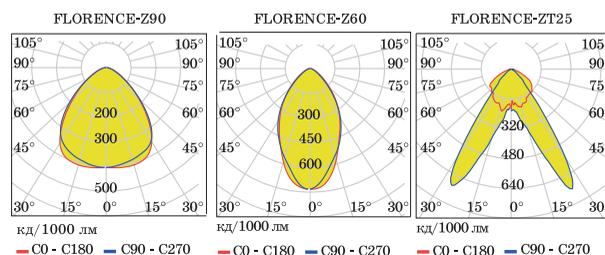
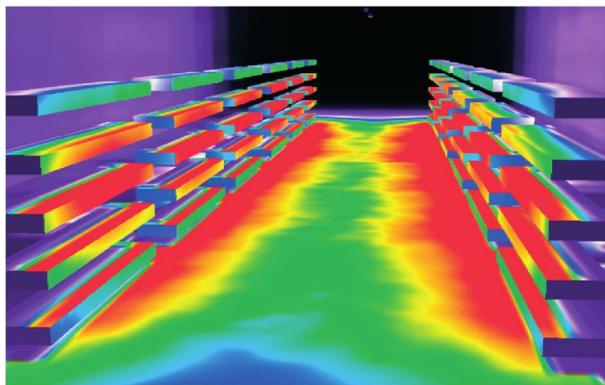


Рис. 6. Диаграммы КСС для блочных линз Florence-Z60/Z90/ZT25

Семейство блочных линз Florence ориентировано на применение в складских светильниках, а также при освещении производственных и офисных помещений.

Уличное освещение – одна из сфер применения светодиодных светильников. Уличный светильник должен обеспечить весьма специфическое пространственное распределение



*Рис. 7. Пример освещения стеллажей с использованием линз Florence-ZT25*

силы света. Одна из задач, которую следует решить при создании светильника, – это выбрать оптические компоненты, которые будут обеспечивать определенную диаграмму направленности, гарантированную для выбранных светодиодов. Кроме того, необходимо учитывать конструктивные особенности оптических элементов (линз), т.к. они оказывают значительное влияние на конструкцию светильника. Форма и размеры линз определяют порядок размещения светодиодов на печатной плате, а также габаритные размеры и внешний вид светильника, который зависит и от устойчивости выбранных оптических компонентов к воздействию окружающей среды (во многих случаях можно отказаться от использования защитного стекла). Необходимо также предусмотреть возможность модернизации светильника посредством простой замены оптических элементов для получения иной диаграммы КСС. И, конечно, стоимость, которая во многом зависит от стоимости оптических компонентов и технологических особенностей их использования. Учет всех перечисленных, а также не упомянутых факторов, которые следует принимать во внимание при проектировании светодиодных светильников, – нетривиальная проблема. Одна из важнейших характеристик светильников и линз – кривые силы света. Собственно, диаграмма направленности и должна гарантировать необходимую пространственную освещенность объекта, в данном случае – улиц и пешеходных переходов.

Компания Ledil предлагает как отдельные,

так и модульные линзы, ориентированные на применение в светильниках для уличного освещения.

Модульные линзы унифицированы, т.е. имеют фиксированные размеры и совместимы по форме, числу оптических элементов, их взаимному расположению и точкам крепления. Это дает возможность при замене линз корректировать диаграмму направленности без каких-либо конструктивных изменений светильника. Например, модульные линзы формата 2×2 используются в серии линз для уличного освещения Strada-2×2 (Street lighting), в серии НВ-2×2 (т.н. светильниках высокого подвеса – High Bay) и др. Особенность модульных линз – стойкость к воздействию окружающей среды, что позволяет отказаться от использования защитного стекла, которое, кроме того, что вносит существенные потери может исказить диаграмму направленности.

Ассортимент компонентов модульной оптики, компании Ledil для уличного освещения включает линзы как с асимметричными, так и с симметричными кривыми силы света. КСС уличных светильников определяются их назначением, способом освещения, типом используемых осветительных опор и пр. Некоторые варианты дорожного освещения приведены на рис. 8, типы опор, традиционно применяемые при освещении автострад и улиц, а также характерные диаграммы кривых силы света, – на рис. 9. Вполне очевидно, что в зависимости от типа опор необходимо использовать светильники с симметричными или асимметричными КСС.

В продукции компании Ledil, предназначенной для применения в уличных светильниках, наиболее широко представлены модульные и одиночные линзы серии Strada и Stradella. Они ориентированы на использование совместно со светодиодами компании Cree XLamp серий XP, XT, XML и др. Оптическая эффективность этих линз составляет 92...94%. Серия одиночных линз Strada включает следующие типы линз: Strada-A, -B2, -C, C2, -D -IP, -K, -S, -SQ, -T.

В качестве примера модульных можно привести линзы типа C15021\_Strada-2X2-SCL. Это квадратные линзы, изготовленные из прозрачного органического стекла и ориенти-

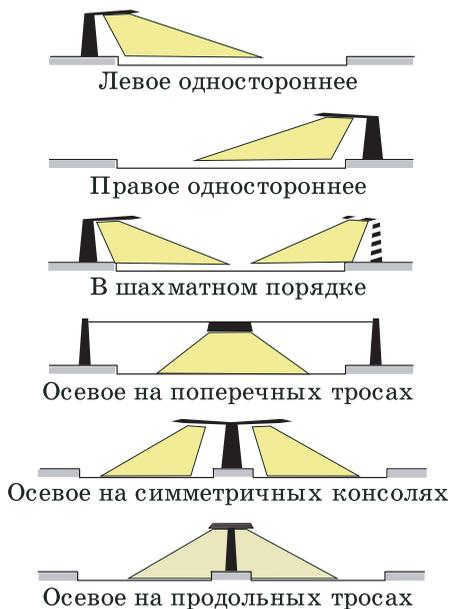


Рис. 8. Варианты дорожного освещения

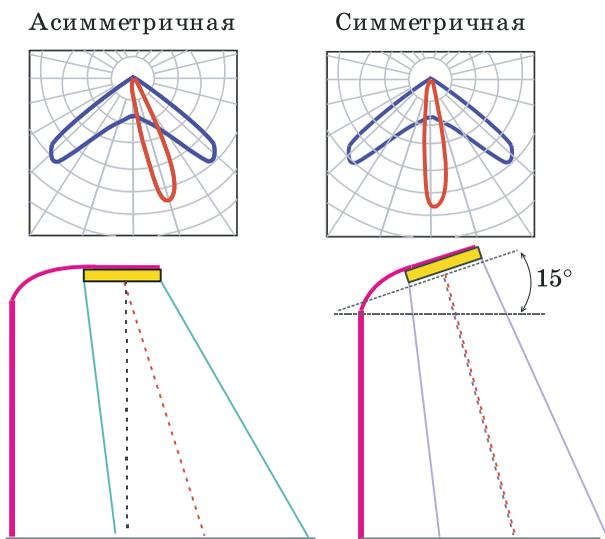


Рис. 9. Характерные диаграммы КСС для осветительных опор разного типа

рованные на использование со светодиодами типа XB-H, XHP35 HD, XP-L, XT-E, XP-G2, LUXEON 5258 или аналогичными. Оптическая эффективность до 94%. Габаритные размеры 50×50×7.8 мм.

Модульные линзы Strada-2×2 modules рассчитаны на использование нескольких светодиодов. Эти линзы могут состоять из элементов как с одинаковыми, так и с различными оптическими характеристиками. Особенность некоторых линз серии Strada – асимметричная диаграмма направленности, что позволяет формировать на поверхности световое пятно в виде полосы с оптимальным для улиц и дорог освещением. Линзы серии Strada можно компоновать друг с другом. Например, для получения желаемой диаграммы направленности потребитель может использовать в одном и том же светильнике разные линзы, как одиночные, так и модульные.

В сравнение с серией Strada линзы Stradella имеют меньшую стоимость, а номенклатура выпускаемых линз этой серии ограничена. Использование линз серии Stradella позволяет сократить затраты на производство светодиодных светильников для освещения улиц, цехов, подъездов, производственных помещений и т.п. без потери качества. Эти линзы предназначены для использования со светодиодами средней мощности, имеющих типоразмер 3030 или 5050. Параметры линз серии Stradella даны в табл. 2, их внешний вид приведен на рис. 10.

Пользуясь диаграммами КСС только для двух взаимно перпендикулярных плоскостей и не имея соответствующего опыта, крайне сложно представить распределение светового пятна на поверхности. В [1] можно найти примеры светового пятна (рис. 11),



Рис. 10. Линзы серии Stradella

Таблица 2. Параметры линз Stradella

Тип	Вид диаграммы	Число светодиодов	Габаритные размеры, мм	$\eta$ , %	Кд/лм
STRADELLA-9-AT	Асимметричная	9	49.5×49.5×6.3	92	0.46
STRADELLA-8-T2		8	49.5×49.5×5.7	94	0.75
STRADELLA-T2		1	13.9×13.9×4.96		0.77
STRADELLA-8-T3		8	49.5×49.5×5.7		0.7
STRADELLA-T3		1	13.9×13.9×4.96		
STRADELLA-8-VSM	Очень широкая	8	49.5×49.5×5.5		0.42
STRADELLA-16-HB-S	Узкая	16	49.5×49.5×7.5	—	—
STRADELLA-16-HB-M	Средняя		49.5×49.5×5.7	—	—
STRADELLA-16-HB-W	Широкая		49.5×49.5×7.12	—	—
STRADELLA-8-HB-S	Узкая	8	49.5×49.5×7.5	90	1.75
STRADELLA-8-HB-M	Средняя		49.5×49.5×5.7	92	0.70
STRADELLA-8-HB-W	Широкая		49.5×49.5×7.12	94	0.46
STRADELLA-HB-S	Узкая	1	13.9×13.9×7.5	—	—
STRADELLA-HB-M	Средняя	1	13.9×13.9×5.7	—	—
STRADELLA-HB-W	Широкая	1	13.9×13.9×7.12	—	—

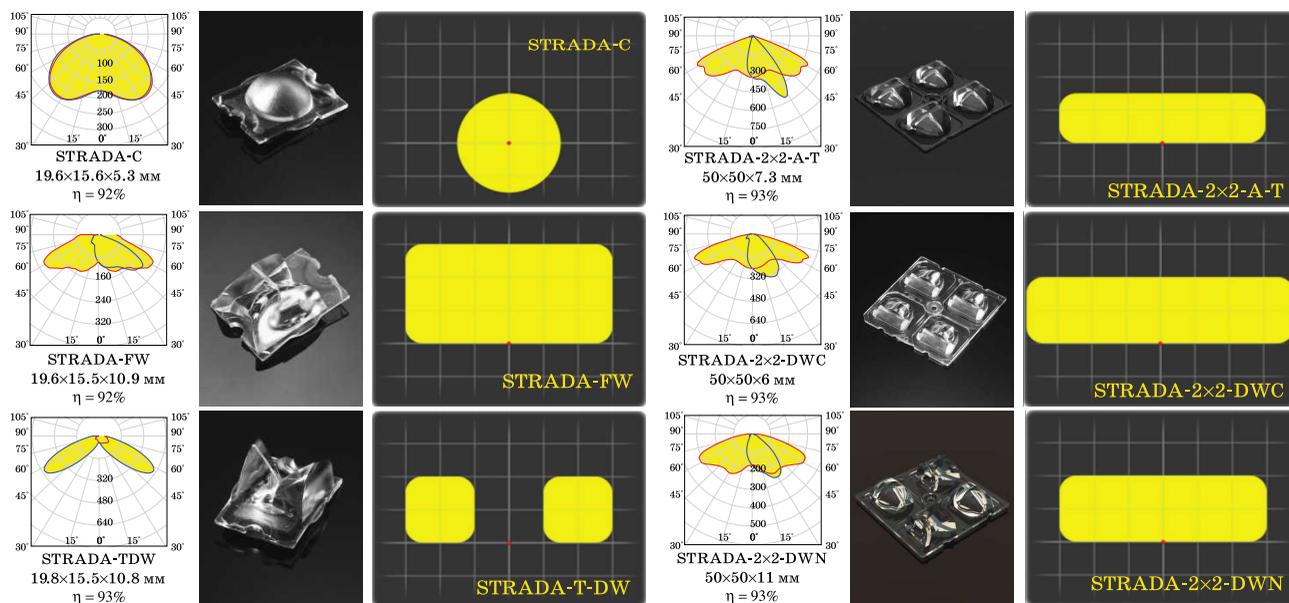


Рис. 11. Примеры светового пятна при использовании линз серии Strada

при освещении поверхности с использованием светодиодов и некоторых типов линз серии Strada. И хотя в примерах приведена несколько упрощенная информация, она крайне важна для неискушенных потребителей и может существенно помочь разработчику осветительных устройств при первоначальном выборе оптических компонентов. На рис. 12 приведены примеры светового пятна в случае комбинированного использования линз [1].

Модульные линзы Strada-2×2-PX [3] ориентированы на использование при освещении пешеходных переходов с осветительных опор, расположенных на противоположных сторонах автомобильных магистралей с правосторонним движением (яркие лучи света не должны слепить водителей транспорта). Схема освещения пешеходного перехода и кривые силы света для линз Strada-2×2-PX приведены на рис. 13 [3].

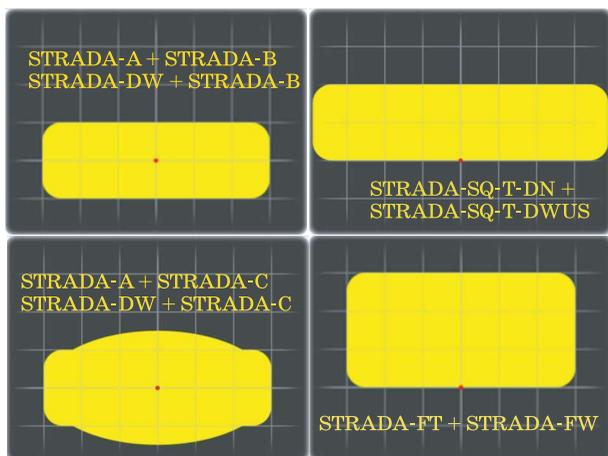


Рис. 12. Примеры светового пятна при комбинированном использовании линз серии Strada

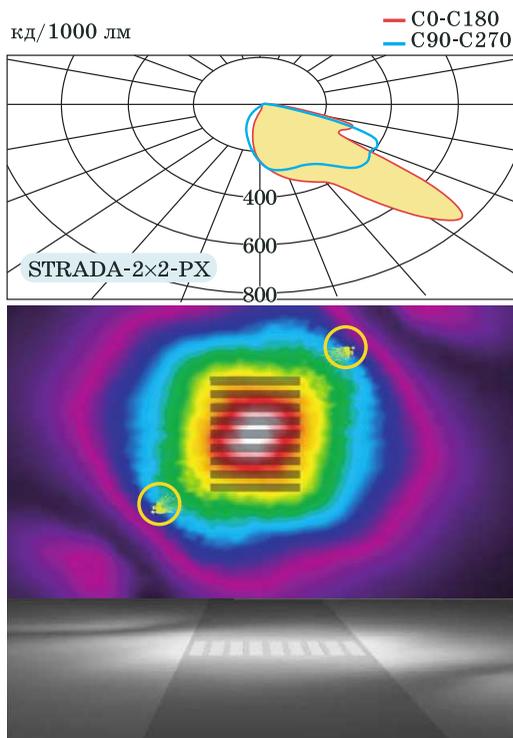


Рис. 13. Схема освещения пешеходного перехода и кривые силы света линзы Strada-2x2-PX

Модульные линзы Strada-2x2-FN можно использовать при освещении пешеходного перехода с одной опоры на улицах с малой интенсивностью движения.

Если требуется сравнительно узконаправленный световой пучок, например, при освещении автострад в туннелях, можно использовать модульные линзы типа Strada-2x2-TF (рис. 14).

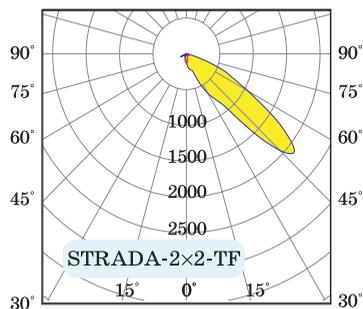


Рис. 14. КСС модульных линз Strada-2x2-TF

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время благодаря ряду несомненных преимуществ светодиодные светильники можно встретить в офисных, торговых и складских помещениях, промышленных и жилых зданиях, архитектурной и наружной подсветке, при освещении автострад, улиц и пр. Немаловажный параметр, который следует принимать во внимание при выборе типа светодиодного светильника, – кривые силы света.

Снижение энергопотребления за счет применения светодиодных светильников – это всего лишь один из возможных методов. В темное время суток на улицах с малой интенсивностью движения поддерживать яркое освещение при отсутствии движения крайне неэкономично. Существенно сэкономить энергопотребление можно, если включать освещение избирательно, т.е. при приближении автотранспорта или пешехода (рис. 15). Пустая улица может быть освещена на минимальном уровне (всего 10...15%).

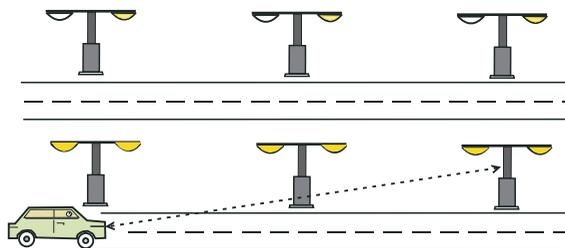


Рис. 15. Вариант умного освещения улицы

Компания Geolux (Хорватия) разработала радарные датчики, которые могут быть размещены на существующих уличных осветитель-

ных опорах [4]. Датчики фиксируют передвижение пешеходов на расстоянии до 150, а автотранспорта – до 300 м. Интенсивность освещения увеличивается или уменьшается, соответственно по мере приближения или удаления объекта.

Компания продемонстрировала возможности данной концепции, реализовав умное освещение на улице длиной 300 м с уличными светильниками, расположенными на расстоянии 30 м друг от друга. Специалисты компании утверждают, что использование этой технологии может сократить энергопотребление уличного освещения на 80%.

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

**ЛИТЕРАТУРА**

1. STRADA lens guide (ledil.com).
2. LEDiL's standard LED optics offer both: Range & Precision (ledil.com).
3. STRADA-2X2-PX. Safety by lighting where it's needed (ledil.com).
4. [www.geolux-radars.com](http://www.geolux-radars.com).



# ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

■ производство

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

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

- принцип "все из одних рук"
  - стабильное положение фирмы на рынке печатных плат
  - высокая квалификация специалистов
  - выбор проверенных фирм-изготовителей в зависимости от специфики заказа
  - техническое сопровождение проекта при SMD-монтаже
  - минимизация цен за счет объединения заказов
  - сертификация систем экологического менеджмента и менеджмента качества фирмы согласно требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, ISO 13485:2003 и ISO/TS 16949:2009
- предоставление документации по выходному контролю печатных плат



**VD MAIS**  
PCB Professionally

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

## МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



**В** статье рассматриваются особенности электронных компонентов для жестких условий эксплуатации.

*В. Охрименко*

### THE IC FOR HARSH ENVIRONMENTS

**Abstract –** The article discusses the features of the components for harsh environments.

*V. Okhrimenko*

К компонентам для жестких условий эксплуатации несомненно относятся компоненты двойного назначения, под которыми, как правило, подразумеваются компоненты, которые могут использоваться как в коммерческих целях, так и для создания разного рода оружия массового поражения или средств его доставки. Для таких компонентов гарантируется радиационная стойкость при воздействии разного рода облучения, а также возможность эксплуатации в широком диапазоне температур (-55...125 °C). Кроме того, к ним предъявляются повышенные требования по стойкости к дестабилизирующим воздействиям, надежности, отказоустойчивости, стабильности характеристик и др. [1-7].

Создание электронных устройств для надежной работы в жестких условиях эксплуатации нетривиальная проблема, требующая комплексного подхода. В статье рассматриваются ИМС (интегральные микросхемы), предназначенные для применения в области высоких температур (выше 150 °C).

### ВВЕДЕНИЕ

На протяжении многих лет в ряде промышленных приложений (автомобильная электроника, газо- и нефтедобывающая индустрия, авионика и др.), к которым предъявляются высокие требования надежности, безопасности и стойкости к воздействию окружающей среды, производители оборудования применяли компоненты, специфицированные для военной техники и космической индустрии, т.е. такие компоненты, которые предназначались для эксплуатации в широком диапазоне температур (-55...125 °C). Как альтернатива – разработчики высокотемпературной электроники зачастую были вынуждены применять стан-

дартные коммерческие ИМС и пассивные компоненты в режимах далеко выходящих за пределы, указанные в документации диапазона рабочих температур вследствие отсутствия высокотемпературных компонентов. Действительно, специально отобранные ИМС в ряде случаев обеспечивали требуемую надежность, однако потребители всегда рисковали получить сбой или отказ в системе, вследствие ее перегрева. Кроме того, ухудшались их характеристики и резко снижался срок службы отобранных ИМС, а процедура отбора микросхем для работы в условиях высокой температуры достаточно сложна. Это дорогостоящий и длительный процесс, требующий специализированного оборудования для проведения испытаний.

Процессы старения резко ускоряются при повышении рабочей температуры, а срок службы ИМС снижается. Такие процессы, приводящие к старению, как электромиграция и коррозия, имеют место только при повышенной температуре. Электромиграция – сложный физический процесс, в результате которого происходит перенос вещества в проводнике за счет дрейфа ионов кристаллической решетки. Скорость процесса зависит от температуры и плотности тока. В худшем случае электромиграция может служить причиной частичного или полного разрушения проводника под воздействием температуры или формирования нового непреднамеренного соединения (короткого замыкания). Однако первые признаки процесса электромиграции выражаются в случайных скачках напряжения, что может привести к появлению редких беспорядочных сложно диагностируемых функциональных сбоев. Разные виды коррозии, как правило, происходят в присутствии влаги, загрязняющих веществ и газов. Все виды кор-

розии также являются причиной деградации микросхем с течением времени. На этапе разработки топологии современных ИМС, в первую очередь, высокотемпературных, принимаются соответствующие меры, чтобы исключить отказы из-за влияния эффекта электромиграции при воздействии максимально допустимой температуры. Если температура кристалла превышает допустимую, срок службы ИМС не гарантируется, а продолжительность безотказной работы значительно снижается. При применении стандартной технологии изготовления ИМС токи утечки в подложку при изменении температуры на 10 °С удваиваются, что недопустимо для высокотемпературных ИМС. Т.н. технология "кремний на диэлектрике" (Silicon on Insulator – SOI) позволяет значительно уменьшить токи утечки и обеспечить надежную работу ИМС вплоть до температуры 200...300 °С. Кроме того, в качестве диэлектрика используется карбид кремния.

Конечно, в исключительных случаях можно использовать компоненты в виде полупроводниковых кристаллов (bare die или die), особенно в тех случаях, если единственная альтернатива – ИМС в пластмассовых корпусах, т.к. они обеспечивают надежную герметичность и прочность при температуре не более 150...170 °С. Поэтому высокотемпературные ИМС изготавливаются в керамических корпусах типа Ceramic Flatpack, Ceramic DIP или др. (рис. 1).

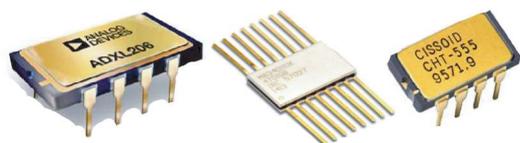


Рис. 1. Типы корпусов

Недостатки керамических корпусов – это большие размеры и высокая стоимость. Кристалл микросхемы можно разместить, например, в отдельном герметичном теплостойком корпусе. Но это также требует соответствующей технологии монтажа, а, кроме того, их выбор сравнительно небольшой и далеко не все предлагаемые кристаллы тестируются. Вместе с тем, в последнее время многие производители (Analog Devices, Texas Instruments и др.) предлагают т.н. бездефектные кристаллы KGD

(Known Good Die) или KTD (Known Tested Die), которые на этапе изготовления тестируются на соответствие заявляемым параметрам. Несмотря на ряд проблем, связанных со значительным усложнением производства в случае применения кристаллов ИМС, в конечном результате это дает массу преимуществ. Снижается масса и габаритные размеры, и в целом увеличивается плотность монтажа устройства. Устраняется влияние термических параметров корпуса. Обеспечивается защита от ударов и вибраций. Уменьшается емкость и индуктивность соединений за счет отсутствия дополнительных межсоединений, что также повышает надежность. Уменьшается задержка распространения сигнала, что важно для высокоскоростных приложений. Возможна герметизация с использованием инертных газов. В конечном счете применение кристаллов при создании высокотемпературного оборудования позволяют обеспечить высокую надежность при работе в области высоких температур.

Для некоторых областей промышленности максимальная температура 125 °С далеко не предел. Например, оборудование, предназначенное для бурения разного рода скважин, эксплуатируется при температуре более 200 °С.

Рабочая температура – это функция глубины скважины. Средний типовой геотермический градиент составляет 25 °С/км.

Традиционно для снижения температуры электронных устройств и систем широко применяются средства пассивного или активного отвода тепла. Однако обеспечивать охлаждение электронного оборудования при глубоком бурении скважин крайне нецелесообразно и во многих случаях практически невозможно. Поэтому в таких системах предпочтительнее использовать электронные компоненты, которые обеспечивают надежную работу, в том числе в области высоких температур.

Ведущие производители электронных компонентов (Analog Devices, Aphesa, Atmel, CISSOID, Honeywell, Microchip, Tekmos, Texas Instruments, Vorago Technologies и др.) выпускают широкую номенклатуру ИМС, созданных на базе усовершенствованных технологий, а также разнообразное оборудование, ориентированное на эксплуатацию при температуре окружающей среды выше 150 °С.

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИМС

Компания Analog Devices предлагает как широкую номенклатуру электронных компонентов, ориентированных на применение в оборонной и авиационно-космической отрасли, так и компоненты, ориентированные на использование в высокотемпературных приложениях с максимальной температурой окружающей среды 210 °С.

Производительность, надежность и качество выпускаемых компонентов сделало компанию ADI одним из ведущих поставщиков Министерства обороны США (Department of Defense – DoD) и аналогичных ведомств за пределами США.

В табл. 1 приведены параметры некоторых высокотемпературных микросхем компании Analog Devices, в табл. 2 – микросхемы, предназначенные для работы при максимальной температуре 125/150 °С [1]. Срок службы ИМС AD8229, ADXL206, AD8634, ADR225, ADXRS645, AD7981, ADG798 при максимальной температуре составляет не менее 1000 ч. На рис. 2 для микросхемы AD8229 приведен график зависимости срока службы от температуры.

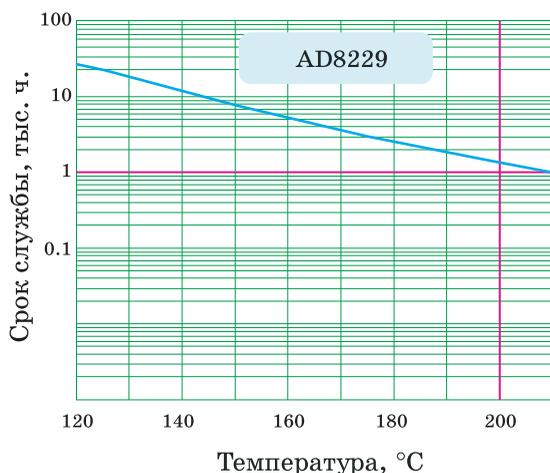


Рис. 2. График зависимости срока службы ИМС AD8229 от температуры

На рис. 3 приведено расположение выводов усилителя AD8229 (8-SOIC), которое отличается от стандартного расположения. Увеличение расстояния между входами и цепями питания позволяет увеличить паразитное сопротивление между выводами микросхемы и снизить токи утечки по печатной плате. Микросхемы

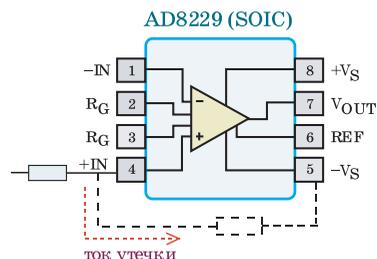


Рис. 3. Расположение выводов усилителя AD8229 (8-SOIC)

AD8229, ADT7312, ADT7412 выпускаются как в корпусах типа SOIC или SBDIP, так и поставляются в виде KGD-кристаллов. Как видно из данных (см. табл. 1) температурный диапазон этих и других микросхем зависит от типа корпуса. Кроме того, компания Analog Devices предлагает и другие типы KGD-кристаллов (табл. 3). На рис. 4 приведено расположение выводов микросхемы AD8229-KGD. На рис. 5 – структура системы сбора данных с использованием высокотемпературных микросхем компании Analog Devices.

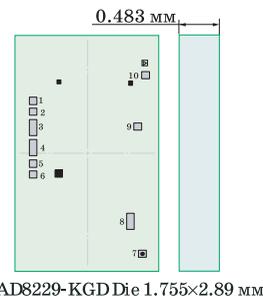


Рис. 4. Расположение выводов микросхемы AD8229-KGD

Компания CISSOID (Бельгия) предлагает широкую номенклатуру высокотемпературных компонентов. Это АЦП, ОУ, ШИМ-регуляторы напряжения, транзисторы, линейные стабилизаторы напряжения, генераторы импульсов, драйверы транзисторных ключей, DC-DC преобразователи и другие, предназначенные для эксплуатации до температуры 175 или 225 °С в зависимости от типа корпуса. Компоненты выпускаются в металлокерамических, металlostеклянных и пластиковых корпусах. Внешний вид некоторых микросхем приведен на рис. 6.

СНТ-ADC10 – 10-разрядный АЦП последовательного приближения. Ток потребления менее 250 мкА, скорость преобразования до 25 кГц, напряжение питания  $5 \pm 0.5$  В. Для передачи данных реализован параллельный и

Таблица 1. Высокотемпературные микросхемы компании Analog Devices

Тип	Описание	Диапазон рабочих температур, °C (тип корпуса)	Макс. темп. кристалла, °C (тип корпуса)
ADG5298	Высоковольтный 8-канальный мультиплексор. $R_{ON} = 290 \text{ Ом}$	-55...210 (Flatpack)	212
ADG798	Низковольтный 8-канальный мультиплексор. $R_{ON} = 10 \text{ Ом}$	-55...210 (Flatpack)	211
AD8634	Малощумящий (4.2 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ) двоянный ОУ. Напряжение питания $\pm 15 \text{ В}$ , полоса частот 9.7 МГц, напряжение смещения нуля 250 мкВ (макс.)	-40...175 (SOIC), -40...210 (Flatpack)	200 (SOIC), 245 (Flatpack)
AD8229	Инструментальный малощумящий (1 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ) усилитель, Напряжение питания $\pm 15 \text{ В}$ , полоса частот 15 МГц ( $G = 1$ ), дрейф напряжения смещения 1 мкВ/°C, CMRR – 126 дБ ( $G = 100$ )	-40...175 (SOIC), -40...210 (SBDIP, KGD)	200 (SOIC), 245 (SBDIP, KGD)
AD7981	16-разрядный АЦП (pulSAR). 600 кГц, SNR: 91 дБ, THD: -102 дБ, интерфейс SPI, напряжение питания 2.5 В	-55...210 (Flatpack) -55...175 (MSOP)	210 (Flatpack) 175 (MSOP)
ADR225	Микро мощный источник опорного напряжения 2.5 В. Выходной ток 10 мА, напряжение питания 3.3...16 В, температурный коэффициент: 40 ppm/°C (8-flatpack), 10 ppm/°C (8-SOIC)	-40...175 (SOIC), -40...210 (Flatpack)	200 (SOIC), 245 (Flatpack)
ADXL206	Высокоточный двухосевой iMEMS акселерометр. Диапазон измерений $\pm 5 \text{ g}$	-40...175 (SBDIP)	—
ADXRS645	Гироскоп. Диапазон измерений $\pm 2000 \text{ }^\circ/\text{sec}$	-55...175 (BL_TIP)	—
ADT7312	16-разрядный цифровой температурный сенсор. Погрешность $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , разрешение $\pm 0.0078 \text{ }^\circ\text{C}$ , интерфейс SPI	-55...175 (Die)	175
ADT7410	16-разрядный цифровой температурный сенсор. Погрешность $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , разрешение $\pm 0.0078 \text{ }^\circ\text{C}$ , интерфейс I <sup>2</sup> C	-55...150 (SOIC)	150

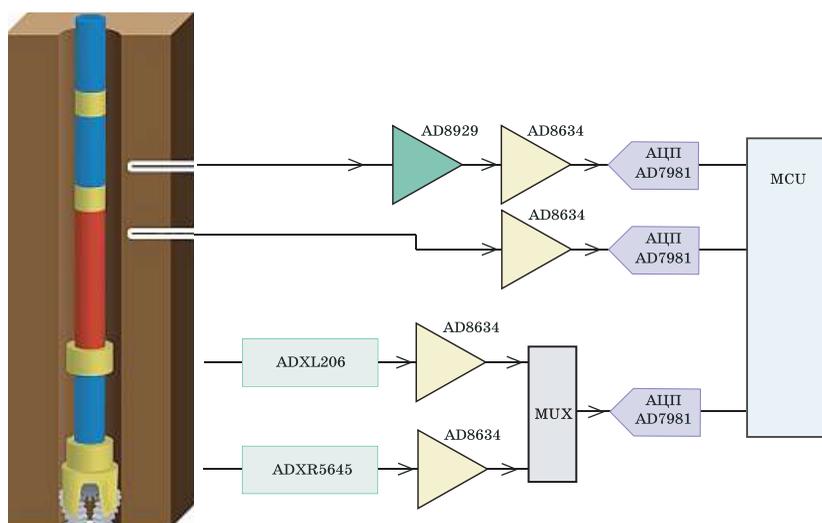
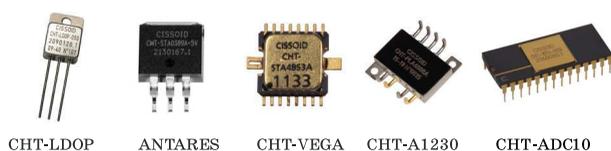


Рис. 5. Структура системы сбора данных с использованием высокотемпературных ИМС

Таблица 2. ИМС компании Analog Devices

Тип	Описание	Макс. рабочая темп. °С
ADT7310/7320 ADT7410/7420	16-разрядный цифровой температурный сенсор, погрешность 0.25... 0.5 °С	150
AD590	2-выводной температурный датчик, погрешность $\pm 0.5$ °С, 2-Flat-pack, 4-LFCSP, 3-TO-52, 8-SOIC	
AD8556	Инструментальный усилитель с программируемым коэффициентом усиления и фильтром электромагнитных помех. Напряжение смещения 10 мкВ (макс.), дрейф 65 нВ/°С	140
AD8643T	Маломощный счетверенный JFET ОУ, напряжение питания 26 В, макс. ток потребления 250 мкА, макс. вх. ток смещения 1 пА, полоса частот 2.5 МГц, скорость нарастания 2 В/мкс	125
AD8574T	Счетверенный ОУ, напряжение питания 5 В, ток потребления 750 мкА, нестабильность напряжения смещения 5 нВ/°С, напряжение низкочастотных шумов 1.3 мкВ п-п	
AD7655S	16-разрядный 4-канальный АЦП, 1 MSPS, LFCSP	
AD7276S	12-разрядный АЦП, 1 МГц, SOT-23	
AD7794C	24-разрядный АЦП, 6 дифференциальных каналов, 24-TSSOP	
AD5666S	16-разрядный 4-канальный ЦАП	
AD5543S	16-разрядный ЦАП, MSOP	
ADR435T	Микромощный источник опорного напряжения 5 В, напряжение шумов 8 мкВ п-п, макс. дрейф: 3 ppm/°С; 40 ppm/1000 ч	
ADIS16201	Высокоточный двухосевой акселерометр	
ADX1001	Высокоточный акселерометр $\pm 70 g$ , $\pm 250 g$ , $\pm 500 g$ , аналоговый выход, LCC	



CHT-LDOP ANTARES CHT-VEGA CHT-A1230 CHT-ADC10

Рис. 6. Микросхемы компании CISSOID

последовательный интерфейс. Диапазон рабочих температур  $-55...225$  °С, работоспособность АЦП сохраняется до температуры 300 °С. Корпус типа Ceramic DIL28 или Ceramic SOIC28.

CHT-OPAL – двоянный ОУ. Напряжение питания  $5.0 \pm 0.5$  В. Напряжение смещения нуля 50 мкВ, ток утечки по входам 10 пА (тип. значение), напряжение шумов 5 мкВ п-п, скорость нарастания 2.7 В/мкс, CMRR – 85 дБ, корпус TDFP16 (5.0×5.5 мм), диапазон рабочих температур  $-55...225$  °С.

CHT-CG50LP – генератор частотой до 50 МГц с использованием внешнего кварцевого резонатора. Напряжение питания 3...5 В. Генератор может работать с кварцевым резонатором частотой 32 кГц и содержит встроенный делитель частоты с коэффициентом деления от 1 до 512. ИМС CHT-CG50LP выпускается в корпусе TDFP16.

CHT-555 – аналог хорошо известного таймера серии 555. Напряжение питания  $5.0 \pm 0.5$  В, корпус CDIL8. Тестовые испытания подтверждают работу в течение 30 тыс. ч при температуре 300 °С.

Компания CISSOID выпускает несколько типов линейных стабилизаторов. Параметры некоторых из них приведены в табл. 4.

**Таблица 3. KGD-кристаллы компании Analog Devices**

Тип	Обозначение	Диапазон рабочих температур, °C	Описание
ADG841	ADG841-KGD-CHIPS	-40...125	КМОП SPST-ключ, $R_{ON} = 0.28$ Ом (тип.), напряжение питания 1.65...3.6 В
AD7924	AD7924-KGD-DF	-40...85	4-канальный 12-разрядный АЦП, 1 MSPS, напряжение питания 2.7...5.25 В
AD7466	AD7466-KGD-DF	-40...85	Микромощный 12-разрядный ЦАП, 200 KSPS, SPI, напряжение питания 1.6...3.6 В
AD8229	AD8229-KGD-CHIPS	-40...210	Инструментальный малощумящий (1 нВ/ $\sqrt{Гц}$ ) усилитель
AD8028	AD8028-KGD-CHIPS	-40...125	Высокоскоростной ОУ, напряжение шумов 4.3 нВ/ $\sqrt{Гц}$ , полоса частот 190 МГц, скорость нарастания 100 В/мкс
AD8065	AD8065-KGD-CHIPS	-40...85	FastFET ОУ, полоса частот 145 МГц, скорость нарастания 180 В/мкс

**Таблица 4. Параметры линейных стабилизаторов компании CISSOID**

	$U_{ВХ}$ , В	$U_{ВЫХ}$ , В	$I_{ВЫХ}$ , А	Диапазон рабочих температур, °C	
СНТ-LDOP	2...30	2.5/3.3/5/5.5/9/10/12/13/15	1	-55...225	ТО-254
СНТ-RIGEL	4.5...30	1.8...25	0.1		TDFP16
АНТАРЕС	5.5...30	5	0.2	-55...175	ТО-263
СНТ-VEGA	4.5...5.5	1.2...3.3	0.5	-55...225	TDFP16
СНТ-LDNS	-2...-30	-2.5/-3.3/-5/-5.5/-9/-10/-12/-13/-15	1		ТО-254

СНТ-A1230 – два MOSFET-транзистора 1200 В/30 А. Напряжение затвор-исток -5...20 В. Сопротивление канала сток-исток 45 мОм при  $t = 25$  °C и 100 мОм при  $t = 225$  °C. Максимальный ток стока 25 А (175 °C).

Компания Microsemi (США) выпускает ряд высокотемпературных компонентов, например, карбид-кремниевые MOSFET-транзисторы: АРТ40SM120В и АРТ50SM120В. Диапазон рабочих температур -55...175 °C. Транзи-

сторы изготавливаются в герметичных корпусах типа ТО-247 и ДЗРАСК. Тепловое сопротивление кристалл-корпус 0.55 °C/Вт. Напряжение сток-исток 1200 В, максимальный рабочий ток 40/50 А. Сопротивление открытого канала транзисторов АРТ40SM120В и АРТ50SM120В, соответственно 80 и 50 мОм (25 °C). Область применения – импульсные источники питания, корректоры коэффициента мощности, схемы управления электроприво-

**VD MAIS**

**Электронные компоненты и системы**

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

**Дистрибуция и прямые поставки:**  
 Analog Devices, Bluetech, Cree, DDC, Dynex, Fordata, Foryard, Gaia, Geyer, IXYS, Kendell, Kingbright, Ledil, Littelfuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntan, Tellit, Vacuumschmelze, Xilinx, Yitran

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

Таблица 5. Основные параметры микросхем памяти компании Vorago Technologies

Параметр	HS512K16-CQ128A103E	SMV512K32HFG	HS512K16-CQ128A1F0E
Объем памяти, Мбит	8	16	8
Организация памяти	512К×16	512К×32	512К×16
Время выборки, нс	17	20	17
Поглощенная доза радиации (TID), крад	—	300	300
Напряжение питания, В	3.3 ± 0.3; 1.5 ± 0.15	3.3 ± 0.3; 1.8 ± 0.15	3.3 ± 0.3; 1.5 ± 0.15
Диапазон рабочих температур, °С	-55...200	-55... 125	-55... 125
Тип корпуса	Ceramic 128-QFP	Ceramic 76-HFG	Ceramic 128-QFP

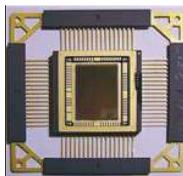
Таблица 6. Основные параметры микроконтроллеров компании Vorago Technologies

Параметр	VA10800	PA32KAS
Архитектура ядра	32-разр. ARM Cortex-M0	32-разр. ARM Cortex-M0
Тактовая частота, МГц	50	50
Объем памяти программ, Кбайт	32	16
Объем памяти данных, Кбайт	128	16
Интерфейсы	UART (2), SPI (3), I2C (2), GPIO (54), JTAG	UART (2), SPI (3), GPIO (32), JTAG
Срок службы при температуре 200 °С, ч	1000	
Напряжение питания, В	3.3 ± 0.33; 1.5 ± 0.15	
Диапазон рабочих температур, °С	-55...200	
Тип корпуса (размеры, мм)	Ceramic 128-LQFP (14×14)	Ceramic188-LQFP

дами, инверторы и пр.

Американская фирма Vorago Technologies (ранее Silicon Space Technology – SST) – фаб-лесс-компания, специализирующаяся на раз-работке интегральных микросхем, предназна-ченных для работы в экстремальных условиях эксплуатации при воздействии высоких тем-ператур и уровней радиации. Внедрение техно-логии "ноу-хау" позволяет изготавливать на-дежные микросхемы памяти и микроконтрол-леры. В настоящее время компания освоила производство высокотемпературных и радиа-ционноустойчивых микроконтроллеров и микро-схем памяти, изготовленных по фирменной технологии HARDSIL, что позволяет создавать

логические ячейки устойчивые к воздействию радиации и высокой температуры. Микросхе-мы асинхронной (SMV512K32) и синхронной двупортовой памяти типа SRAM (HS512K16), соответственно объемом 16 и 8 Мбит, пред-назначены для работы в диапазоне температур -55... 125 или -55...220 °С. Микросхемы памяти содержат встроенные блоки контроля целост-ности данных с использованием дополнитель-ных битов четности. Основные параметры микросхем памяти компании Vorago Technolo-gies даны в табл. 5, внешний вид микросхемы SMV512K32HFG приведен на рис. 7.



SMV512K32HFG

*Рис. 7. Микросхема памяти SMV512K32HFG*

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ И DSP

Ряд ведущих компаний выпускает микроконтроллеры и цифровые сигнальные процессоры (DSP), ориентированные на применение в приложениях с высокой температурой окружающей среды (150 °С и выше).

Микроконтроллер компании Texas Instruments (TI) SM470R1B1M-HT (16-/32-Bit RISC Flash Microcontroller), созданный на базе архитектуры ARM7TDMI, ориентирован на применение в приложениях с диапазоном рабочих температур от -55 до 220 °С или от -55 до 150 °С в зависимости от типа корпуса.

Цифровые сигнальные контроллеры (DSC) SM320F28335GBS и SM320F2812HFGS150, соответственно в керамических корпусах типа CPGA и CFP, позиционируются для работы в диапазоне температур -55...220 °С.

Двухядерный цифровой сигнальный процессор OMAPL137BTPRH в корпусе типа 176-PTP предназначен для работы при температуре от -55 до 175 °С. Тактовая частота ядра 300 МГц. Срок службы при максимальной температуре – 1000 ч.

Для диапазона температур от -55 до 150 °С компания TI выпускает популярный 16-разрядный микроконтроллер MSP430F2619SPM в корпусе QFP.

Компания Vorago Technologies предлагает два типа микроконтроллеров, ориентированные на применение в диапазоне температур от -55 до 200 °С, – это VA10800 и PA32KAS, созданные на базе архитектуры ARM Cortex-M0. Основные параметры микроконтроллеров компании Vorago Technologies даны в табл. 6. Кроме того, компания выпускает также радиационностойкий (TID > 300 крад) микроконтроллер VA10820.

Компания Microchip выпускает микроконтроллеры для работы в области высоких темпе-

ратур (150 °С). Это серии PIC12, PIC16, PIC18, PIC32 и dsPIC33, созданные на основе 8- и 16-разрядных архитектур.

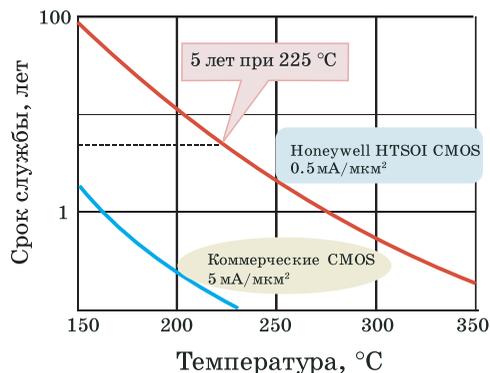
ATmega16M1/32M1/32C1/64M1/64C1 – микроконтроллеры компании Atmel, специфицированные для транспортных приложений, и предназначены для работы при температуре окружающей среды до 150 °С.

Однако 150 и даже 200 или 220 °С далеко не предел. Выпускаются также микроконтроллеры, работающие при температуре выше 220 °С.

Это 8-разрядный микроконтроллер HT83C51 компании Honeywell (США), совместимый по расположению выводов и набору инструкций с хорошо известным микроконтроллером Intel 8XC51FC. Его работа с тактовой частотой 16 МГц гарантируется при температуре 225 °С. При снижении производительности возможна работа в течение года при температуре 300 °С [4]. Напряжение питания 5 В. Максимальная рассеиваемая мощность 750 мВт. Все микроконтроллеры этой серии подвергаются испытаниям на принудительный отказ при температуре 250 °С. Микросхемы выпускаются в герметичном керамическом корпусе типа 40-DIP. Высокотемпературные компоненты компании Honeywell изготавливаются с использованием технологии кремний на диэлектрике (HTSOI CMOS), что позволяет существенно снизить появление сбоев, вызванных эффектом электромиграции и увеличить срок службы. На рис. 8 приведен график зависимости срока службы от температуры для разных технологий [5].

Микроконтроллер ТК80Н51S компании Текмос (США, Texas) предназначен для работы при температуре окружающей среды до 250 °С. Архитектура этого 8-разрядного микроконтроллера базируется на классической 8051-архитектуре.

Микроконтроллер ТК80Н51S содержит память типа RAM (512 байт) и ROM (8 Кбайт). Тактовая частота 0...10 МГц. Имеется также встроенный 8-канальный 8-разрядный АЦП. Напряжение питания 5 В. Микроконтроллер изготавливается с использованием технологии кремний на диэлектрике по технологическим нормам 1 мкм. Микросхема ТК80Н51S выпускается в корпусе 48-CDIP, 40-CDIP или 68-PGA. Заявленный производителем срок службы составляет 2000 ч при температуре 270 °С.



**Рис. 8. График зависимости срока службы от температуры для ИМС, изготовленных с использованием разных технологий**

Компания Текмос для работы при температуре окружающей среды до 175 °C предлагает микроконтроллер ТК68HC811Е2, совместимый с хорошо известной серией HC8 (Freescale). Микроконтроллер содержит память типа RAM (512 байт) и EEPROM (2048 байт). Тактовая частота от 0 до 2 МГц.

### ДРУГИЕ РЕШЕНИЯ

На первый взгляд решение проблемы создания высокотемпературных устройств и приборов заключается только в поиске активных и пассивных компонентов, предназначенных для работы при повышенной температуре окружающей среды. Однако это не всегда так, поскольку в силу функциональных особенностей проектируемого устройства решение задачи может крайне усложниться, если ориентироваться только на доступные высокотемпературные компоненты (ОУ, микросхемы памяти, микроконтроллеры, DSP и пр.). В [7] описан пример проектирования цветной видеокамеры для нефтяных скважин с рабочей температурой 125 °C, предназначенной для предварительной обработки изображения. Специалистами компании Apheresa, имеющими опыт в разработке аналогичных устройств, для этого проекта в качестве вычислительного ядра была выбрана микросхема программируемой логики (FPGA) Spartan-6 XA6SLX45 (Xilinx). Эта микросхема ориентирована на применение в автотранспортных средствах, имеет большой объем логических ячеек и встроенной памяти, отличается низким уровнем энергопотребления и сохраняет свои параметры при температуре кристалла ( $T_j$ ) -40...125 °C.

Как правило, в документации приводится максимально допустимое значение температуры кристалла ИМС. Чтобы определить температуру кристалла в рабочем режиме при пассивном охлаждении, следует воспользоваться известным выражением:

$$T_j = T_a + (R_{th, package} + R_{th, ambient}) \times P,$$

где  $T_j$  – температура кристалла,  $T_a$  – температура окружающей среды,  $R_{th, package}$  – тепловое сопротивление кристалл-корпус,  $R_{th, ambient}$  – тепловое сопротивление корпус-окружающая среда,  $P$  – потребляемая мощность. Чтобы снизить температуру кристалла, следует снижать тепловое сопротивление и потребляемую мощность, которая определяется типом ИМС, тактовой частотой, алгоритмом обработки и пр.

Традиционные методы активного охлаждения – принудительный обдув воздухом, жидкостное охлаждение или использование элементов Пельтье.

В рассматриваемом случае эти методы едва ли применимы, т.к. объем воздуха в герметичном корпусе ограничен, и температура воздуха быстро уравнивается с температурой корпуса микросхемы. Водяное охлаждение из-за большого расстояния между источником и устройством – также не вариант. Недостаток элемента Пельтье – сравнительно большая потребляемая мощность (питание прибора осуществляется по кабелю, а ток потребления ограничен). Вместе с тем проектируемое устройство представляет собой видеокамеру, качество изображения которой катастрофически ухудшается с ростом температуры, поэтому для охлаждения непосредственно датчика изображения был выбран элемент Пельтье. А единственное решение проблемы для FPGA – это снижение пиковой температуры кристалла.

Для решения проблем при реализации данного проекта авторы предлагают следующий подход.

Чем больше логических ячеек, тем больше статический ток потребления, вместе с тем, больший корпус обеспечивает более равномерное распределение тепла, что позволяет избежать локального перегрева.

Микросхемы XA6SLX45 предназначены для использования в автомобильных приложе-

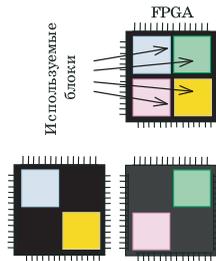
ниях и характеризуются длительным сроком службы при повышенной температуре (125 °С). Однако для промышленных приложений приемлемо иметь меньший срок службы.

Для снижения динамической потребляемой мощности следует исключить тактирование всех неиспользуемых блоков памяти и логических ячеек, однако их статический ток потребления при этом не уменьшится.

Следует свести до минимума число используемых линий ввода/вывода (I/O), что позволит снизить потребление встроенных банков I/O. Кроме того, чтобы снизить потери на нагревание (потери Джоуля), следует сократить пути протекания тока внутри кристалла. Подключение неиспользуемых выводов к контактному площадкам "земли" на печатной плате также способствует отводу тепла от кристалла. Вынужденная мера для уменьшения числа используемых блоков FPGA и соответственно снижения уровня энергопотребления каждым кристаллом – это применение двух микросхем с соответствующим распределением используемых блоков (рис. 9), что также дает возможность отвода тепла в разных участках печатной платы и снижает вероятность ее расслаивания в процессе эксплуатации. Кроме того, следует предусмотреть все необходимые технологические меры при монтаже компонентов и сборке устройства.

Для снижения энергопотребления необходимо оптимизировать алгоритм обработки и программный код для снижения тактовой частоты и соответственно уменьшения потребляемой динамической мощности. Результатом оптимизации должно быть уменьшение температуры корпуса, а сам процесс оптимизации весьма трудоемкий и продолжительный и требует измерения температуры корпуса при исполнении разных вариантов кода, для того чтобы можно было выбрать компромиссный вариант.

Для повышения надежности следует предусмотреть возможность использования кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки, как при обмене данными с памятью, так и в процессе их передачи между блоками. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность восстановления реализованных конечных автоматов в случае обнаружения сбоев в их работе.



**Рис. 9.**  
**Вариант**  
**распределения**  
**используемых**  
**блоков в**  
**кристалле**  
**FPGA**

Неотъемлемая часть проектирования и производства высокотемпературных устройств – испытания на принудительный отказ, в процессе которых контролируется техническое состояние изделия на протяжении длительной работы при максимальной нагрузке в жестких условиях эксплуатации (повышенной температуре). Только в результате испытаний можно определить прогнозируемый и фактический срок службы устройства, выявить и устранить возможные сбои.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно, при создании высокотемпературных изделий не существует простых решений. А сам процесс трудоемкий и дорогостоящий и, кроме того, едва ли осуществим без участия опытных разработчиков и наличия специализированного технологического оборудования. Только наивные пациенты, обращаясь за помощью к доктору, надеются получить одну большую таблетку, которая навсегда излечит их от всех болезней.

Дополнительную информацию о высокотемпературных ИМС см. [1-7]. Полную информацию о продукции компании Analog Devices можно получить в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании Analog Devices.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ADI High Temperature Products and Application.
2. ADI Known Good Die (KGD).
3. Processors for high temperature applications ([www.datarespon.com/processors-high-temperature-applications/](http://www.datarespon.com/processors-high-temperature-applications/)).
4. HT83C51. HIGH temperature 83C51 microcontroller.
5. Extreme Design: Developing integrated circuits for -55 degC to +250 degC.
6. XA Spartan-6 Automotive FPGA Family Overview.
7. How to extend the operating temperature of FPGAs. – EDN-Europe. October 2016 ([www.edn-europe.com](http://www.edn-europe.com)).

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@vdmias.ua; www.vdmias.ua

## КОНТРОЛЛЕР СИНХРОННОГО DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ТЕХНОЛОГИЕЙ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА

В статье приведена краткая информация о новом универсальном контроллере DC/DC-преобразователей с широким диапазоном входных и выходных напряжений LT8390, выпускаемом компанией Linear Technology. Используемая в этой ИМС технология Spread Spectrum (расширения спектра) позволяет значительно снизить уровень кондуктивных помех, создаваемых при работе DC/DC-преобразователей, по сравнению с обычными преобразователями. На примере моделей, созданных в программе NI Multisim, показаны преимущества преобразователей с технологией Spread Spectrum по уровню кондуктивных помех в сравнении с преобразователями, не использующими такую технологию. Результаты моделирования хорошо согласуются с результатами, приведенными компанией Linear Technology.

В. Макаренко

### SYNCHRONOUS BUCK-BOOST CONTROLLER WITH SPREAD SPECTRUM

**Abstract** – The article gives a brief information about the new universal controller DC/DC-converters with wide range input and output voltages LT8390, manufactured by Linear Technology. The use of technology Spread Spectrum (spread spectrum) can significantly reduce the level of conducted interference, generated when operating DC/DC-converters in comparison with conventional converters. For example, models created in NI Multisim, it was showed the advantages of converters with the Spread Spectrum technology on the level of conducted interference in comparison with the converters do not use this technology.

V. Makarenko

В конце ноября 2016 г. компания Linear Technology анонсировала выпуск микросхемы LT8390 – контроллера DC/DC-преобразователя в котором использована технология расширения спектра. Контроллер позволяет формировать на выходе преобразователя, построенного на его основе, напряжение, которое меньше, равно или больше входного. Диапазон изменения входного напряжения от 4 до 60 В, а выходное напряжение можно сформировать в диапазоне 0...60 В [1].

В сочетании с четырьмя МОП-транзисторами с N-каналом контроллер позволяет построить преобразователь с выходной мощностью от 9 до 400 Вт при КПД до 98%.

DC/DC-преобразователи, построенные на его основе, можно эффективно использовать в автомобильной промышленности. При запуске (выключении) холодного двигателя, при резком сбросе нагрузки напряжение на аккумуляторе может меняться в широком диапазоне, что может привести к выходу из строя различных электронных устройств автомобиля. Применение DC/DC-преобразователя, обеспечивающего стабильное напряжение для всех

устройств автомобильной электроники, уменьшает вероятность выходы из строя отдельных узлов из-за скачков напряжения на аккумуляторе.

Технология расширения спектра (Spread Spectrum \*) позволяет уменьшить кондуктивные помехи, создаваемые DC/DC-преобразователями при их работе, что в свою очередь расширяет перечень областей техники, в которых они могут использоваться.

\* Технология расширения спектра (Spread Spectrum) широко используется в системах связи и компьютерной технике и значительно реже в источниках питания. Для чего это нужно, рассмотрим на примере использования такой технологии в системах связи. Для формирования сигналов с расширенным спектром, отличающихся от других модулированных информационных сигналов, в которых энергия концентрируется вокруг несущего колебания, используется совершенно противоположный подход – распределение энергии сигнала в очень широкой полосе частот [2]. Известно, что чем сильнее концентрируется энергия сигнала для передачи отдельной единицы инфор-

мации, тем выше эффективность модуляции.

Полоса частот, занимаемая информационным сигналом, может быть значительно расширена (коэффициент расширения 10 до 10000) за счет представления их двоичными последовательностями с использованием нескольких различных методов. В результате такого расширения спектра появляются два полезных эффекта.

Эффект первый – рассредоточение энергии сигнала в пределах очень большой полосы частот, что соответственно снижает спектральную плотность мощности в любой точке спектра. Уровень сигнала зависит от нескольких факторов, таких как передаваемая мощность, расстояние от передатчика, усиление антенны и ширины спектра. Рассредоточение энергии позволяет опустить уровень спектральных составляющих сигнала ниже уровня шума.

Второй полезный эффект Spread Spectrum процесса состоит в том, что приемник может разделить полезный и мешающий сигналы, даже если мешающий имеет значительно более высокий уровень, чем полезный. Это объясняется тем, что Spread Spectrum приемник имеет копию Spread Spectrum последовательности и использует ее для восстановления сигнала. Узкополосные сигналы помехи подавляются в процессе обработки. Эффективность в части устойчивости к помехам и сделала Spread Spectrum популярной военной технологией передачи данных.

Имеются многочисленные способы, используемые в военных и космических коммуникациях, распределения сигнала по широкой полосе частот. Однако для коммерческого применения разрешены только технологии Frequency Hopping (FH) и Direct Sequence (DS).

При использовании технологии Frequency Hopping (скачкообразная перестройка частоты) несущая частота радиопередатчика изменяется скачкообразно в определенной последовательности. При этом каждая из несущих частот и связанных с ней боковых полос должны оставаться в пределах ширины полосы, отведенной для работы системы связи. Только в случае, когда предполагаемый получатель знает последовательность скачков частоты передатчика, его приемник может следовать за этими изменениями частоты.

При использовании иной кодовой последо-

вательности можно вести передачу в этой же полосе частот, не мешая другим пользователям. Если два различных передатчика попытаются использовать одну и ту же частоту (канал) одновременно, то в этом случае данные будут передаваться повторно на следующей в последовательности частоте, а так как последовательности отличаются, то и частоты передатчиков станут различными.

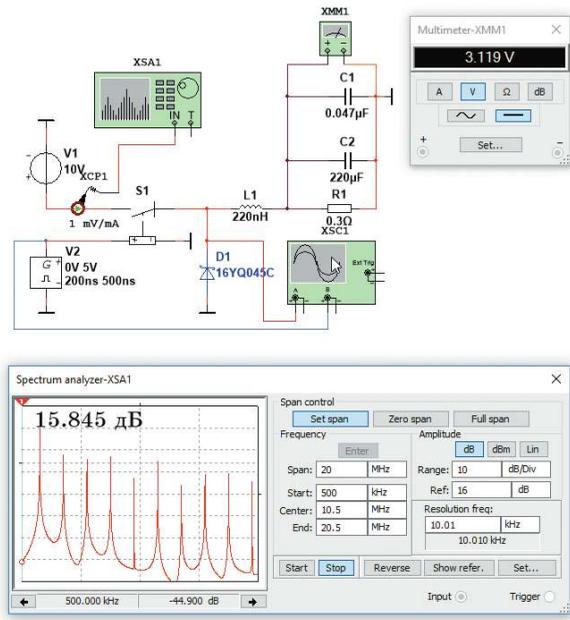
Время, в течение которого сигнал может присутствовать на любом из каналов, называется интервалом. Для устранения помех пользователям стандартных видов связи необходимо, чтобы интервал не превышал 10 микросекунд.

В методе Direct Sequence (прямая последовательность) полоса сигнала расширяется за счет быстрого изменения фазы путем свертки информационного сигнала с псевдослучайной шумовой последовательностью. В приемнике исходный сигнал восстанавливается (в корреляторе) с использованием точно такой же последовательности. Длина последовательности определяет коэффициент расширения спектра. При одной и той же полосе частот, чем длиннее последовательность, тем шире полоса частот, занимаемых сигналом, тем ниже скорость передачи и тем выше помехоустойчивость. С точки зрения помехозащищенности использование избыточности в частотной области эквивалентно повышению мощности узкополосного сигнала. Таким образом, требуемый коэффициент ошибок даже на больших дальностях достигается при малых мощностях.

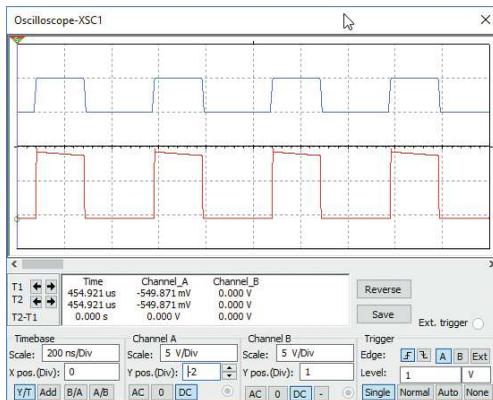
Чтобы проиллюстрировать как использование технологии Spread Spectrum меняет спектр кондуктивных помех преобразователя, промоделируем его работу в NI Multisim. На рис. 1 приведена схема понижающего преобразователя с идеальным силовым ключом и фиксированной частотой преобразования равной 2 МГц.

Уровень кондуктивной помехи оценивается по спектру тока отдаваемого источником питания при работе преобразователя. Ток контролируется с помощью токового пробника ХСР1, а измерение спектра осуществляется анализатором спектра XSA1. Диапазон анализа от 0.5 до 20.5 МГц, число усредняемых реализаций 8192. Относительный уровень дискретной составляющей с частотой 2 МГц составляет

15.845 дБ (рис. 1). Вторая и более высокие гармоники имеют уровень примерно на 10 дБ ниже. Осциллограммы сигнала управления (зеленая) и напряжения в точке соединения ключа и катушки L1 приведены на рис. 2.



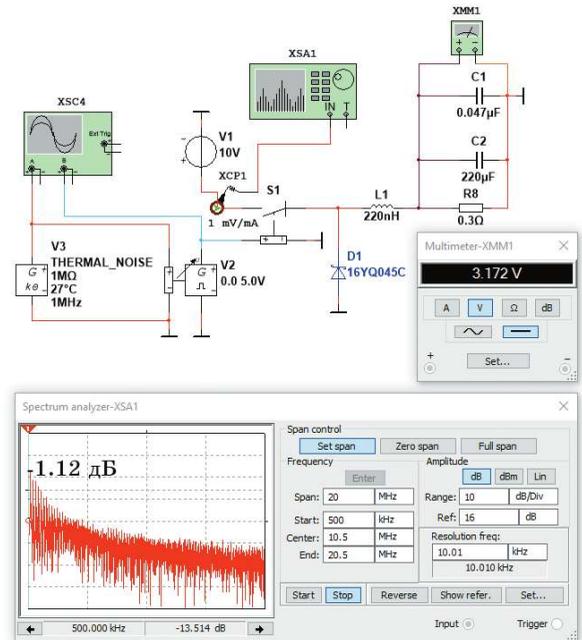
**Рис. 1. Однотактный понижающий преобразователь с фиксированной частотой преобразования**



**Рис. 2. Осциллограммы сигнала управления (зеленая) и напряжения в точке соединения ключа и катушки L1**

Для проверки эффективности использования технологии Spread Spectrum исследована модель с управляемым генератором прямоугольных импульсов (V2), приведенная на рис. 3. Пределы изменения частоты генератора V2 заданы в установках и составляют 0.2 и 2 МГц. Модуляция частоты генератора осуществляет-

ся шумовым сигналом, генерируемым генератором теплового шума V3. Параметры импульсов управления, формируемые генератором V2 выбраны таким образом, чтобы напряжение на выходе преобразователя было равно напряжению на выходе преобразователя с фиксированной частотой преобразования. В этом легко убедиться сравнив показания мультиметров на первом и третьем рисунках.



**Рис. 3. Однотактный понижающий преобразователь с частотой преобразования, изменяющейся по случайному закону**

Чувствительность токового пробника и анализатора спектра, диапазон частот анализа и число усредняемых реализаций выбраны такими же, как и при анализе схемы с фиксированной частотой преобразования. Как следует из сравнения полученных спектров, изменение частоты преобразования по случайному закону привело к размытию спектра кондуктивных помех и уменьшению их уровня. При заданных параметрах изменения частоты преобразования уровень кондуктивных помех уменьшился на 17 дБ, что является весьма серьезным выигрышем.

Этот эксперимент наглядно демонстрирует эффективность использования технологии размытия спектра в преобразователях постоянного напряжения для уменьшения уровня

кондуктивных помех, формируемых при их работе.

Рассмотрим кратко основные технические характеристики контроллера LT8390. На рис. 4 приведена его функциональная схема, а на

рис. 5 пример схемы DC/DC-преобразователя с выходным напряжением 12 В и током 4 А, сохраняющего выходные характеристики при изменении входного напряжения в диапазоне от 4 до 56 В [1].

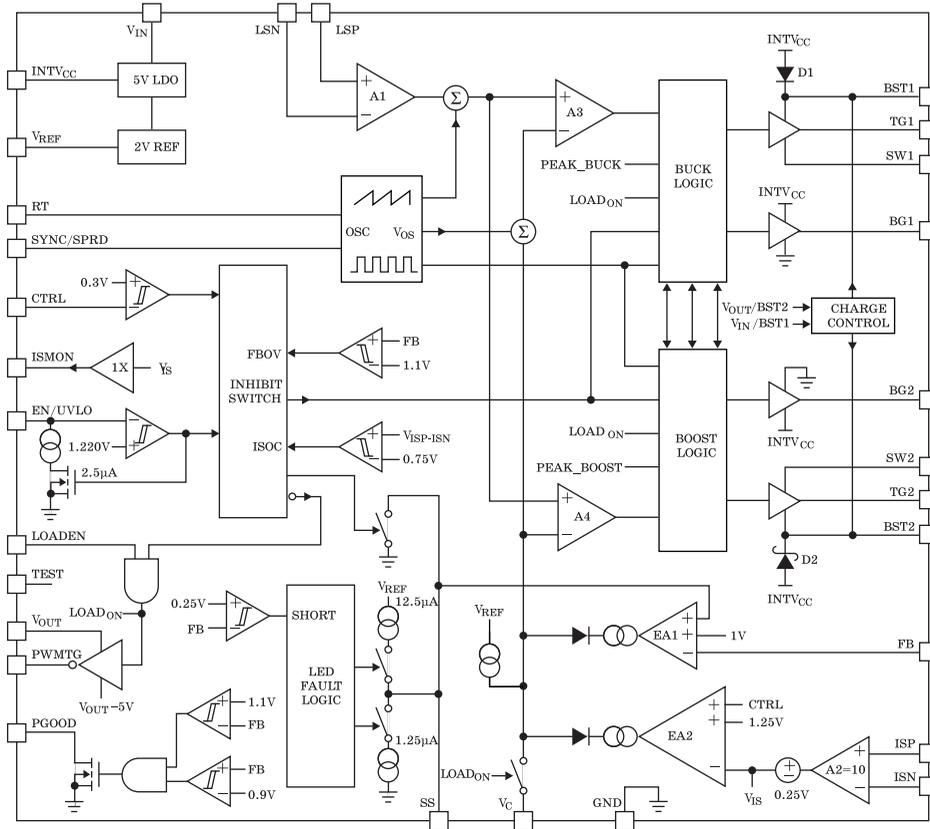


Рис. 4. Функциональная схема контроллера LT8390

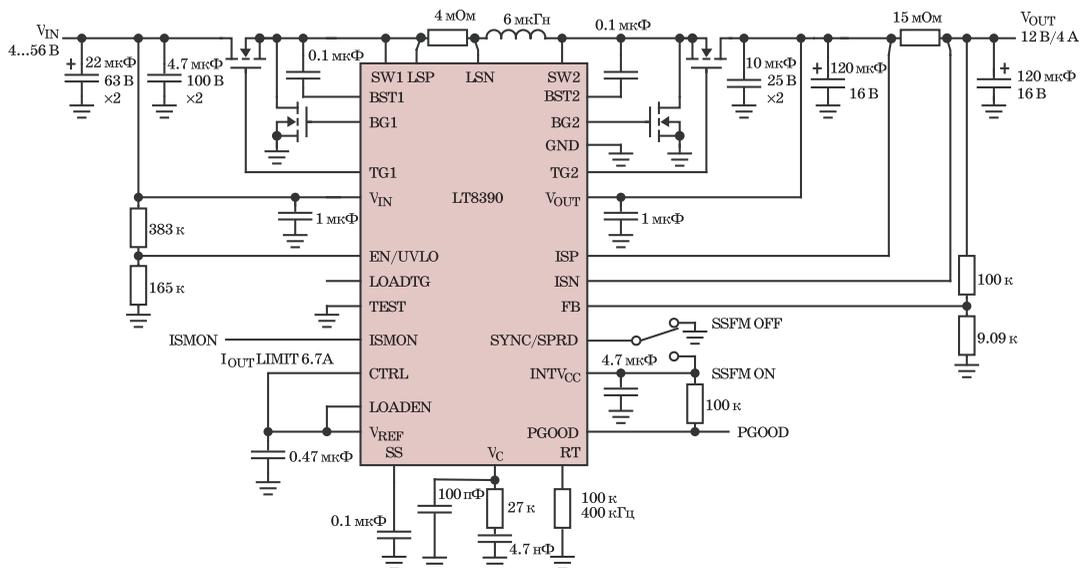


Рис. 5. Принципиальная схема DC/DC-преобразователя, построенного на базе LT8390

В [1] приведено подробное описание контроллера в различных режимах работы, приведены рекомендации о том каким образом задать центральную частоту преобразования.

Как следует из рис. 4, контроллер обеспечивает работу как в режиме понижающего, так и в режиме повышающего преобразователя без изменения конфигурации схемы.

В схемах таких преобразователей используются 4 силовых ключа, работающих синхронно, и одна катушка индуктивности. Основные параметры контроллера приведены ниже:

- КПД до 98%
- диапазон входных напряжений от 4 до 60 В
- нестабильность выходного напряжения не более  $\pm 1.5\%$  при изменении  $U_{\text{вых}}$  в диапазоне от 1 до 60 В
- технология Spread Spectrum для обеспечения низкого уровня ЭМП
- встроенный драйвер для управления полевыми транзисторами
- интегрированные защитные диоды
- защита от короткого замыкания и перенапряжения на выходе
- формирование сигнала Power Good
- значение центральной частоты коммутации в режиме расширения спектра от 150 до 650 кГц
- возможность отключения режима Spread Spectrum
- автоматическое отключение выхода в выключенном режиме

- собственный ток потребления от источника входного напряжения не более 2.5 мА, а в выключенном режиме менее 2 мкА

- выпускается в 28-выводных корпусах TSSOP и QFN (4×5 мм).

Режим расширения спектра обеспечивается частотной модуляцией сигнала управления ключами треугольным сигналом. Девиация частоты составляет  $\pm 0.15f_{\text{sw}}$ , где  $f_{\text{sw}}$  – центральное значение частоты управляющего сигнала. Подробные электрические характеристики контроллера можно найти в [1], а эффективность его работы лучше иллюстрируют графики.

На рис. 6 приведены зависимости КПД преобразователей на базе LT8390 при работе в различных режимах – понижающего, повышающего и комбинированного понижающего/повышающего преобразователя.

Как следует приведенных зависимостей, LT8390 обеспечивает КПД преобразователей не менее 90% уже при токах нагрузки более 15% от номинального значения, а для повышающего преобразователя и при меньших значениях.

Зависимость выходного напряжения от тока нагрузки иллюстрирует рис. 7.

Как следует из графика на рис. 7, напряжение на выходе в рабочем диапазоне токов нагрузки изменяется не более чем на 1.5%.

Эффективность использования технологии Spread Spectrum иллюстрирует спектр ЭМП, создаваемых DC/DC-преобразователем, приве-

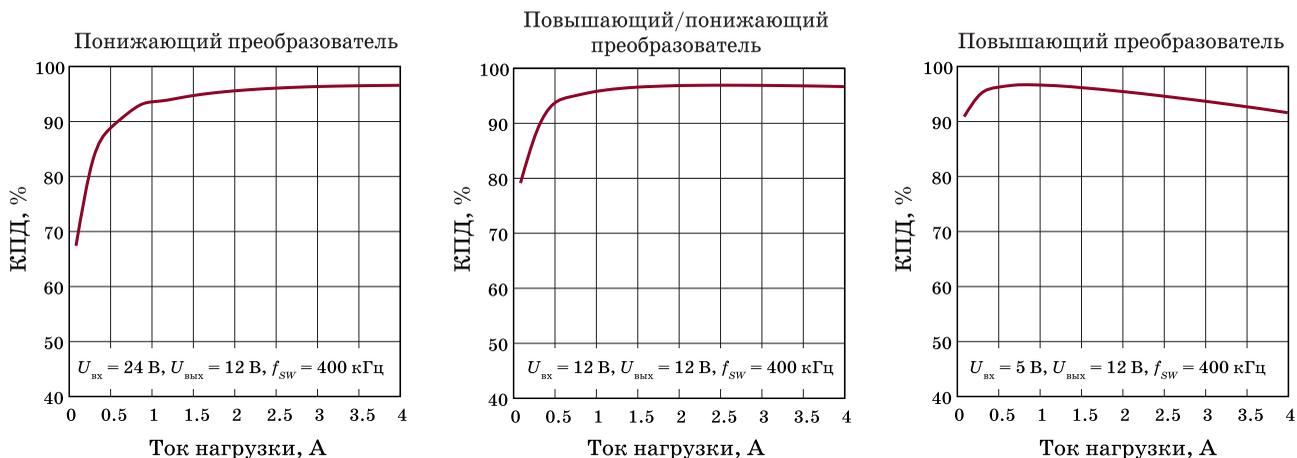
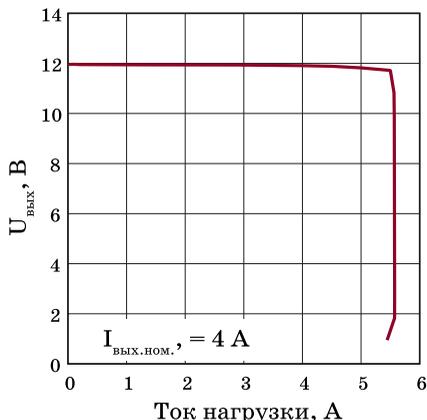


Рис. 6. Зависимости КПД преобразователя на базе LT8390 от режима работы и тока нагрузки

денный на рис. 8. Красным цветом показан спектр при включенном режиме Spread Spectrum, а синим – при выключенном.



**Рис. 7. Зависимость напряжения на выходе DC/DC-преобразователя от тока нагрузки**

Результаты измерения ЭМП приведенные в [1] хорошо коррелируются с результатами моделирования, представленными на рис. 1 и 3.

Расчетные соотношения, позволяющие определить значения номиналов резисторов, индуктивность катушки и другие параметры преобразователя, приведены в [1]. Там же приведены схемы DC/DC-преобразователей различной мощности, иллюстрирующие исполь-

зование контроллера LT3980, что значительно облегчает разработчикам задачу проектирования источников питания.



**Рис. 8. Спектр электромагнитных помех при включенном и выключенном режиме Spread Spectrum**

**ЛИТЕРАТУРА**

1. <http://cds.linear.com/docs/en/press-release/LT8390.pdf>.
2. Frequency Assignments in Slow Frequency-Hopping GSM Networks <https://www.math2.rwth-aachen.de/basilic/Publications/2011/Tie11/Tie11.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, Littelfuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntan, Telit, Vacuumschmelze, Xilinx, Yitran

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

## ТАКОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С МАЛЫМ ДЖИТТЕРОМ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АЦП И ЦАП

В статье рассмотрены синтезаторы частоты компании Linear Technology, предназначенные для формирования тактовых сигналов высокочастотных АЦП и ЦАП. Отличительной особенностью синтезаторов являются малый джиттер, наличие встроенного ГУН, нескольких выходов CML и LVDS, возможность формирования тактовых сигналов на разных выходах с различной частотой и задержкой. Приведена информация об отладочных средствах и программном обеспечении для контроля параметров и настройки синтезаторов.

В. Макаренко

### CLOCK GENERATORS WITH LOW JITTER FOR HIGH FREQUENCY ADC AND DAC

**Abstract** – The article describes the frequency synthesizers of the company Linear Technology are intended for generation of clock signals of the high frequency for ADC and DAC. A distinctive feature synthesizers are small jitter, the built-in VCO, multiple outputs, CML and LVDS, the possibility of forming clock signals at different outputs with different frequency and delay. Provides information about the debugging tools and software to control the parameters and settings the synthesizers.

V. Makarenko

В современных системах связи, телевидения, телекоммуникаций и других областях человеческой деятельности используется цифровая обработка сигналов. Учитывая то, что диапазоны частот, занимаемых сигналами в этих системах, постоянно расширяются, то возникает необходимость использовать все более высокочастотные АЦП и ЦАП.

Так как быстродействие и разрешение преобразователей данных продолжают расти, растет потребность в генераторах более высокой тактовой частоты с низким фазовым шумом. С проблемой фазового шума (джиттера) сталкиваются конструкторы базовых станций сотовой связи, радарных и других систем, которые работают на высоких частотах. Практически каждая сложная система требует несколько тактовых частот, сигнал самой высокой из которых формируется с помощью синтезатора частоты, а сигналы более низких частот формируются с помощью делителей частоты.

При обработке высокочастотных сигналов в полосе частот более 100 МГц большое значение имеет качество синхросигналов. Дрожание фронтов (clock jitter) этих сигналов должно быть сведено к минимуму. На рис. 1 показано, как погрешность, вызванная дрожанием фронта синхросигнала, влияет на точность преобразования входного аналогового напряжения.

Для источника системных тактовых импульсов необходим надежный прецизионный

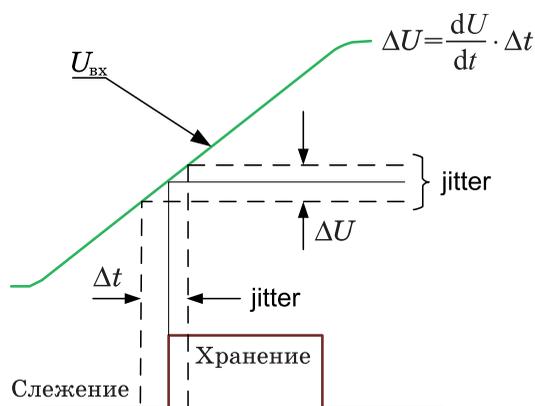


Рис. 1. Зависимость погрешности преобразования от величины дрожания фронта синхросигнала

опорный источник импульсов, в качестве которого обычно используется кварцевый генератор. Для формирования нескольких различных частот в системе можно использовать синтезатор с системой ФАПЧ и набор делителей частоты, что эффективно с экономической точки зрения. Если необходимо сформировать несколько копий тактового сигнала, то для разветвления сигнала необходимо осуществлять буферизацию [1].

Компания Linear Technology в марте 2016 года анонсировала выпуск синтезатора LTC6951 с несколькими выходами, встроен-

ным ГУН и сверхнизким уровнем шума [2, 3], предназначенного для формирования тактовых сигналов высокочастотных АЦП и ЦАП. Он может быть использован и в качестве генераторов стабильной частоты в системах беспроводной связи, контроля и измерений.

Основные параметры LTC6951:

- синтезатор с целочисленными коэффициентами деления (Integer-N PLL) со встроенным ГУН
- выходной джиттер:
  - ◆ 90 фс в полосе частот 0.012...20 МГц

(среднеквадратическое значение)

- ◆ 115 фс при проведении измерений по методу ADC SNR Method
- уровень шума -165 дБн/Гц в полосе 250 МГц
- соответствие стандарту JESD204B, описывающему высокоскоростной интерфейс преобразователей данных АЦП и ЦАП
- диапазон частот выходного сигнала:
  - ◆ 1.95...2.5 ГГц (LTC6951)
  - ◆ 2.1...2.7 ГГц (LTC6951-1)
- нормализованный уровень фазового шума

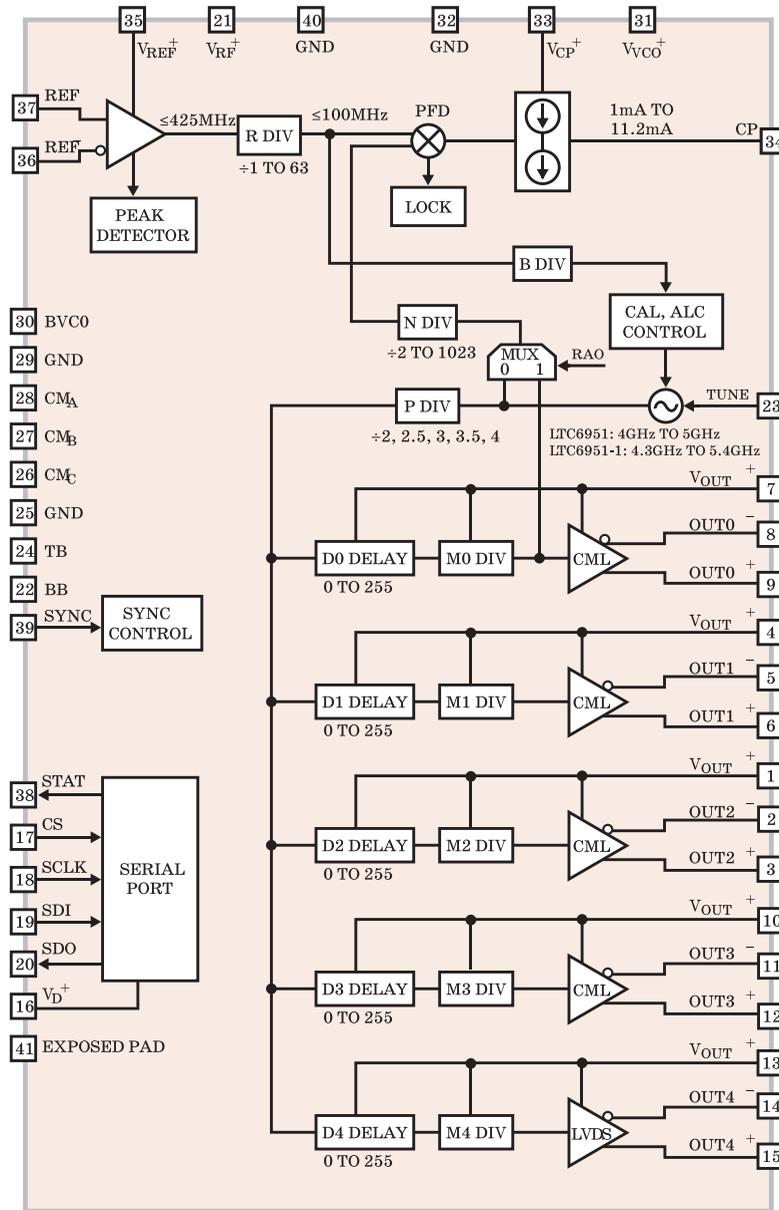


Рис. 2. Структурная схема синтезатора LTC6951

в полосе частот не более -229 дБн/Гц

- нормализованный уровень 1/f шума в полосе частот не более -277 дБн/Гц
- максимальное значение опорной частоты 425 МГц
- 5 независимых выходов с низким уровнем шума
- программное обеспечение LTC6951Wizard™ Software Design для контроля параметров синтезатора
- диапазон рабочих температур от -40 до 105 °С.

Структурная схема синтезатора приведена на рис. 2.

Синтезатор построен по традиционной схеме синтезатора с ФАПЧ. Частота выходного сигнала генератора, управляемого напряжением (ГУН), определяется по формуле

$$f_{VCO} = f_{REF} \times N / R,$$

где  $f_{VCO}$  – частота сигнала на выходе ГУН,  $f_{REF}$  – частота сигнала опорной частоты,  $N$  и  $R$  – коэффициенты деления частоты делителями с целочисленными коэффициентами в цепи обратной связи и опорной частоты, соответственно.

Значения коэффициентов деления делителей частоты лежат в диапазоне  $R = 1 \dots 63$ , а  $N = 2 \dots 1023$ .

Наличие мультиплексора MUX позволяет изменять конфигурацию цепи обратной связи. В зависимости от значения уровня сигнала RAO в цепь обратной связи синтезатора включается делитель N ( $RAO = 0$ ) или группа делителей N, P и M0, соединенных последовательно, при  $RAO = 1$ . Упрощенные эквивалентные структурные схемы синтезатора при разных значениях сигнала RAO приведены на рис. 3. Следует отметить, что при значении  $RAO = 1$  LTC6951 работает в режиме синтезатора с дробными коэффициентами деления.

Частоту сигнала на выходе ГУН в этом режиме ( $RAO = 1$ ) можно рассчитать по формуле  $f_{VCO} = f_{REF} \times N \times P \times M_0 / R$ . Значение коэффициента деления P DIV могут принимать значения  $P = 2, 2.5, 3, 3.5, 4$ , а  $M_0$  (как и значения  $M_i$  в других каналах) может принимать значения от 1 до 512.

Когда значение сигнала  $RAO = 0$ , в каждом из пяти каналов сигнал синхронизации может быть задержан на n-тактов, где n может принимать значения от 0 до 255. Когда  $RAO = 1$ , блок задержки в первом канале OUT0 отключается (рис. 3,б).

Значение частоты тактовых импульсов на выходе можно найти по формуле

$$f_{OUTi} = f_{VCO} / (P \times M_i),$$

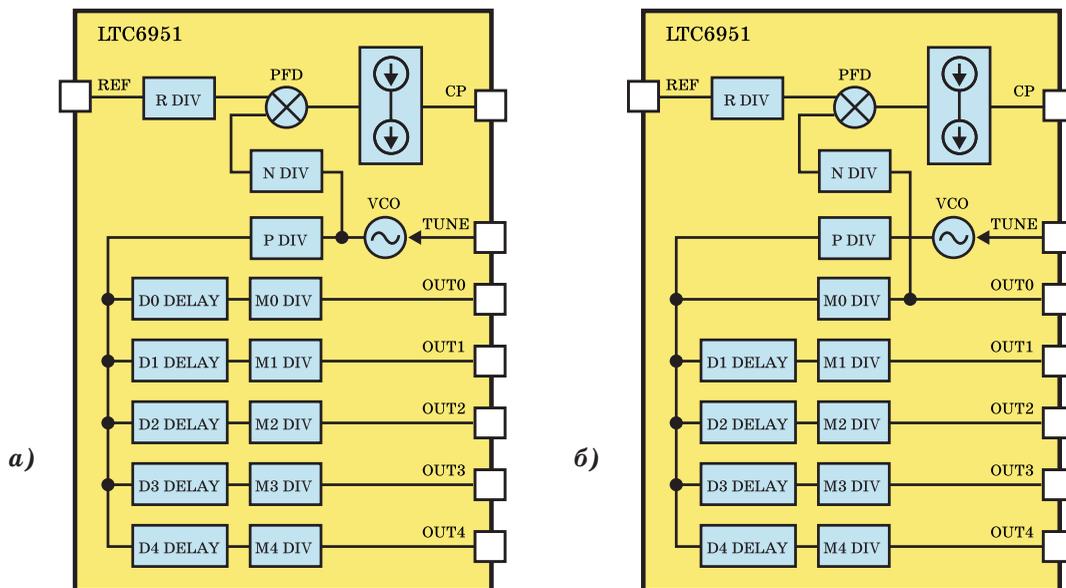


Рис. 3. Структурная схема синтезатора при значении сигнала  $RAO = 0$  (а) и при значении сигнала  $RAO = 1$  (б)

где  $i$  – номер канала.

В каждом из каналов предусмотрен дополнительный делитель частоты  $M_i$ , включенный между выходом блока задержки и входом буферного каскада, что позволяет формировать до пяти различных значений частот тактовых импульсов.

Сигнал с выхода делителя через буферный каскад, который определяет параметры сигнала, поступает на выход канала. В четырех каналах формируется сигнал СМЛ-логики (логика с токовыми переключателями) со сверхнизким значением шума. Максимальная частота тактовых сигналов на таком выходе может составлять 2,7 ГГц. В пятом канале формируется дифференциальный сигнал LVDS-логики (максимальная частота тактовых сигналов 800 МГц).

Управление синтезатором осуществляется по четырехпроводному интерфейсу SPI.

Определить требования к значению суммарного джиттера тактового сигнала и апертурной погрешности АЦП можно по формуле

$$t_{j(Total)} = (10^{-SNR/20}) / 2\pi f_{in},$$

где  $SNR$  – требуемое отношение сигнал/шум,  $f_{in}$  – верхняя частота входного сигнала.

Требования к джиттеру тактового сигнала

$$t_{j(Clk)} = \sqrt{t_{j(Total)}^2 - t_{j(Aperture)}^2},$$

где  $t_{j(Aperture)}$  – апертурная погрешность АЦП.

На рис. 4 приведены зависимости отношения сигнал/шум на выходе АЦП от среднеквадратического значения джиттера тактового сигнала при различных значениях полосы частот входного сигнала АЦП.

### МЕТОДЫ СИНХРОНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕЗАТОРОВ LTC6951

Синтезатор LTC6951 может обеспечивать три метода синхронизации: EZSync, ParallelSync и EZ204Sync (или EZParallelSync). При использовании первого метода синтезатор непосредственно формирует импульсные тактовые последовательности. При втором методе LTC6951 является источником опорных колебаний для формирователей тактовых импуль-

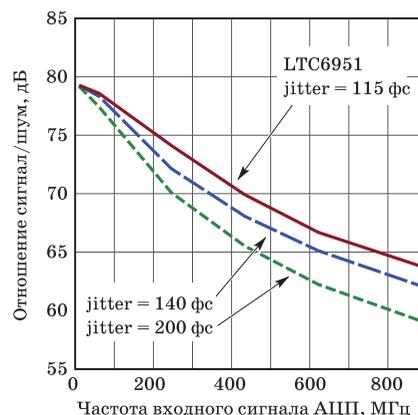


Рис. 4. Зависимости отношения сигнал/шум на выходе АЦП от среднеквадратического значения джиттера тактового генератора

сов LTC6954 и LTC6950, выходные сигналы которых и используются для тактирования ВЧ-устройств. При использовании третьего метода синхронизации два или более синтезаторов LTC6951 питаются от общего источника тактовых импульсов, являющегося опорным, а с выходов LTC6951 снимаются тактовые сигналы, необходимые для работы ВЧ-устройств.

Преимущества и недостатки каждого метода приведены в [2]. Там же приведены схемы, иллюстрирующие применение этих методов. Графики зависимости фазового шума при использовании различных методов формирования сигналов синхронизации приведены на рис. 5.

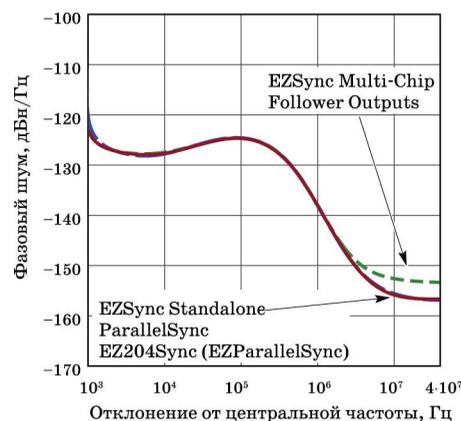


Рис. 5. Графики зависимости фазового шума при различных методах формирования сигналов синхронизации

Как следует из графиков, только в полосе частот свыше 3 МГц (относительно центральной)

наблюдается рост фазовых шумов примерно на 3 дБ при использовании метода EZSync Multi-Chip.

Основные технические характеристики синтезатора LTC6951 приведены ниже:

- диапазон частот входного сигнала опорной частоты 1...450 МГц
- диапазон изменения частоты на выходе ГУН 4...5 МГц (4.3...5.4 МГц для LTC6951-1)
- максимальная частота на входе фазового детектора 100 МГц
- частота на выходах OUT0... OUT3 синтезатора 1.95...2500 МГц
- частота на выходах OUT4 синтезатора 1.95...800 МГц
- фазовый шум на выходе ГУН
  - ◆ в полосе 10 кГц -87 дБн/Гц
  - ◆ в полосе 100 кГц -113 дБн/Гц
  - ◆ в полосе 1 МГц -135 дБн/Гц
- напряжения питания V+ (VREF+, VRF+, VD+, VOUT+) – 3.6 В
- напряжения питания VCP+, VVCO+ – 5.5 В
- выходной ток OUTx+, OUTx-, (x = 0, 1, 2, 3, 4) – 25 мА
- диапазон рабочих температур от -40 до 105 °С
- максимальная температура кристалла 125 °С
- температура хранения -65...150 °С
- корпус 40-Lead Plastic QFN (5×7 мм).

Форма сигналов на выходах CML и LVDS при частоте выходного сигнала 2.5 ГГц и 800 МГц, соответственно, приведена на рис. 6.

## ОТЛАДОЧНЫЕ СРЕДСТВА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Демонстрационная плата DC2248 [4] и программное обеспечение LTC6951Wizard™ [5] значительно упрощают настройку и контроль параметров синтезаторов. Программное обеспечение можно использовать как совместно с демонстрационной платой, так и без нее.

Удобный графический интерфейс позволяет легко осуществлять настройку синтезатора. На рис. 7 показан внешний вид окна System, в котором можно устанавливать параметры прямо в окошках функциональных блоков синтезатора и сразу наблюдать на выходах полученные значения частоты и задержки.

При работе в автономном режиме без демонстрационной платы (рис. 7) окно Loop Design будет неактивно, а в окне Register можно посмотреть значения кодов, записанных во всех регистрах синтезатора, в шестнадцатеричном или десятичном кодах.

При работе с демонстрационной платой LTC6951Wizard™ позволяет:

- осуществлять чтение и запись информации в регистры по интерфейсу SPI
- определить значения кодов, записываемых в регистры в зависимости от заданных значений частоты
- определить параметры фильтра в петле ФАПЧ для минимизации фазового шума
- моделировать поведение синтезатора во временной и частотной области при заданных пользователем параметрах.

Для первоначальной оценки работы синтезатора пользователю предлагаются готовые примеры, которые легко использовать, загрузив файлы

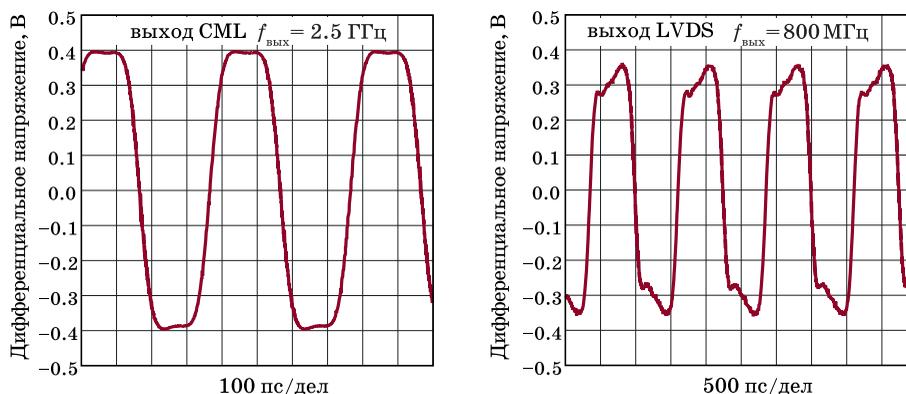


Рис. 6. Осциллограммы сигналов на различных выходах синтезатора LTC6951

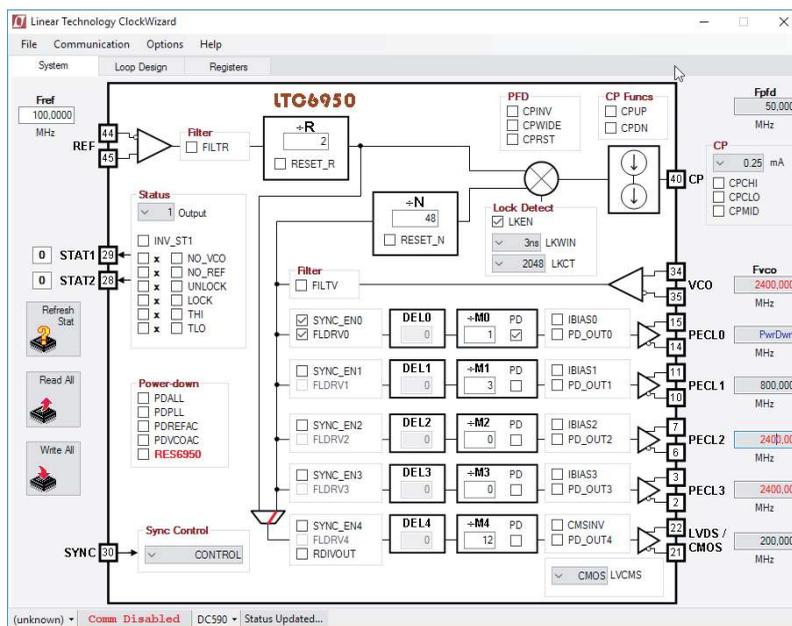


Рис. 7. Внешний вид окна System программного обеспечения LTC6951Wizard™

конфигурации. Пользователю предоставляется возможность сохранить файлы конфигурации, экспортировать в виде файла состояние регистров, распечатать на принтере открытое окно. Развитая система подсказок позволяет пошагово произвести настройку синтезатора.

Более подробную информацию о параметрах и настройке синтезаторов LTC6951 можно найти в [2...5].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. В. Макаренко Способы уменьшения джиттера тактовых генераторов. – ЭКИС, №2-3,

2014. – с. 37-44. ([http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2-3\\_2014/V.Makarenko\\_REDUCE\\_JITTER\\_EKIS\\_2-3\\_2014.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2-3_2014/V.Makarenko_REDUCE_JITTER_EKIS_2-3_2014.pdf)).

2. <http://www.linear.com/docs/52353>.

3. C. Pearson Multi-Output Clock Synthesizer with Integrated VCO Features the Low Jitter Required to Drive Modern High Speed ADC and DAC Clock Inputs. – <http://www.linear.com/docs/52696>.

4. <http://www.linear.com/product/LTC6951#demoboards>.

5. <http://www.linear.com/product/LTC6951#simulate>.

**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, ISO 13485:2003 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, ISO 13485:2003 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



# КАБЕЛИ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ

 **LAPP GROUP**



LAPP KABEL S  
ÖLFLEX

- торсионная нагрузка до  $\pm 360^\circ/\text{м}$
- испытательное напряжение 6 кВ
- наличие жилы заземления
- диапазон рабочих температур
  - подвижное применение  $-40...80^\circ\text{C}$
  - неподвижная прокладка  $-50...80^\circ\text{C}$
- жилы (пары) скручены
- экранирование каждой пары
- износостойкие, стойкие к порезам
- стойкие к гидролизу
- маслостойкие
- оболочка стойкая к адгезии
- не распространяют горение.



Украина, 03061, Киев,  
ул. Михаила Донца, 6

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

## ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

**В** статье приведена краткая информация о различных технологиях передачи звуковых сигналов. Основное внимание уделено технологиям NFMI и e2e, предложенными компаниями NXP и Siemens, которые используются для передачи звука на наушники как от мобильных телефонов, так и от других источников звуковых сигналов. Кратко описана технология индукционной связи, которая используется для создания комфортных условий слабослышащим.

*В. Макаренко*

### TECHNOLOGY WIRELESS TRANSMISSION OF AUDIO SIGNALS

**Abstract –** The article provides an overview of the various technologies of transmission of audio signals. The focus is on technology NFMI and e2e, proposed by NXP and Siemens, which used to transmit sound to the headphones from both mobile phones as well as from other sources of audio signals. Briefly described inductive coupling technology, used to create comfortable conditions for the hearing impaired.

*V. Makarenko*

Одна из важнейших тенденций в системах передачи звуковых сигналов – развитие беспроводных технологий. Эти тенденции особенно сильно проявляются в области потребительской электроники и медицинской техники. В потребительской электронике – это беспроводные головные телефоны (наушники) для связи с мобильными телефонами и другими устройствами, а в медицине – это слуховые аппараты, позволяющие людям с дефектами слуха хорошо слышать музыку или речь, передаваемую с любых устройств в помещениях с повышенным уровнем шума.

Конкуренция между производителями мобильных телефонов и слуховых аппаратов усиливается в направлении создания более удобных для пользователя устройств прослушивания звуковых сигналов. Производители используют для этих целей самые различные технические решения. Однако у всех производителей существует очень важный вопрос – нужен ли, так называемый, стример для промежуточной связи между слуховыми аппаратами или наушниками и такими устройствами как телевизор и телефон?

На сегодняшний день в мире используют две основных технологии для беспроводной передачи аудиосигналов:

- передача сигналов по радиоканалу
- передача сигналов с помощью технологии NFMI (Near Field Magnetic Induction – магнитная индукция ближнего поля).

Какой способ лучше использовать для беспроводной технологии – радиопередачу или магнитную индукцию ближнего поля? От выбора способа передачи данных зависит производительность и энергопотребление конкретных устройств. Причем различие характеристик может быть довольно значительным.

При передаче сигналов по радиоканалу используется несколько технологий – Bluetooth, передача сигналов с помощью частотной или другого вида модуляции на самых различных частотах. В настоящее время именно Bluetooth чаще всего используется для связи малопотребляющих устройств, расположенных на небольших расстояниях [1]. Невозможно представить современный смартфон или мобильный телефон, который не поддерживал бы этот протокол. Его используют для обмена данными между пользователями (картинки, видеофайлы и т. д.), для коммуникации с различными датчиками, для передачи аудиосигналов в беспроводные наушники и т. д. Основными достоинствами Bluetooth являются: малое потребление, достаточно высокая скорость передачи данных, малые габариты устройств. Однако для некоторых приложений этого оказывается недостаточно, так как у Bluetooth есть целый ряд ограничений. Их можно продемонстрировать на примере беспроводных наушников.

Для обеспечения передачи стереофонических аудиосигналов с помощью Bluetooth необходимы приемник и передатчик, а также

пара наушников, соединенных с помощью проводов (рис. 1). Передатчик находится в смартфоне или в MP3-плеере, а приемник встроен либо в одном из наушников, либо закреплен на проводе. На приемник по каналу Bluetooth поступает общий аудиопоток левого и правого каналов. Сигнал правого канала передается во второй наушник по проводу.



**Рис. 1. Типовая схема подключения Bluetooth-наушников**

Хотя современные Bluetooth-устройства и позволяют передавать информацию на два и более устройств одновременно, передача стереосигналов на каждый наушник по радиоканалу не используется по двум причинам – увеличенное энергопотребление и значительное затухание сигнала на частоте 2.4 ГГц. Это связано с тем, что организм человека содержит около 60% воды. Сигналы с частотами несколько гигагерц значительно ослабляются в водной среде. Даже при прохождении сигнала через голову сигнал значительно ослабляется, что приводит к неустойчивой передаче звукового сигнала.

Так как излучение сигнала Bluetooth осуществляется ненаправленной антенной, это приводит к “загрязнению” эфира в радиусе нескольких метров. Если передавать сигналы на каждый наушник, то уровень помех, создаваемых устройством Bluetooth, возрастает. Поэтому наиболее простым решением является проводное соединение со вторым наушником.

Компания ReSound (GN Hearing) предлагает собственное решение для беспроводной передачи стереофонических сигналов к каждому из наушников по радиоканалу на частоте 2.4 ГГц [2].

Однако при просмотре телевизионных программ и передаче звука с помощью Bluetooth наблюдается запаздывание звука по отношению к изображению, что нарушает синхронность изображения, звука голоса и музыки. Этот недостаток отсутствует при использовании ЧМ-модуляции для передачи звуковых сигналов. Использование ЧМ-модуляции обеспечивает широкий частотный и динамический диапазон, что в свою очередь обеспечивает высокое качество передачи звука. Кроме того, ЧМ-передатчик имеет аналоговые входы, что позволяет напрямую подключать его к выходу на наушники телевизора или музыкального центра. Запаздывание звуковых сигналов по отношению к видеоряду при использовании такой технологии не наблюдается. Передачу звука на наушники слуховых аппаратов с помощью ЧМ использует фирма Phonak [2].

Однако в последнее время набирает популярность передача звуковых сигналов с использованием технологии NFMI, которая позволяет создавать узконаправленный, высокоэффективный и малопотребляющий канал передачи данных с высокой пропускной способностью. В настоящее время NFMI имеет практическую реализацию, например, в виде беспроводных наушников на базе микросхем NxH2280 от компании NXP.

К достоинствам технологии NFMI можно отнести:

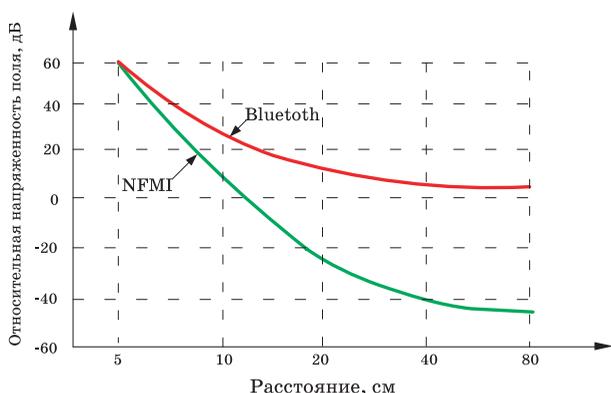
- возможность передачи сигналов на расстоянии нескольких метров
- возможность формирования направленного поля для передачи данных
- не требуется промежуточная аппаратура для осуществления передачи данных.

Однако она обладает и рядом недостатков:

- для двунаправленной передачи данных, например, разговора по телефону, требуется промежуточный интерфейс
- значительная потребляемая мощность
- большие габариты передающей катушки
- необходимы защитные механизмы, чтобы предотвратить радиообмен с другими устройствами, работающими в том же частотном диапазоне.

Как следует из названия “магнитная индукция ближнего поля”, технология NFMI предназначена для обмена данными на коротких расстояниях. Для этого используются две катушки, которые передают информацию с помощью магнитного поля. Диапазон частот, в котором может осуществляться передача, ограничен полосой от 3 до 15 МГц.

Для сравнения на рис. 2 приведены графики зависимости относительной напряженности поля при передаче сигналов с помощью Bluetooth и NFMI (при отсутствии каких-либо препятствий).



**Рис. 2. Графики зависимости относительной напряженности поля при передаче сигналов с помощью Bluetooth и технологии NFMI**

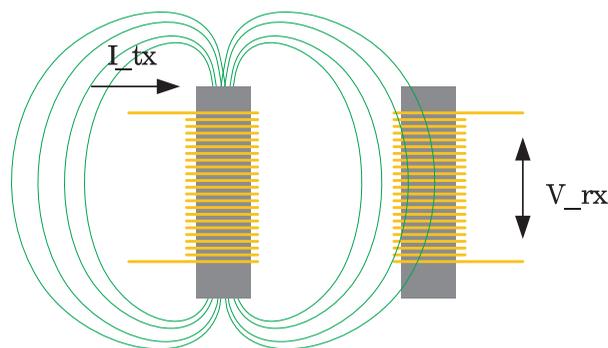
Из графиков следует, что радиосигналы затухают значительно медленнее с ростом расстояния от излучающей антенны, чем сигналы NFMI. Но такие графики справедливы для распространения сигналов в свободном от препятствий поле. При прохождении через ткани человеческого тела сигнал NFMI практически не затухает, а сигнал Bluetooth значительно ослабляется. Поэтому для передачи звуковых сигналов с помощью NFMI между наушниками понадобится сигнал значительно меньшей мощности, что увеличивает время работы наушников от встроенного аккумулятора.

Новая разработка NXP [3, 4] позволяет ускорить внедрение беспроводной технологии NFMI в мобильную аппаратуру и слуховые аппараты. Технология магнитной индукции ближнего радиуса, разработанная китайской компанией Cannice Technology, обеспечивает гораздо лучшую проникающую способность

при передаче сигналов через проводящие среды благодаря использованию переменного магнитного поля вместо электрического.

Выпускаемая компанией NXP микросхема NxH2280 является трансивером NFMI со сверхнизким потреблением и выполняет все функции, необходимые для осуществления связи по методу NFMI. Микросхема обеспечивает надежную связь в пределах тела пользователя. Эта технология хорошо отработана и уже десятилетие используется в слуховых аппаратах. Трансивер NxH2280 для сети NFMI поставляет NXP и поддерживает стартовый набор, включающий плату приложения, программное обеспечение для прошивки и программное обеспечение для разработки.

В технологии NFMI используются катушки индуктивности в качестве антенн. Для реализации направленной передачи необходимо располагать передающую и приемную катушки параллельно (рис. 3). Тогда линии магнитного поля, создаваемые катушкой передатчика, пересекают витки катушки приемника и происходит прием полезного сигнала.



**Рис. 3. Взаимное расположение катушек индуктивности для реализации технологии NFMI**

Если же катушки расположены перпендикулярно и магнитные линии не пересекают витки катушки приемника, то сигнал принят не будет. Конструкция и габаритные размеры катушки показаны на рис. 4.

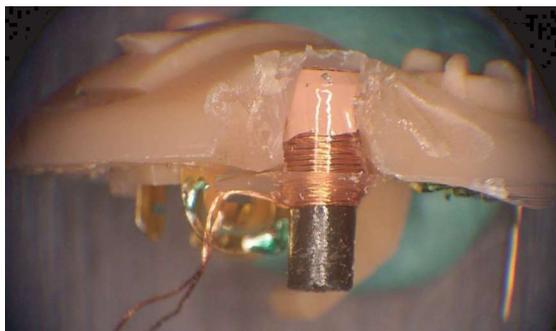
Структура ИМС NxH2280 приведена на рис. 5. Микросхема содержит [5]:

- программируемый пользователем микроконтроллер на базе ARM Cortex-M0
- набор системных периферийных модулей – блоки тактирования и контроля питания DMA

- периферийные модули общего назначения – таймеры, порты ввода/вывода
- коммуникационные интерфейсы I<sup>2</sup>C, UART, SPI
- аудиосистему, включающую программируемый пользователем цифровой сигнальный процессор Cool Flux DSP, аудиокодек и интерфейс I<sup>2</sup>S
- приемопередатчик NFMI.

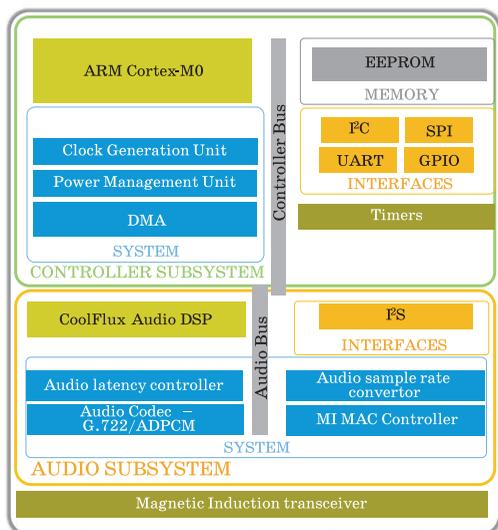


а)



б)

**Рис. 4. Конструкция и габаритные размеры катушки для использования совместно с микросхемой NxH2280 (а) и ее размещение в наушнике (б)**



**Рис. 5. Структура микросхемы NXH2280**

Основные характеристики микросхемы NXH2280:

- ИМС реализует технологию NFMI второго поколения
- скорость передачи данных 596 кбит/с
- низкое энергопотребление:
  - при передаче звука в обоих направлениях 1.6 мВт при частоте дискретизации 16 кГц
  - при передаче звука в одном направлении 2.5 мВт при частоте дискретизации 48 кГц
- площадь, занимаемая микросхемой 10.4 мм<sup>2</sup>
- оптимизированный протокол для передачи звука с малой задержкой
- возможность работы как с внутренним, так и внешним микроконтроллером
- возможность работы одновременно с 15 аналогичными устройствами
- максимальное расстояние для уверенного приема 1 м.

Информация о частоте несущего колебания передатчика отсутствует.

Для настройки и программирования микросхемы NxH2280 компания NXP предлагает стартовый набор [5] NxH2280 Software Development Kit (рис. 6).



**Рис. 6. Стартовый набор NxH2280 Software Development Kit**

Этот набор позволяет создавать прототипы NFMI-устройств и исследовать возможности однонаправленной и двунаправленной передачи данных и звуковых стереофонических сигналов. Основным элементом набора является отладочная плата, на которой помещен микроконтроллер LPC1115, аудиокодек, соединители для отладки и программирования, разъем

mini-USB, ЖК-дисплей, пользовательские и системные кнопки. В набор входят три отладочные платы, три NFMI антенны, одна плата отладки LPCXpresso, USB-кабель, два кабеля для соединения с источниками звуковых сигналов, Flash-накопитель с документацией и ПО.

На рис. 7 приведена функциональная схема системы приема стереофонических сигналов с использованием технологии NFMI, построенная на ИМС NхН2280.

Для связи с мобильным телефоном по каналу Bluetooth или с другими источниками звуковых сигналов используется приемопередатчик Bluetooth CSR8670 [6] со встроенной системой подавления шумов окружающего пространства, который позволяет подключать к низкочастотным входам источник стереофонического сигнала и до шести микрофонов.

Полученный по аналоговому каналу или посредством Bluetooth сигнал обрабатывается в процессоре ИМС NхН2280 и через линию задержки подается на усилитель наушника левого канала. Одновременно сигнал правого канала через кодер G.722 и блок формирования ВЧ-сигнала (NFMI radio) подается в передающую катушку. Сигнал принимается модулем NFMI наушника правого канала, декодируется и подается на усилитель наушника правого канала.

Линия задержки в модуле левого канала компенсирует задержку, вносимую кодером, декодером и другими узлами обработки сигнала правого канала (рис. 7).

Компания Siemens использует передачу цифровых данных с помощью технологии e2e 3.0, которая аналогична технологии NFMI [7]. Функциональная схема приемопередатчика, реализующего технологию e2e, приведена на рис. 8.

Сигналы с выходов микрофонов поступают на входы сигнального процессора звуковых сигналов (Audio Signal Processor), который осуществляет преобразование аналоговых сигналов в цифровой код и формирует НЧ-сигнал для прослушивания на громкоговорителе (Speaker). В качестве громкоговорителя чаще всего используются миниатюрные наушники. Цифровой сигнал поступает в кодер звуковых сигналов и через схему контроля ошибок подается на модулятор. Усиленный модулирован-

ный сигнал подается в катушку, которая используется как в режиме приема, так и в режиме передачи.

В режиме приема принятый катушкой сигнал усиливается и через демодулятор поступает в блок коррекции ошибок, с выхода которого через декодер – на вход сигнального процессора.

По эффективности передачи (по затратам энергии) устройства, реализующие технологии e2e и NFMI, практически одинаковы.

Для обеспечения комфортных условий слабослышащим в общественных местах во многих слуховых аппаратах встраивают так называемую “телефонную” катушку. Это миниатюрная катушка индуктивности, которая принимает электромагнитные волны звуковой частоты, излучаемые катушкой передатчика. Передача сигналов осуществляется на низкой частоте [8].

Индукционная система обладает целым рядом достоинств по сравнению с другими методами передачи звуковых сигналов:

- слабослышащему или кохлеарноимплантированному человеку нужен только слуховой аппарат или кохлеарный имплант с активированной телефонной катушкой, чтобы уверенно слышать и понимать аудиоинформацию в условиях повышенного шума
- нет необходимости в дополнительных устройствах, таких как наушники (переключения слухового аппарата в режим “Т” достаточно, чтобы слуховой аппарат начал принимать сигнал, формируемый индукционной системой)
- в зонах, где установлена индукционная система, гарантируется прием сигналов без помех, на качество получаемой слабослышащим или глухим человеком информации больше не влияют акустические особенности помещения
- область, в пределах которой “работает” индукционная система, может быть ограничена объемом помещения или отдельной зоной в нем (это определяется в каждом конкретном случае, например, стойка регистрации в аэропорту, кабинет для консультаций в банке, комната приема посетителей в учреждении).

На рис. 9 приведен пример размещения индукционной системы в помещении.

Индукционная система состоит из кабеля и усилителя. Кабель скрытым образом монтируется по периметру помещения. Усилитель, со-

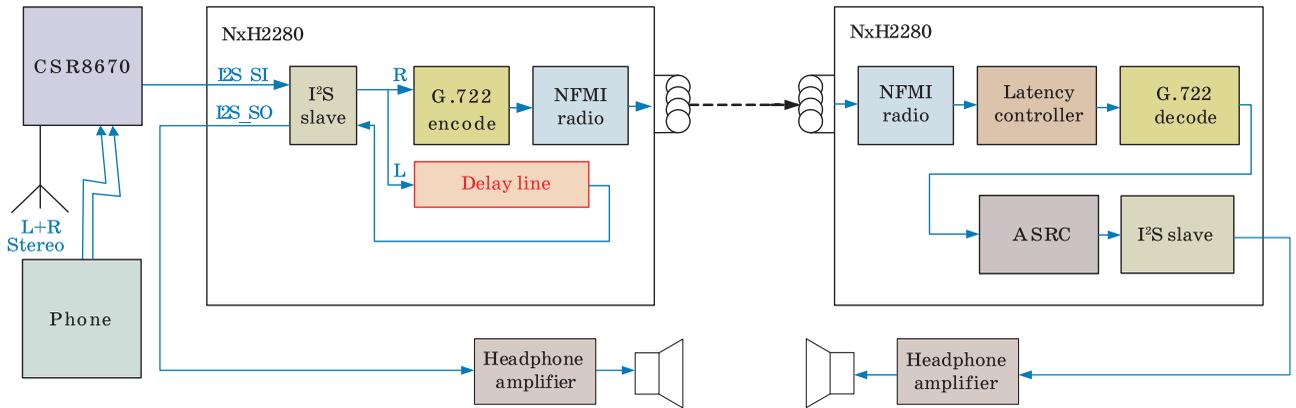


Рис. 7. Функциональная схема системы приема стереофонических сигналов с использованием технологии NFMI

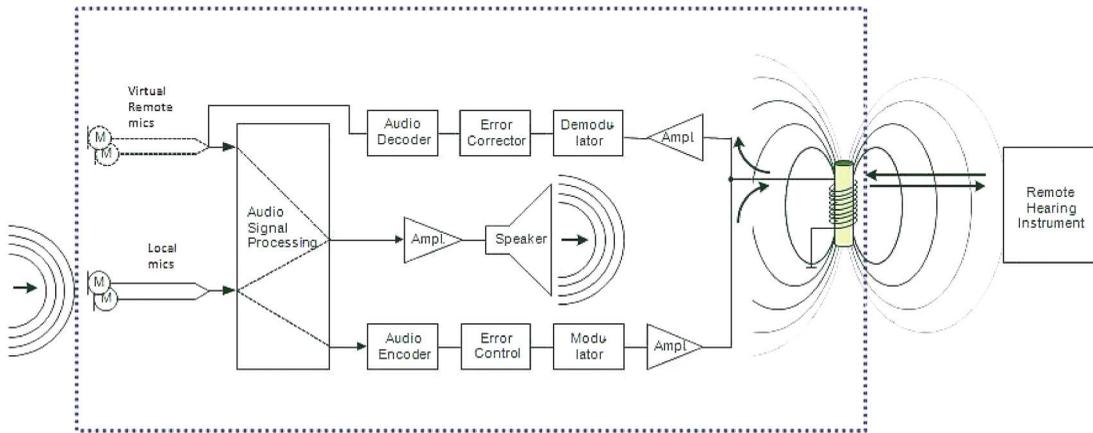


Рис. 8. Функциональная схема приемопередатчика, реализующего технологию e2e

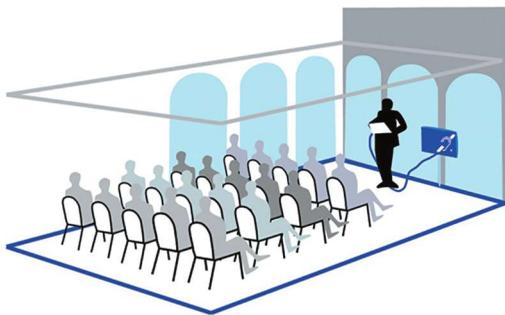


Рис. 9. Пример размещения индукционной системы в помещении

единенный с источником аудиосигналов (стереосистема, микрофон ведущего и т.д.), передает преобразованный акустический или электрический сигнал на индукционную катушку слухового аппарата (речевого процессора кох-

леарного импланта).

Разумеется, индукционные системы имеют и некоторые ограничения по сравнению с устройствами, использующими другие методы передачи звука (беспроводную передачу звука по ЧМ-каналу или инфракрасную передачу):

- дальность передачи сигнала ограничивается зоной охвата системы и мощностью усилителя, питающего излучающую катушку
- в индукционных системах только один канал передачи, поэтому их нельзя использовать для одновременной трансляции на нескольких языках.

В итоге выбор оптимального способа передачи звука зависит от того, какие задачи необходимо решить в первую очередь. Там, где можно использовать различные виды передачи звука, применять индукционные системы более логично и выгодно. Помимо стоимости, они выигрывают также с точки зрения ком-

форта и удобства. Важным доводом для руководителей общественных зданий может стать и тот аргумент, что когда в помещениях установлены индукционные системы, посетителей не нужно обеспечивать дополнительными аксессуарами (например, ЧМ-приемниками или наушниками), а по окончании визита собирать их и дезинфицировать либо заменять на новые, не бывшие в употреблении.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Гавриков Микросхемы NxH2280 для беспроводной технологии NFMI – там, где Bluetooth бессилён. – [https://www.terraelectronics.ru/news\\_utr.php?ID=223&utm\\_campaign=UNITERA-552&utm\\_source=Sendsay&utm\\_medium=email&utm\\_content=20161114](https://www.terraelectronics.ru/news_utr.php?ID=223&utm_campaign=UNITERA-552&utm_source=Sendsay&utm_medium=email&utm_content=20161114).

2. Борьба за беспроводное будущее [http://www.istokaudio.com/special/articles\\_for\\_specialists\\_in\\_t/detail.php?ID=2184](http://www.istokaudio.com/special/articles_for_specialists_in_t/detail.php?ID=2184).

3. <http://www.cannice.com/en/product-details-114.html>.

4. <https://community.nxp.com/servlet/JiveServlet/downloadBody/331587-102-1-267335/MHW-N1979%20Designing%20NFMI-based%20Wireless%20Earphones%20with%20Hearables%20Application%20Development%20Kit%201.0.pdf>.

5. <https://community.nxp.com/servlet/JiveServlet/downloadBody/331726-102-1-267476/FTF-MHW-N1979%20Designing%20NFMI-based%20Wireless%20Earphones%20with%20Hearables%20Application%20Development%20Kit%201.0.pdf>

6. [http://www.csr.com/sites/default/files/csr8670\\_bga\\_technical\\_overview.pdf](http://www.csr.com/sites/default/files/csr8670_bga_technical_overview.pdf).

7. [https://media.sivantos.com/siemens-website/media/2014/11/2014\\_09\\_e2e-energy-efficient-inter-aural-audio-transmission.pdf](https://media.sivantos.com/siemens-website/media/2014/11/2014_09_e2e-energy-efficient-inter-aural-audio-transmission.pdf) e2e 3.0

– energy efficient inter-aural audio transmission.

8. Телефонная катушка в слуховых аппаратах – польза или прихоть? – [http://www.istokaudio.com/special/articles\\_for\\_specialists\\_in\\_t/detail.php?ID=7288](http://www.istokaudio.com/special/articles_for_specialists_in_t/detail.php?ID=7288).



## RPxx-RW – DC/DC-преобразователи с выходной мощностью 75...240 Вт для систем повышенной надежности

Малые габаритные размеры, высокий КПД, соответствие стандартам UL-60950, EN50155 и EN60950 – основные требования к оборудованию железнодорожного транспорта, которым отвечают преобразователи серий RPxx-RW.

Преобразователи RPxx-RW рассчитаны на работу в диапазоне температур от **-40 до 85 °С без снижения выходной мощности**

RPxxH-RW



RPxxQ-RW



Преобразователи серий RP75H-RW, RP90Q-RW, RP100H-RW, RP120Q-RW, RP180H-RW и RP240H-RW имеют базовое основание с крепежными отверстиями для применения в оборудовании, подверженному воздействию значительных вибраций

- КПД до 93%
- входное напряжение 24 (9...36), 48 (18...75), 110 (43...160) В
- выходное напряжение 5, 12, 15, 24 или 48 В



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

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

## Содержание журнала ЭКИС за 2016 г. Contents of Journal in 2016

*Перечень содержит все статьи и краткие сообщения, опубликованные в 2016 году. Публикации сгруппированы по рубрикам и расположены в порядке возрастания номера страницы (числитель дроби) и номера журнала (знаменатель дроби).*

### В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

<p><b>М. Паччигар</b> <i>ИМС многоканальных АЦП и их преимущества по сравнению с одноканальными аналогами</i> .....3/1</p>	<p><b>Б. Жанг, А. Буда</b> <i>Аналоговый интерфейс для термометров сопротивления</i> ..... 7/2</p>
<p><b>Я. Биверс</b> <i>Быстродействующий АЦП с цифровым понижающим преобразователем частоты</i> ..... 7/1</p>	<p><b>Д. Бучанан</b> <i>Вносит ли искажения встроенный в АЦП цифровой понижающий преобразователь частоты?</i> ..... 9/2</p>
<p><b>Г. Манганаро, Д. Робертсон</b> <i>Многоканальные АЦП с чередующимися выборками</i> ..... 9/1</p>	<p><b>М. Усач</b> <i>Как рассчитать погрешность смещения нуля и входной импеданс АЦП с входным драйвером на основе усилителя с прерыванием</i> ..... 11/2</p>
<p><b>Дж. Браянт</b> <i>Особенности работы с опорными источниками</i> ..... 12/1</p>	<p><b>У. Джамохан</b> <i>Особенности применения АЦП с выборкой для сигналов радиочастотного диапазона</i> .... 13/2</p>
<p><b>Дж. Браянт</b> <i>Что может произойти, если в проектируемых изделиях используют менее дорогие компоненты взамен рекомендованных</i> ..... 13/1</p>	<p><b>Т. Коллинз</b> <i>Как выбрать резистор обратной связи операционного усилителя</i> ..... 19/2</p>
<p><b>Я. Биверс</b> <i>Какой фильтр применять в инерциальной измерительной системе – КИХ фильтр или фильтр Калмана?</i> ..... 14/1</p>	<p><b>Г. Кастро</b> <i>Почему полоса пропускания ОУ для сигнала низкого уровня шире полосы пропускания сигналов большой амплитуды</i> ..... 21/2</p>
<p><b>Д. Толентино, С. Херера</b> <i>Прецизионный преобразователь несимметричного сигнала в симметричный с регулировкой выходного динамического диапазона</i> ..... 17/1</p>	<p><b>Д. Браянт</b> <i>Как поступать с неиспользуемыми выводами ИМС</i> ..... 22/2</p>
<p><b>Г. Кастро</b> <i>Как измерить и оценить коэффициент ослабления синфазного сигнала усилителя</i> ..... 19/ 1</p>	<p><b>Д. Бартон</b> <i>Как правильно выбрать прецизионный усилитель</i> ..... 3/3</p>
<p><b>П. О'Салливан</b> <i>Аналоговые ключи с встроенной защитой от перенапряжения</i> ..... 3/2</p>	<p><b>Д. Браянт</b> <i>Что может "убить" вашу микросхему?</i> .... 4/3</p>
	<p><b>Д. Босворз</b> <i>Перспективы создания multifunctional ИМС</i> ..... 6/3</p>
	<p><b>Я. Биверс</b> <i>Как можно точно измерять крен электронным инклинометром?</i> ..... 8/3</p>

В. Лиано, Л. Орозко Системы тестирования литий-ионных аккумуляторов большой емкости ..... 10/3	В. Макаренко Новые стабилизаторы с малым падением напряжения и сверхнизким уровнем шума компании Analog Devices ..... 39/2
К. Слаттери, К. Ли Электромагнитные измерители скорости потока жидкости ..... 15/3	В. Охрименко Малогабаритный понижающий преобразователь с выходным током 10 А ..... 22/3
Я. Биверс Обработка широкополосных сигналов в аэрокосмических и военных системах ... 19/3	В. Охрименко Блоки питания и зарядные устройства компании Mean Well мощностью 1.6 кВт ... 4/3
С. Хант 11 мифов об анализе аналоговых шумов ..... 3/4	В. Макаренко Контроллер синхронного DC/DC-преобразователя с технологией расширения спектра ..... 40/4
М. Усач, Дж. Мора-Пучалт Особенности применения PGA-усилителей с емкостным входом ..... 7/4	<b>КОМПОНЕНТЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b>
Т. Зарола Инновационные технологии в системах дистанционного мониторинга состояния здоровья ..... 11/4	В. Охрименко Компоненты двойного назначения ..... 43/2
У. Джаямохан Многодиапазонные приемники с быстродействующими АЦП (часть 1) ... 16/4	В. Охрименко Компоненты двойного назначения компании Analog Devices ..... 45/2
<b>ГЕНЕРАТОРЫ</b>	В. Охрименко Электролюминесцентные дисплеи компании BENEQ для жестких условий эксплуатации ..... 48/2
В. Макаренко Генераторы Microsemi с синхронизацией от GPS ..... 46/3	В. Охрименко Высоконадежные DC/DC-преобразователи компании Interpoint ..... 53/2
В. Макаренко Тактовые генераторы с малым джиттером для высокочастотных АЦП и ЦАП ..... 48/4	В. Охрименко Высоконадежные блоки питания компании Gaia ..... 56/2
<b>ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ</b>	В. Охрименко Компоненты двойного назначения компании ADI: ADA4077-2S ..... 44/3
В. Охрименко Блоки питания компании Mean Well ..... 22/1	В. Охрименко Микросхемы для жестких условий эксплуатации ..... 31/4
В. Охрименко Использование DC/DC ADP2370 в качестве драйвера светодиодов ..... 28/1	<b>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ</b>
В. Охрименко Новые драйверы светодиодов и блоки питания компании Mean Well: HLG-320H-C, RPS-120 ..... 23/2	НМС7357: арсенид-галлиевый СВЧ-усилитель ..... 55/1
В. Макаренко Оценка эффективности использования синхронного выпрямителя путем моделирования в NI Multisim ..... 28/2	Цифровые температурные сенсоры высокой линейности ..... 57/1
В. Макаренко О выборе параметров DC/DC-преобразователей с накачкой заряда ..... 33/2	В. Макаренко Новые DC/DC-преобразователи мощностью 25 Вт серии MFK для тяжелых условий эксплуатации ..... 58/1
	Новое промышленное реле Omron с тестовым переключателем ..... 61/1
	Малогабаритные разъемы 369 серии для крепления на панелях ..... 63/1

Взрывозащищенные сирены компании  
Cortem Group ..... 62/2

Новые DC/DC-преобразователи компании  
RECOM ..... 64/2

Новые светодиоды компании CREE ..... 59/3

Слияние компаний Analog Devices  
и Linear Technology ..... 61/3

Источники питания Mean Well для  
архитектурной и ландшафтной  
светодиодной подсветки ..... 62/3

Высоковольтный безындуктивный  
двухканальный понижающий  
преобразователь от Linear Technology ... 64/3

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

В. Макаренко  
Выбор параметров моделирования и инстру-  
ментов анализа в NI Multisim ..... 52/3

В. Макаренко  
О некоторых особенностях моделей компо-  
нентов различных версий NI Multisim .... 56/3

### НОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

И. Обалдиа, Дж. Френила

Многофункциональный биполярный ЦАП  
с высоким разрешением ..... 51/1

### НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В. Охрименко  
Мощные нитрид-галлиевые транзисторы  
(GaN) компании EPC ..... 30/1

В. Макаренко  
Новые технологии от Analog Devices  
для построения мультимедийных систем  
автомобиля ..... 36/1

В. Макаренко  
Технологии беспроводной передачи звуковых  
сигналов ..... 55/4

### ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

В. Охрименко  
Высокоэффективные светодиоды  
XLAMP XP-G3 компании CREE ..... 29/3

В. Охрименко  
Светодиодная оптика компании Ledil ... 20/4

### ШКАФЫ И КОРПУСА

В. Макаренко  
Системы защиты IT-инфраструктуры на  
физическом уровне от Rittal ..... 44/1

### ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

В. Охрименко  
Ограничители напряжения: TVS-диоды .. 33/3

### Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!

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

Содержание журналов доступно на сайте <http://www.ekis.kiev.ua/archive.php>.

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

# ОФИСНЫЙ ЦЕНТР VD MAIS

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

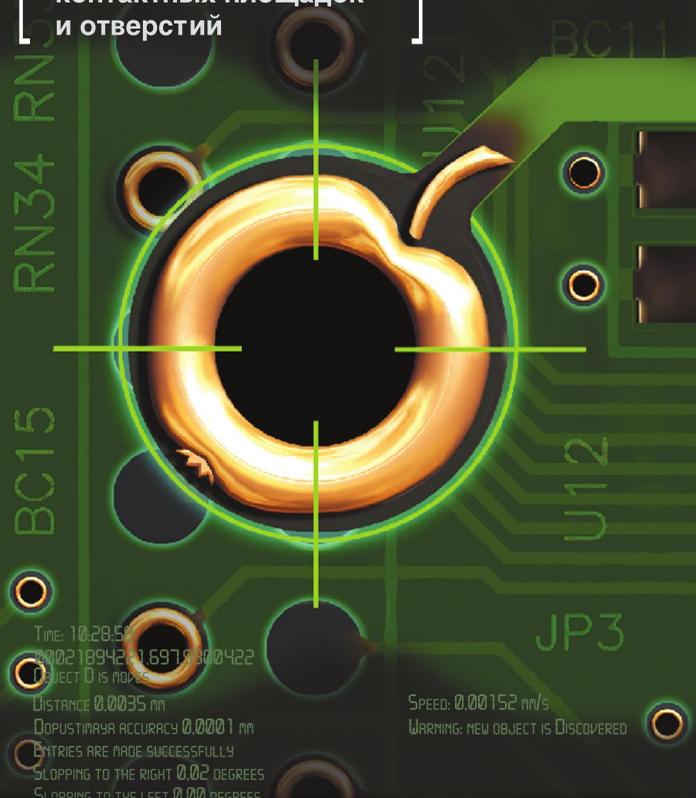
К Вашим услугам современный конференц-зал площадью 300 кв.м, рассчитанный на 250 мест, который идеально подходит для проведения тренингов, семинаров и конференций. Для ведения деловых встреч имеются комнаты для переговоров. Офисный центр расположен в живописном парке "Отрадный". Зал оборудован мультимедийным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



**VD MAIS**  
The Professional Distributor

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

Идеальное совмещение  
контактных площадок  
и отверстий

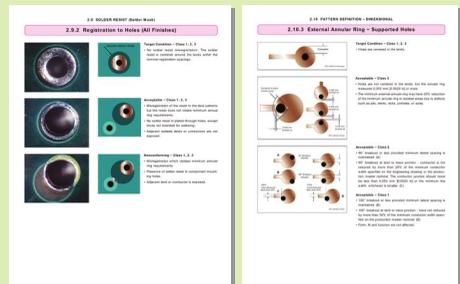


## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

■ 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, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmais.ua, www.vdmais.ua

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

## НПФ VD MAIS

### Центральный офис:

**03061 Киев**  
ул. М. Донца, 6  
Тел.: (+38-044) 220-0101, 492-8852  
Факс: (+38-044) 220-0202  
E-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua)  
[http:// www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

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

### Региональные представительства:

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

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

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

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

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