

### LTspice® XVII

### В номере:

- Мониторинг здоровья в домашних условиях
- MUSIC-алгоритм обработки для измерения частоты сердечных сокращений
- TimerBlox – многофункциональные микросхемы таймеров Linear Technology
- Разновидности драйверов светодиодов
- LED-драйверы с беспроводным управлением
- Спектральная плотность шума или новая метрика для АЦП
- **Программа моделирования электронных схем LTspice**
- Использование технологии A2B от Analog Devices
- Особенности технологии высокоскоростной передачи данных MulteFire



## Осциллографы смешанных сигналов MSO серии 5

### Основные характеристики:

- самый большой в отрасли сенсорный дисплей 15.6 дюйма, разрешающая способность 1920x1080 точек
- интерфейс пользователя, позволяющий управлять режимами работы жестами на экране
- наличие универсальных входов FlexChannel™, каждый из которых позволяет измерять один аналоговый или восемь цифровых сигналов
- число анализируемых аналоговых сигналов до 8, цифровых – до 64
- 12-разрядный АЦП для измерения параметров аналоговых сигналов (16-разрядный при частоте дискретизации менее 125 МГц)
- частота дискретизации до 6.25 ГГц
- полоса частот исследуемых сигналов до 2 ГГц в режиме реального времени (в режиме интерполяции эквивалентная частота 500 ГГц).

- объем памяти для записи отсчетов 62.5 миллиона ячеек (в каждом канале)
- быстрая запись в сегментированную память (более 5 миллионов осциллограмм в секунду)
- 36 видов измерений
- встроенный генератор сигналов произвольной формы
- встроенный 4-разрядный цифровой вольтметр
- анализ сигналов в последовательных шинах интерфейсов I<sup>2</sup>C, SPI, RS-232/422/485/UART, CAN, CAN FD, LIN, FlexRay, USB 2.0, Ethernet, I<sup>2</sup>S, LJ, RJ, TDM, MIL-STD-1553
- интерфейсы внешних устройств: 7 портов USB Host. 1 порт USB Device, Ethernet (10/100/1000 Base-T Ethernet; LXI Compliant), Display Port, DVI-D, Video Out

**Tektronix**<sup>®</sup>  
Enabling Innovation

www.tektronix.com



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

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

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ  
И СИСТЕМЫ**

 2018 январь-март  
№ 1 (221)

 МАССОВЫЙ  
НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

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

 Зарегистрирован  
Министерством информации  
Украины 24.07.96 г.  
Свидетельство о регистрации:  
серия КВ, № 2081Б  
Издается с мая 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) 492-8852, 220-0101

**Факс:** (0-44) 220-0202

**E-mail:** ekis@vdm.ais.ua

**Интернет:** www.vdm.ais.ua  
www.ekis.kiev.ua

**Адрес для переписки:**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6

**В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

В. Кшатри	
<b>Мониторинг здоровья в домашних условиях.....</b>	<b>3</b>
Дж. – Г. Броедерс	
<b>GEN II – носимый монитор здоровья компании</b>	
<b>Analog Devices .....</b>	<b>5</b>
Ф. Форузан	
<b>MUSIC-алгоритм обработки фотоплетизмографических</b>	
<b>сигналов для измерения частоты сердечных сокращений ....</b>	<b>7</b>
П. Делос, Дж. Линер	
<b>Сверхбыстрый коммутируемый усилитель мощности</b>	
<b>на основе технологии нитрида-галлия.....</b>	<b>10</b>
В. Котигорошко	
<b>TimerBlox – многофункциональные микросхемы таймеров</b>	
<b>Linear Technology .....</b>	<b>12</b>
В. Котигорошко	
<b>SPI-интерфейс по двухпроводной изолированной шине ....</b>	<b>14</b>

**ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**

М. Линч	
<b>Высокоточный источник опорного напряжения .....</b>	<b>16</b>
В. Котигорошко	
<b>Разновидности драйверов светодиодов .....</b>	<b>19</b>
В. Котигорошко	
<b>LCM-40EO: LED-драйверы с беспроводным управлением ....</b>	<b>22</b>
В. Котигорошко	
<b>Мощные низкопрофильные источники питания UHP-500 ....</b>	<b>26</b>

**АЦП И ЦАП**

М. Паччигар	
<b>Новое семейство АЦП для работы</b>	
<b>с высокопроизводительными драйверами .....</b>	<b>29</b>
Я. Биверс	
<b>Спектральная плотность шума или новая метрика для АЦП ..</b>	<b>31</b>

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

В. Макаренко	
<b>Программа моделирования электронных схем LTspice</b>	
<b>от Linear Technology, часть 2.....</b>	<b>36</b>

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В. Макаренко, А. Ярош	
<b>Использование технологии A2B от Analog Devices для построения</b>	
<b>многоканальных систем звуковоспроизведения .....</b>	<b>49</b>

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

В. Макаренко, Д. Фалев	
<b>Особенности технологии высокоскоростной передачи данных</b>	
<b>MulteFire .....</b>	<b>55</b>
Д. Босворт	
<b>Военная связь и обеспечение ее безопасности.....</b>	<b>61</b>
Г. Мерфи	
<b>Интернет вещей: что дальше .....</b>	<b>63</b>

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

ASK THE APPLICATIONS ENGINEER

V. Kshatri  
**Integrated Home Health Monitoring** ..... 3  
 Jan-Hein Broeders  
**The sensors Behind the GEN II Wearable Device**..... 5  
 F. Foroozan  
**MUSIC-Based Algorithm for On-Demand Heart Rate Estimation Using Photoplethysmographic (PPG) Signal on Wrist** ..... 7  
 P. Delos, J. Liner  
**Unique Gate Drive Application Enable Rapidly Switching On/Off for Your High Power Amplifier** ..... 10  
 V. Kotigoroshko  
**TimerBlox is a family of silicon timing devices** ..... 12  
 V. Kotigoroshko  
**isoSPI isolated communications interface** ..... 14

POWER SUPPLIES

M. Lynch  
**High Precision Voltage Source** ..... 16  
 V. Kotigoroshko  
**Different LED drivers** ..... 19  
 V. Kotigorozko  
**Wireless LED drivers LCM-40EO** ..... 22  
 V. Kotigoroshko  
**Power supplies UHP-500** ..... 26

ADC and DAC

M. Pachchigar  
**Pin-Compatible, High Input Impedance ADC Family Enables Ease of Drive and Broadens ADC Driver Selection** ..... 29  
 I. Beaver  
**Noise Spectral Density: A New ADC Metric?** ..... 31

MODELING ELECTRONIC DEVICES

V. Makarenko  
**The software for modeling electronic circuits LTspice from Linear Technology, part 2** ..... 36

NEW TECHNOLOGY

V. Makarenko, A. Yarosh  
**The use of technology A2B from Analog Devices for multichannel sound systems** ..... 49

TELECOMMUNICATION

V. Makarenko, D. Falev  
**Technology features of high-speed data transfer MulteFire** 55  
 D. Bosworth  
**Military communications and RF Security** ..... 61  
 G. Murphy  
**Internet of Things (IoT): What Next** ..... 63



**ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS**  
 January-March 2018  
 No. 1 (221)

Scientific and Technical Journal

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

**Director**  
 V.A. Davidenko

**Head Editor**  
 V.A. Romanov

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

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

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



# МОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ \*

## INTEGRATED HOME HEALTH MONITORING

В статье рассмотрена система мониторинга здоровья в домашних условиях.

В. Кшатри

Abstract - It is introduced an integrated health monitoring system in the article.

V. Kshatri

В последние годы резко ускорилось старение населения, увеличилось число хронических больных, возросла стоимость медицинских услуг. Эта тенденция сохранится в ближайшие годы и к 2030 году согласно прогнозам треть населения земного шара будет старше 65 лет, причем 40% из них будут нуждаться в постоянной медицинской помощи. Без этой помощи независимое существование таких больных будет проблематичным. Поэтому для них необходима специальная среда существования, которая характеризуется постоянным мониторингом жизненно важных параметров хронического больного. В такой среде пожилые люди, страдающие хроническими болезнями, могут продолжительное время находиться без постоянной помощи, а в случае необходимости своевременно ее получать. Постоянный контроль медицинского персонала за состоянием пациента повышает эффективность лечения. Развитие микроэлектроники на современном этапе позволяет упростить и удешевить подобные

мониторы здоровья, сделать их доступными для широких слоев населения. В настоящей публикации рассмотрены особенности построения таких мониторинговых систем.

В современных мониторах здоровья в настоящее время широко используются телеметрические системы видеонаблюдения. Эти системы следят за движением и положением пациента, активностью их поведения. Они состоят из оптической системы видеонаблюдения с предобработкой; системы обработки данных, анализирующей поведение больного: спит ли он, или произошло падение пациента и т.п. Данные в реальном времени поступают в «облачную» платформу для подсказки медперсоналу о необходимости оказать квалифицированную и своевременную помощь пациенту. Структура такой системы приведена на рис. 1.

Мониторинговые системы должны отличаться высокой надежностью аппаратных и программных средств, а также информационной безопасностью.

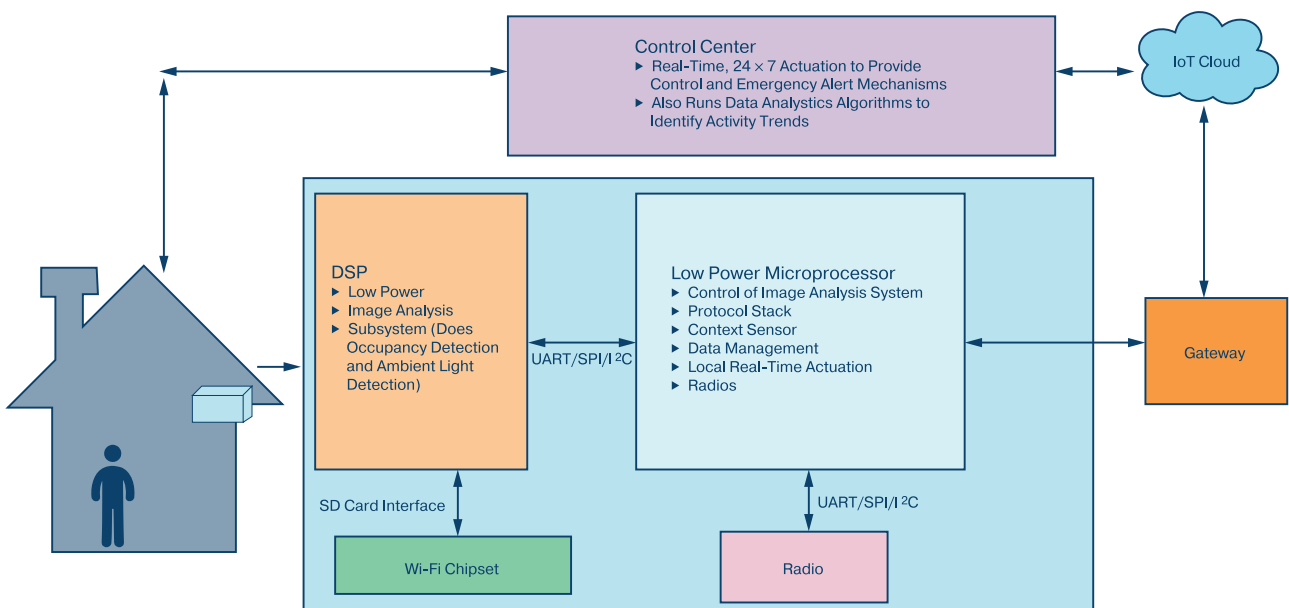


Рис. 1. Структура системы мониторинга за состоянием здоровья пациента в домашних условиях

\* Kshatri V. *Integrated Home Health Monitoring*. [www.analog.com](http://www.analog.com). Technical articles. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

Время отклика таких систем или переход в режим тревоги должно быть минимальным. Отметим, что надежная работа таких систем не должна зависеть от различного рода механических воздействий.

Для поддержки работы системы видеонаблюдения компания Analog Devices разработала BLIP-платформу на основе сигнального процессора семейства Blackfin (ADSP-BFxxx), отличающегося невысокой стоимостью, низким потреблением и работающего в реальном времени. Подробно с этой платформой можно ознакомиться в сети Интернет по адресу: [www.analog.com/blip](http://www.analog.com/blip).

В 2016 году компания Analog Devices представила изготовленную в виде наручных часов систему слежения за основными жизненными показателями пациента (рис. 2). Часы содержат несколько модулей расположенных на материнской плате, под управлением разработанного компанией Analog Devices микроконтроллера с ядром Cortex-M3 ADuCM302x. В составе часов имеется приемопередатчик с частотой 2.4 ГГц, фотометрический узел ADPD103 с тремя зелеными светодиодами и фото-



**Рис. 2. Встроенный в часы монитор здоровья GEN II производства компании Analog Devices**

диодом, а также трехосный акселерометр ADXL362.

Фотометрический узел измеряет частоту сердечных сокращений и уровень насыщенности крови кислородом. Структурная схема встроенного в часы монитора жизненноважных показателей здоровья приведена на рис. 3.

Встроенный в наручные часы монитор здоровья, как уже отмечалось, имеет малое потребление:

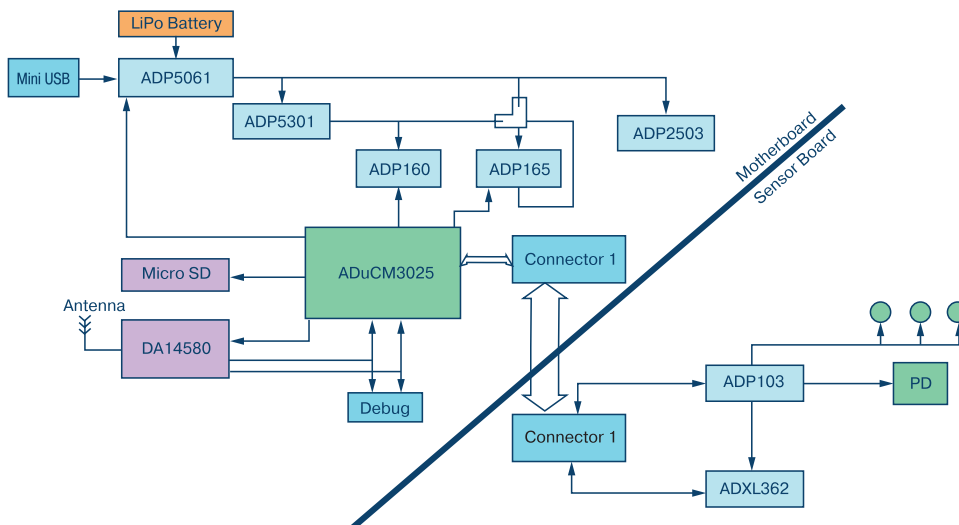
- микроконтроллер ADuCM3027 при максимальной тактовой частоте потребления 57 мкА
- трехосный акселерометр ADXL362 потребляет 2 мкА
- общее потребление фотометрического узла на основе микросхемы ADPD103 составляет не более 563 мкА.

Отсюда общее потребление часов составляет не более 622 мкА, что гарантирует длительный интервал времени работы без подзарядки аккумуляторной батареи.

### ВЫВОДЫ

1. Носимые мониторы здоровья с встроенным приемопередатчиком позволяют уменьшить риск значительного ухудшения состояния хроническим больным и людям преклонного возраста.

2. Компания Analog Devices разработала встроенный в наручные часы монитор жизненноважных показателей здоровья, которые с помощью приемопередатчика могут передаваться в удаленные медицинские центры. Таким образом, обеспечивается постоянный контроль состояния здоровья хронических больных.



**Рис. 3. Структурная схема монитора здоровья GEN II**

# GEN II – НОСИМЫЙ “МОНИТОР ЗДОРОВЬЯ” КОМПАНИИ ANALOG DEVICES \*

В статье рассмотрены основные особенности встроенного в наручные часы “монитор здоровья” GEN II.

Abstract - The main features of medical monitor GEN II are considered in the article.

Дж. – Г. Бродерс

Jan-Hein Broeders

Встроенный в наручные часы “монитор здоровья” GEN II компании Analog Devices предназначен для непрерывного измерения таких жизненно важных показателей как ЭКГ, частота сердечных сокращений, импеданс кожного покрова, положение и степень активности пациента, а также температуры тела. Отметим, что устройство может быть, кроме того, встроено в пояс, расположенный на грудной клетке пациента. Устройство GEN II выполнено на двух печатных платах, расположенных одна над другой. Основная печатная плата содержит микроконтроллер с малым потреблением, приемопередатчик, блок питания с цепью заряда. Дополнительная плата включает все необходимые сенсоры.

Оптический плетизмограф построен на базе ИМС ADPD107, структурная схема которой приведена на рис.1. ИМС ADPD107 управляет светодио-

дами и с помощью фотоприемника измеряет сигналы отклика. Входные цепи этой ИМС построены на основе трансимпедансных усилителей с четырехшаговым программируемым коэффициентом усиления.

Для ослабления влияния внешнего светового потока используется полосовой фильтр. Следующий за фильтром интегратор обеспечивает синхронную демодуляцию сигналов по всем каналам. Если в ослаблении внешнего светового потока нет необходимости (в случае когда GEN II находится под одеждой), фильтр и интегратор не используются. В оптическом блоке фиксируются световые импульсы, которые формируются тремя светодиодами, источники тока для питания которых управляются программно. Длительность световых импульсов находится в пределах от 2 до 3 мкс. АЦП кодирует ответ-

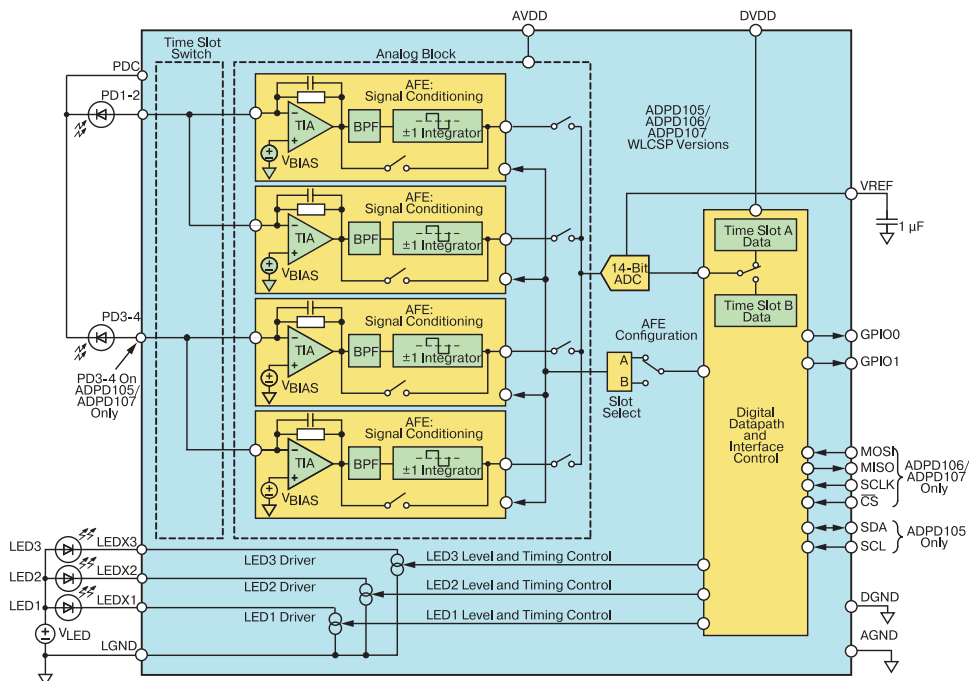
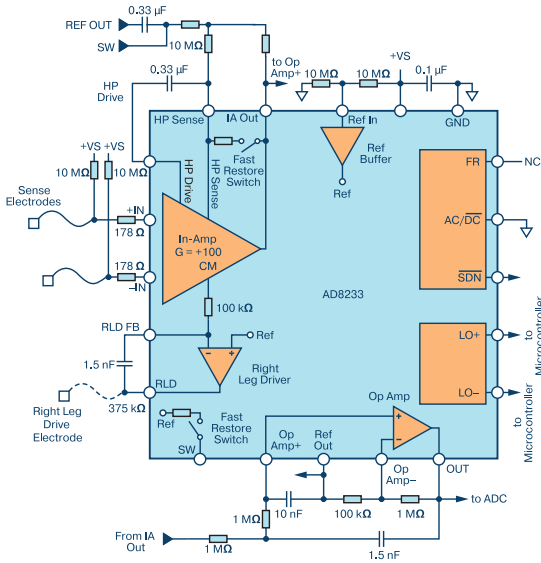


Рис. 1. Структура оптического блока ADPD105/ADPD106/ADPD107

\* Broeders Jan-Hein. The sensors Behind the GEN II Wearable Device. [www.analog.com/technical/articles](http://www.analog.com/technical/articles). Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

ную реакцию в форме импульсов на выходе фотодиодов. В оптическом узле используются два зеленых и один красный светодиода. Биопотенциалы измеряются с помощью двух ИМС AD8233 (рис. 2), предназначенных для съема кардиосигналов с электродов, расположенных на поверхности тела пациента.



**Рис. 2. Структурная схема интерфейса AD8233 для кардиосигналов**

Эти ИМС усиливают и фильтруют сигналы биопотенциалов. С выхода AD8233 усиленные кардиосигналы поступают на вход 12-разрядного АЦП AD7689. На тыльной стороне устройства GEN II находятся два электрода, предназначенные для измерения импеданса поверхности кожи. Изменения импеданса кожи дают представление об эмоциональной нагрузке на пациента. Подобно радиосигналам эти сигналы тоже кодируются АЦП AD7689. Комплексный импеданс вычисляется контроллером ADuCM3029.

Отметим, что все жизненно важные параметры должны быть оценены с учетом активности пациен-

та, т.е. находится ли он в движении или в покое. Для контроля активности пациента в составе GEN II имеется трехосный акселерометр ADXL362 с встроенным 12-разрядным АЦП.

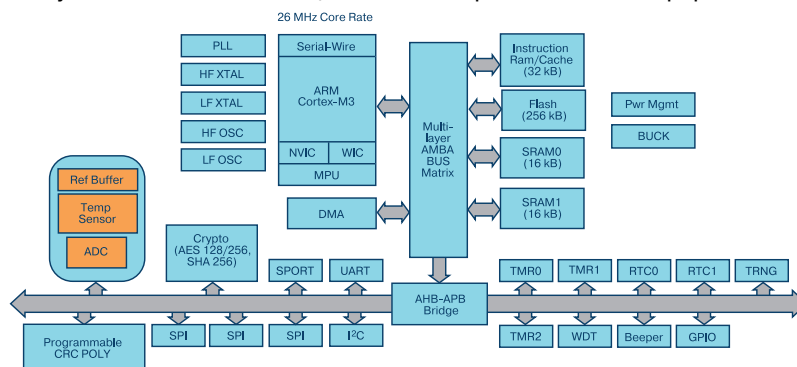
Температура тела пациента измеряется двумя встроенными в GEN II сенсорами, выходные сигналы которых кодируются 16-разрядным АЦП.

Отметим, что в GEN II имеется два микроконтроллера ADuCM3029 (рис. 3). Один – вместе с приемопередатчиком находится на основной печатной плате, другой – вместе с сенсорами на дополнительной плате. Оба микроконтроллера используются не только для обработки жизненно важных параметров, но и для обеспечения информационной безопасности передаваемых данных.

Новое изделие компании Analog Devices имеет широкий спектр применений. С помощью GEN II можно измерять кровяное давление путем обработки пульсовой волны. При этом не требуется применять традиционную манжету. Не вызывает сомнений целесообразность применения “монитора здоровья” людьми преклонного возраста, что позволяет им вести активный образ жизни, постоянно находясь при этом под контролем медицинского персонала.

### ВЫВОДЫ

1. Компания Analog Devices разработала носимый “монитор здоровья”, который имеет множество применений.
2. Наличие в мониторе датчиков для измерения важных показателей организма пациента позволит в кооперации с медицинскими учреждениями существенно расширить диапазон возможных применений нового устройства.
3. Компания Analog Devices приглашает к сотрудничеству по разработке новых алгоритмов и программ для монитора здоровья GEN II все заинтересованные организации. Напоминаем, что официальным представителем компании Analog Devices в Украине является фирма VD MAIS.



**Рис. 3. Структурная схема контроллера ADuCM3029**



# MUSIC-АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ \*

## MUSIC-BASED ALGORITHM FOR ON-DEMAND HEART RATE ESTIMATION USING PHOTOPLETHYSMOGRAPHIC (PPG) SIGNAL ON WRIST

В статье рассмотрены MUSIC-алгоритмы для измерения частоты сердечных сокращений за счет обработки фотоплетизмографических сигналов (PPG), снимаемых с запястья.

**Abstract -** This article adapts the multiple signal classification (MUSIC) frequency estimation algorithms for on-demand heart rate (HR) estimation using photoplethysmographic (PPG) signals from the wrist.

Ф. Форузан

F. Foroozan

Как полагают ученые, через несколько десятилетий наши внуки не будут знать, что такое больница, так как все жизненно важные параметры будут сниматься сенсорами и оцениваться удаленным монитором. В умных апартаментах различные сенсоры будут измерять качество воздуха, температуру, уровень шума, атмосферное давление, интенсивность освещения и, исходя из самочувствия пользователя, параметры окружающей среды будут корректироваться. На рынке цифровой медицины компания Analog Devices занимает достойное место, благодаря своим сенсорам, контроллерам, программному обеспечению и специальным алгоритмам обработки данных.

Частота сердечных сокращений является одним из важнейших параметров человека. Этот параметр измеряется встроенными в одежду сенсорами, которые снимают PPG-сигналы (фотоплетизмографи-

ческие сигналы). Для этого светодиоды облучают поверхность кожи пациента, а фотоприемники измеряют изменения светового потока, которые вызваны пульсовыми волнами протекающей в сосудах крови. Таким образом частота сердечных сокращений оценивается с помощью PPG-сигналов. Однако точность измерения частоты сердечных сокращений существенно зависит от стабильности кровотока, внешнего светового потока и, что особенно важно, находится ли пациент в состоянии покоя или движения. Компания Analog Devices применяет для ослабления влияющих факторов специальные MUSIC-алгоритмы обработки сигналов, а также для оценки состояния пациента (находится ли он в покое или движении) используются трехосные акселерометры этой компании. Структура MUSIC-алгоритма для обработки PPG-сигналов приведена на рис. 1.

Как было отмечено, с помощью фотодиода из-

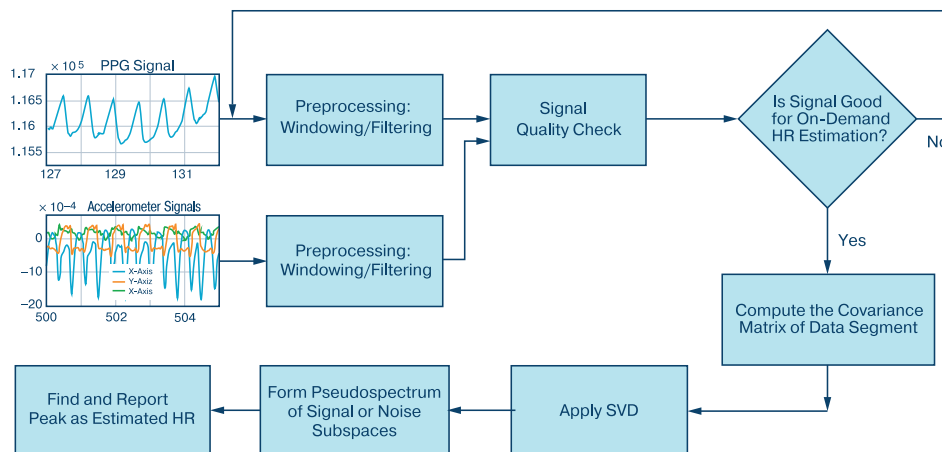
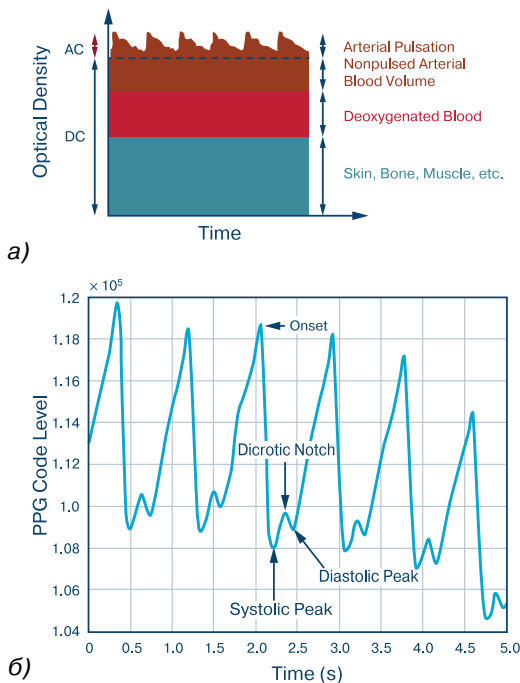


Рис. 1. Блок-схема MUSIC-алгоритма для оценки частоты сердечных сокращений по PPG-сигналам

\* Foroozan F. MUSIC-Based Algorithm for On-Demand Heart Rate Estimation Using Photoplethysmographic (PPG) Signal on Wrist. Analog Dialogue, 52-01, January, 2018. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

меряется пульс. Из-за пульсаций крови на его выходе формируется изменяющийся ток, который затем усиливается и фильтруется для последующей обработки. На рис. 2,а показана диаграмма PPG-сигнала, включающего переменную и постоянную составляющие. Постоянная компонента вызвана отражением светового потока кожей пациента, переменная – формируется кардиоциклом, который зависит от частоты сердечных сокращений. На рис. 2,б приведена диаграмма PPG-сигнала на выходе ИМС ADPD107, встроенной в наручные часы GEN II компании Analog Devices.

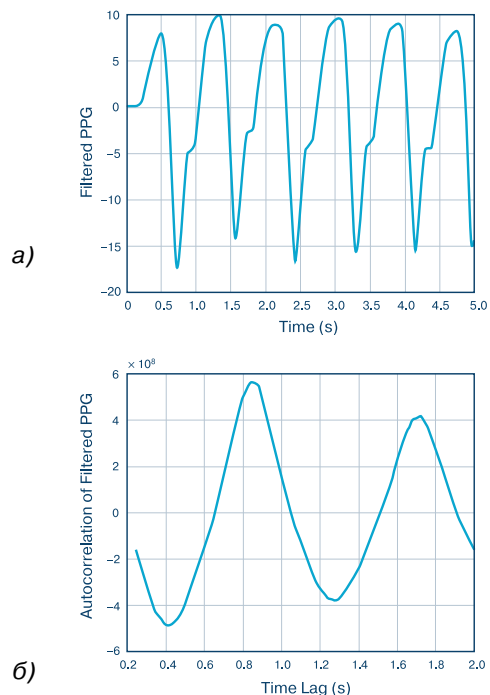


**Рис. 2. Типовая диаграмма PPG-сигнала (а) и диаграмма PPG-сигнала, снятая носимым устройством GEN II (б)**

В настоящей публикации основное внимание уделено фотоплетизмографу и акселерометру в составе наручных часов GEN II. Рассмотрим эквивалентность PPG-сигналов и волновой диаграммы кровяного давления. Волновая диаграмма формируется под воздействием выброса крови левым желудочком сердца. Изменение, которое претерпевает давление, можно представить в виде нескольких участков, обусловленных эластичностью и резистивными свойствами артерий. Первый участок диаграммы формируется соединением брюшной и грудной аорты. Он получил название систолического давления. Второй участок формируется соединением брюшной аорты и подвздошной артерии.

На этом участке происходит обратное отраже-

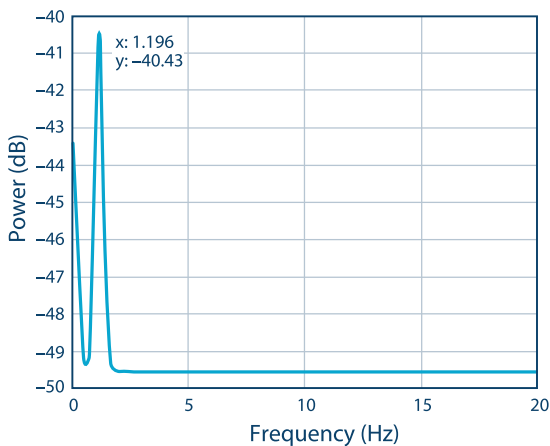
ние (dicrotic Notch, или дикротический зубец, рис. 2 б). Имеются и другие подобные участки, которые носят второстепенный характер, в нашем случае они сглажены фильтрами и не присутствуют на диаграммах. В рассмотренном алгоритме оценки частоты сердечного ритма эти выбросы не учитываются. Из-за слабого кровотока (который часто встречается у хронических пациентов) PPG-сигналы нуждаются в предпроцессорной обработке. Полосовой фильтр ослабляет как низкочастотные, так и высокочастотные компоненты за пределами полосы полезного сигнала. На рис. 3,а приведена диаграмма отфильтрованного PPG-сигнала. Разработанный MUSIC-алгоритм оценки частоты сердечных сокращений применяется на участке диаграммы PPG-сигнала, на котором влияние движения пациента (согласно показаниям трехосного акселерометра) минимально. Кроме того, в результате фильтрации на временной диаграмме может наблюдаться автокорреляция между оцениваемыми импульсами и значениями этих импульсов на фиксированном интервале времени, рис. 3,б. Поэтому сигналы с частотой ниже 30 Гц или выше 220 Гц не анализируются MUSIC-алгоритмом.



**Рис. 3. Типовая диаграмма PPG-сигнала (а) и диаграмма PPG-сигнала, снятая носимым устройством GEN II (б)**

Рассматриваемый в статье MUSIC-алгоритм основан на разделении пространства на сигнальное и шумовое и имеет лучшие по сравнению с другими

алгоритмами, в том числе преобразованием Фурье, результаты выделения сигнала из шума. Основная особенность MUSIC-алгоритма заключается в том, что шумовое пространство ортогонально к сигнальному пространству. Таким образом, с помощью этого алгоритма можно очистить сигналы в оцениваемой частотной области от шума. Аналитическое описание обработки сигналов в соответствии с MUSIC-алгоритмом, рассмотрено в оригинале настоящей статьи. В качестве примера на рис. 4 приведена выборка PPG-данных с помощью MUSIC-алгоритма. Острый пик наблюдается на частоте 1.96 Гц в окне с интервалом 5 с, что соответствует 117 сердечным сокращениям в минуту. В таблице приведены данные тестирования MUSIC-алгоритма для случая, когда пациент находится в состоянии покоя (первая строка) и для случая, когда пациент находится в движении (вторая строка). Число тестов в первом случае составило 1289, а во втором – 298, причем точность измерений в первом и во втором случае практически одинакова.



**Рис. 4. Выборка PPG-данных после обработки PPG-сигналов MUSIC-алгоритмом**


**Погрешность оценки частоты сердечных сокращений при обработке PPG-сигналов MUSIC-алгоритмом по результатам многократного тестирования**

Наименование параметра	Погрешность два сердечных сокращения в минуту	Погрешность пять сердечных сокращений в минуту
Оценка частоты сердечных сокращений для 1289 тестов; режим покоя	93,7 %	95,2 %
Оценка частоты сердечных сокращений для 298 тестов; режим движения	93,4 %	94,1 %

## ВЫВОДЫ

MUSIC-алгоритм, разработанный компанией Analog Devices для оценки жизненно важных параметров человека, позволяет эффективно использовать носимые медицинские приборы независимо от состояния или положения пациента в режиме съема и анализа данных.

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



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

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.  
**Цены – оптимальные.**

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

**VD MAIS**  
**Печатные платы**



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

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.  
**Цены – оптимальные.**

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

# СВЕРХБЫСТРЫЙ КОММУТИРУЕМЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НИТРИДА-ГАЛЛИЯ \*

Особенности коммутируемого усилителя мощности, выполненного на основе нитрида-галлия, рассмотрены в настоящей публикации.

П. Делос, Дж. Линер

## UNIQUE GATE DRIVE APPLICATION ENABLE RAPIDLY SWITCHING ON/OFF FOR YOUR HIGH POWER AMPLIFIER

Abstract – The features of GaN high power amplifier rapidly switching on/off are considered.

P. Delos, J. Liner



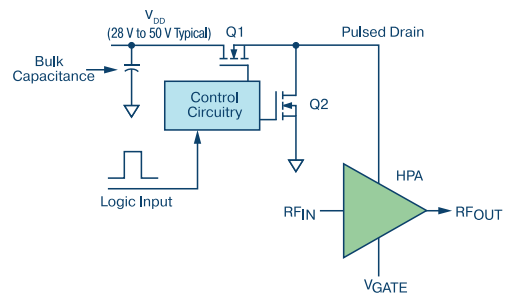
Вопрос разработчика: можно ли включать или выключать источник ВЧ-сигнала за время не более 200 нс?

Ответ: В импульсных радарх включение/выключение усилителя мощности должно происходить в интервале между передачей и приемом импульсного сигнала. Типовая длительность такого интервала составляет не более 1 мкс. Обычно процедура переключения мощного МОП-транзистора обеспечивается за счет управления его стоковой цепью, причем коммутация этой цепи, по которой протекает большой ток, происходит в диапазоне напряжений 28...50 В. Это достаточно сложная и громоздкая цепь коммутации, поэтому в современных антеннах с фазированной решеткой желательно отказаться от коммутации цепи стока мощного транзистора.

В настоящей публикации рассмотрены альтернативные и более простые методы коммутации цепей усилителя мощности без переключения в цепи стока мощного транзистора. Измеренное время коммутации составляет не более 200 нс. В дополнении к этому преимуществу следует отнести возможность программирования смещения, возникшего из-за разброса параметров усилителей от образца к образцу, защиту от ограничения при увеличении напряжения и компенсацию выбросов при оптими-

зации времени нарастания фронта импульса.

Типовая схема переключателя усилителя мощности на основе МОП-транзистора приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Традиционная схема управления усилителем мощности с помощью МОП-транзисторов**

Узел Control Circuitry предназначен для преобразования логических уровней в высоковольтные сигналы управления. Сложность реализации приведенной на рис. 1 схемы заключается в следующем:

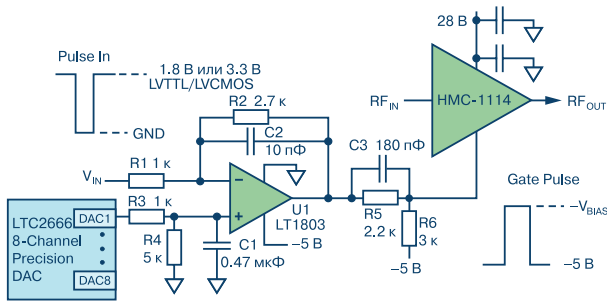
- переключение больших токов требует обеспечения минимальной индуктивности цепи “Bulk Capacitance – сток МОП-транзистора”
- в режиме выключения емкость стока заряжается и для ее разряда используется дополнительный транзистор Q2, что требует строгой синхронизации их работы
- если используется N-канальный МОП-транзистор, то для управления требуется напряжение, превышающее по уровню напряжения на его стоке.

Для упрощения рассмотренной схемы (рис. 1) могут быть использованы нитрид-галлиевые (GaN) усилители мощности типа HMC1114. Функциональная схема управления таким усилителем мощности приведена на рис. 2.

Операционный усилитель U1 предназначен для инвертирования сигнала управления. Прецизионный ЦАП LT2666 используется для формирования

\* Delos P., Liner J. Unique Gate Drive Application Enable Rapidly Switching On/Off for Your High Power Amplifier. Analog Dialogue, 51-12, December 2017. www.analog.com. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.





**Рис. 2. Схема управления усилителя мощности, выполненного по технологии нитрида-галлия**

опорного напряжения на инвертирующем входе ОУ U1. Если на вход  $V_{IN}$  поступит высокий логический уровень, ОУ зафиксирует на выходе уровень шины отрицательного напряжения. Если на входе ОУ низкий логический уровень, на его выходе сформируется отрицательное напряжение небольшой величины. Микросхема U1 является rail-to-rail усилителем, обеспечивающим быстрое нарастание выходного управляющего напряжения и соответствующий ток для управления усилителем мощности. Ниже приведено назначение элементов схемы (рис. 2):

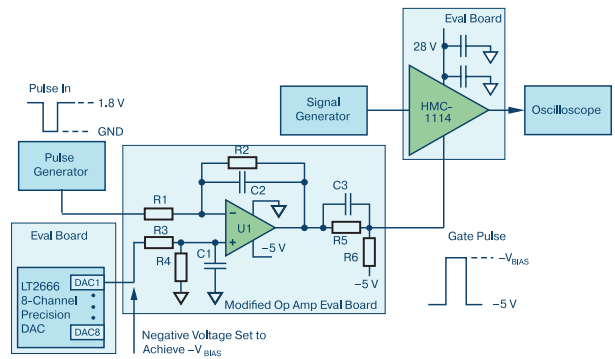
- R1, R2 – определяют значение коэффициента усиления ОУ U1
- ЦАП LTC2666 и резисторы R3, R4 формируют опорное напряжение на неинвертирующем входе U1. Кроме того, ФНЧ R3, C1 обеспечивает фильтрацию высокочастотных шумов
- R6 формирует уровень управляющего сигнала для усилителя мощности
- ускоряющая емкость C3 компенсирует эффект затягивания выходного напряжения усилителя из-за влияния резистора R5
- C2 ограничивает выбросы на выходе ОУ U1.

Тестирование схемы управления усилителем мощности обеспечивается схемой, приведенной на рис. 3.

Для реализации схемы управления усилителем мощности (рис. 2), использованы оценочные платы прецизионного ЦАП, ОУ и усилителя мощности HMC1114. Генератор импульсов предназначен для формирования логических импульсов амплитудой 1.8 В.

Осциллограмма включения усилителя мощности приведена на рис. 4, а выключения – на рис. 5. Как следует из этих осциллограмм, время нарастания выходного напряжения больше времени спада, но их сумма (цена деления 500 нс/дел) не превышает 200 нс.

Следует отметить, что при проектировании таких



**Рис. 3. Схема для тестирования скорости переключения усилителя мощности HMC1114, выполненного по технологии нитрида-галлия**



**Рис. 4. Осциллограмма включения усилителя**



**Рис. 5. Осциллограмма выключения усилителя**

устройств особое внимание необходимо уделить конструкции печатной платы.

## ВЫВОДЫ

Замена традиционных высокочастотных усилителей мощности усилителями, выполненными по технологии нитрида-галлия, обеспечивает высокую скорость управления такого усилителя в режиме переключения. При этом упрощается схема управления, уменьшаются ее размеры и потребляемая мощность.

# TIMERVLOX – МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ ТАЙМЕРОВ



## TIMERVLOX IS A FAMILY OF SILICON TIMING DEVICES

В статье рассматриваются специализированные таймеры семейства TimerBlox компании Linear Technology.

*Abstract* - This article introduces Linear Technology's TimerBlox family of silicon timing devices solved specific timing problems with minimal effort.

V. Котигорошко

V. Kotigoroshko

Универсальные таймеры семейства TimerBlox (LTC6990/1/2/3/4/5) компании Linear Technology благодаря своей многофункциональности ориентированы на применение в разных приложениях [1, 2]. Это малогабаритные программируемые генераторы, управляемые напряжением, линии задержки,

одновибраторы, низкочастотные и ШИМ-генераторы (рис. 1). Базовая структура таймеров семейства TimerBlox (LTC6990) приведена на рис. 2, варианты подключения микросхем LTC6990/2/5 – на рис. 3.

Микросхемы предназначены для работы в диапазоне температур -55...125 °C. Напряжение пита-

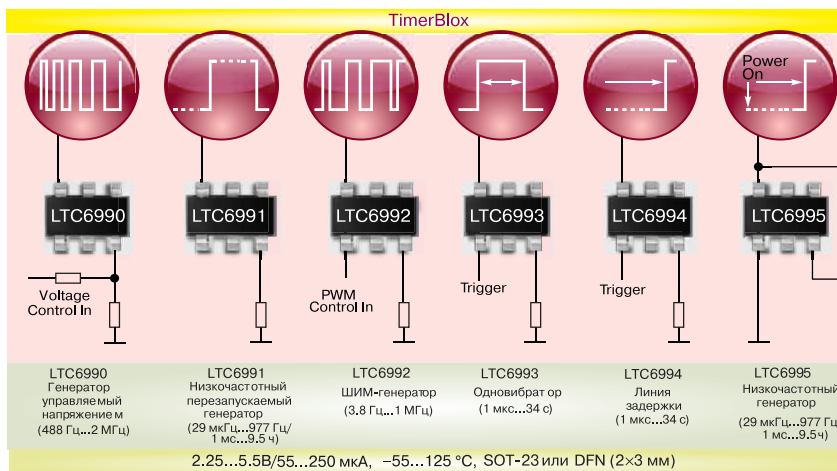


Рис. 1. Таймеры семейства TimerBlox

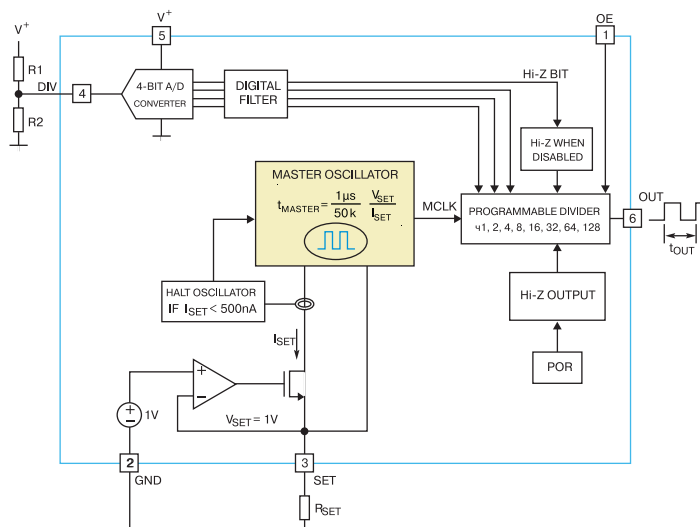
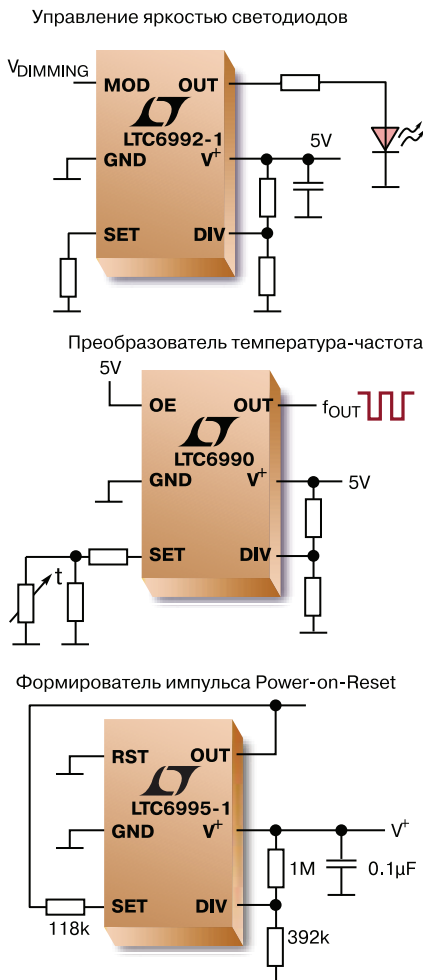


Рис. 2. Структура таймера LTC6990

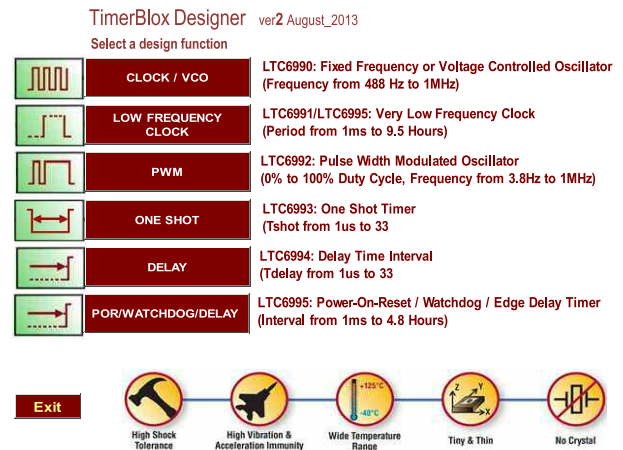


**Рис. 3. Варианты подключения микросхем LTC6990/2/5**

ния 2.25...5.5 В, типовой ток потребления 50...250 мкА, время старта 500 мс, выходной ток до  $\pm 20$  мА. Максимальная погрешность расчетного значения частоты в рабочем диапазоне температур не хуже  $\pm 2.2\%$  при сопротивлении резистора  $R_{SET}$  от 50 до 800 кОм (внешний резистор  $R_{SET}$  используется для установки частоты). Дрейф частоты в зависимости от температуры составляет  $\pm 0.005\%$ /°C. Типовая долговременная стабильность частоты не хуже 90 ppm/ $\sqrt{0.001}$  ч (LTC6990). Микросхемы изготавливаются в корпусах типа SOT-23 или DFN-6 (2x3 мм).

Чтобы упростить и ускорить процесс разработки устройств на базе таймеров семейства TimerBlox, компания Linear Technology предлагает использовать программный пакет TimerBlox Designer (MS Excel), который можно загрузить с web-сайта компании [3].

Применение этого пакета позволяет в автоматическом режиме генерировать схему подключения микросхем таймеров, а также значения компонен-



**Рис. 4. TimerBlox Designer (MS Excel)**

тов и временные диаграммы, иллюстрирующие работу устройств (рис. 4).

Универсальные таймеры TimerBlox предназначены для измерения временных интервалов, генерации импульсов с заданной частотой и длительностью и многого другого. Для создания малогабаритных законченных устройств требуется минимальное количество внешних компонентов.

Дополнительную информацию о таймерах серии TimerBlox компании Linear Technology можно найти в сети Интернет по адресу: <http://www.linear.com> или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе Linear Technology в Украине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. By Andy Crofts, Linear Technology. TimerBlox: function-specific ICs quickly and reliably solve timing problems ([www.linear.com](http://www.linear.com)).
2. Automotive & Transportation Solutions, High Performance Analog ICs ([www.linear.com](http://www.linear.com)).
3. <http://www.linear.com/docs/29652>.

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

# SPI-ИНТЕРФЕЙС ПО ДВУХПРОВОДНОЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ШИНЕ

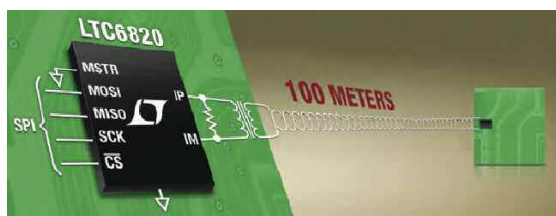
В статье рассматривается специализированная интерфейсная микросхема LTC6820 компании Linear Technology, обеспечивающая надежную передачу данных по двухпроводной изолированной шине.

В. Котигорошко

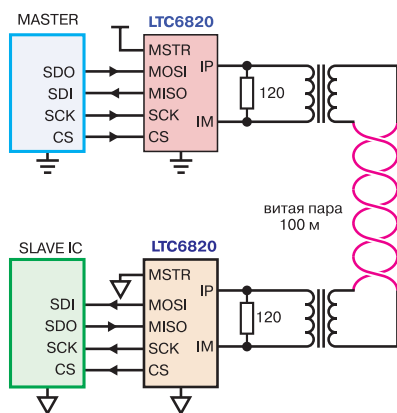
## ISOSPI ISOLATED COMMUNICATIONS INTERFACE

**Abstract** – This article will introduce Linear Technology’s IC LTC6820, which provides bidirectional SPI communications between two isolated devices through a single twisted-pair connection.

V. Kotigoroshko

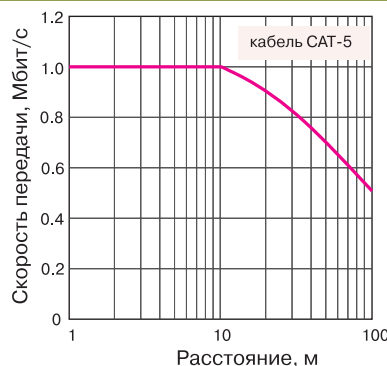


Применение микросхем LTC6820 компании Linear Technology позволяет обеспечить двустороннюю связь с использованием стандартного интерфейса SPI через витую изолированную пару (рис. 1) [1, 2]. Такой модифицированный интерфейс получил название isoSPI (isolated Serial Port Interface).



**Рис. 1. Структурная схема подключения микросхем LTC6820**

В передатчике осуществляется кодирование данных, передаваемых по шине SPI. В приемнике, соответственно, – декодирование передаваемого по витой паре дифференциального сигнала. В качестве изоляционного барьера (гальванической развязки) используется обычный импульсный трансформатор, благодаря которому осуществляется также защита от синфазной составляющей напряжения помех. Кроме того, можно использовать менее дорогие компоненты, которые обычно применяются в оборудовании для Ethernet-сетей. Кроме соединений типа точка-точка допускается обмен данными по шине с ответвлениями. В этом случае в



**Рис. 2. Зависимость скорости передачи данных от расстояния**

системе может быть несколько slave-устройств. Ток драйвера выходного дифференциально сигнала и порог срабатывания входного компаратора устанавливаются с помощью внешнего резистивного делителя. Режим работы микросхемы (master/slave) задается на аппаратном уровне.

Микросхемы предназначены для работы в диапазоне температур -40...125 °C или -40...85 °C. Напряжение питания 2.7...5.5 В, типовой ток потребления в рабочем режиме 5 мА, в режиме ожидания – 2 мкА. Максимальная скорость передачи данных 1 Мбит/с. График зависимости скорости передачи данных от расстояния приведен на рис. 2. Микросхемы изготавливаются в корпусах типа 16-QFN или 16-MSOP и соответствуют рекомендациям стандарта ISO26262.

Дополнительную информацию об особенностях применения микросхемы LTC6820 можно найти в сети Интернет по адресу: <http://www.linear.com> или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе Linear Technology в Украине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. LTC6820. isoSPI isolated communications interface ([www.linear.com](http://www.linear.com)).
2. Using bullet-proof isoSPI data links to boost battery-management systems ([www.linear.com](http://www.linear.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@vdmiais.ua; www.vdmiais.ua

# ВЫСОКОТОЧНЫЙ ИСТОЧНИК ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ \*

## HIGH PRECISION VOLTAGE SOURCE

В настоящей публикации рассмотрена схема высокоточного источника опорного напряжения с погрешностью 1 ppm.

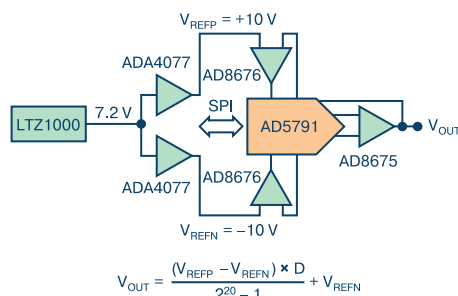
Abstract - The features of high precision voltage source with guaranteed 1 ppm accuracy are considered.

М. Линч

M. Lynch

В статье приведены результаты тестирования программируемого высокоточного источника опорного напряжения, выполненного на основе компонентов компаний Analog Devices и Linear Technology.

Функциональная схема источника, имеющего разрешение 1 ppm, интегральную нелинейность 1 ppm и долговременный максимальный температурный дрейф опорного напряжения не более 1 ppm, представлена на рис. 1



$$V_{OUT} = \frac{(V_{REFP} - V_{REFN}) \times D}{2^{20} - 1} + V_{REFN}$$

Рис. 1. Программируемый источник опорного напряжения

Использование этого источника в системах рентгенологического анализа позволяет увеличить их разрешение и контрастность. Также улучшается качество изображения, полученное методом ядерного магнитного резонанса с применением такого источника. При исследовании изображения внутренних органов диагностируются опухоли, болезни сердца и другие нарушения в организме человека. К другим применениям, в которых может найти использование прецизионный источник опорного напряжения, можно отнести следующие:

- медицинские системы визуализации
- системы позиционирования
- виброизмерительные системы
- тестовое оборудование
- масспектрометрия
- измерительные системы
- системы сбора и обработки данных
- линии по производству микросхем

- системы автоматизации
- системы управления электропитанием
- робототехнические системы.

Применение прецизионного опорного источника повышает точность систем тестирования, обеспечивает необходимую точность сигнала возбуждения мостовых датчиков и исполнительных механизмов. В промышленности источники с погрешностью 1 ppm обеспечивают управление перемещением с наноразмерной точностью.

Ядром программируемого источника опорного напряжения является 20-разрядный ЦАП AD5791 (рис. 2) с дифференциальной и интегральной нелинейностью не более 1 EPP. Температурный дрейф ЦАП – 0.05 ppm/°C, уровень шума от пика к пику – 1.1 мкВ. ЦАП построен на основе матрицы тонкопленочных резисторов R-2R, выполненных с высокой степенью подгонки параметров. ЦАП управляется трехпроводным последовательным интерфейсом с тактовой частотой 35 МГц. Максимальное напряжение питания ЦАП 33 В, уровень напряжения первичного опорного источника до 5 В. Тип корпуса ЦАП 20-TSSOP.

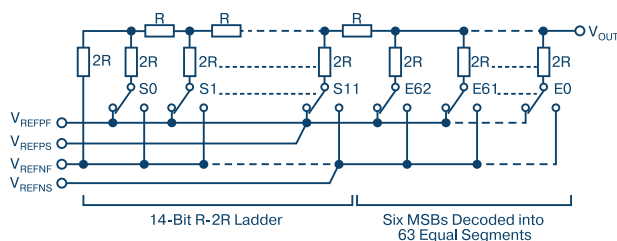
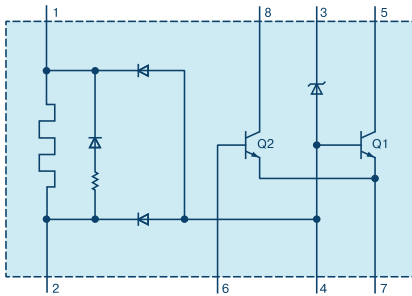


Рис. 2. Структура ЦАП AD5791

Первичный источник опорного напряжения ЦАП выполнен на микросхеме LTZ1000 (рис. 3), которая отличается высокой температурной стабильностью. Выходное напряжение LTZ1000 7.2 В, уровень шума от пика к пику 1.2 мкВ, долговременная стабильность 2 мкВ/√0.001 ч, температурный дрейф 0.05 ppm/°C. Источником опорного напряжения

\* Lynch M. High Precision Voltage Source. Analog Dialogue, 51-10, October, 2017. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



**Рис. 3. Принципиальная схема первичного опорного источника LTZ1000**

этой ИМС является диод Зенера (стабилитрон), кроме того ИМС, содержит температурный сенсор и нагреватель на основе резистора для стабилизации температуры внутри ИМС.

ИМС ADA4077 – высокоточный малозумящий операционный усилитель с малым входным током смещения. Усилитель может работать без потери устойчивости на емкостную нагрузку

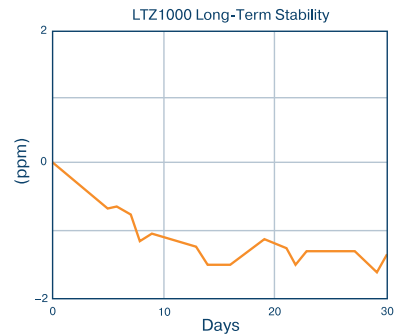
ИМС AD8675/ AD8676 – прецизионный rail-to-rail операционный усилитель с низкими напряжением смещения нуля, дрейфом и уровнем шума. Кроме того, усилитель имеет малый входной ток смещения в диапазоне рабочих температур.

Отметим, что источник опорного напряжения (рис. 1) имеет низкий уровень шумов в полосе частот от 0.1 до 10 Гц. Так, уровень шумов ЦАП AD5791 от пика к пика составляет 1.1 мкВ, каждая ИМС ADA4077 генерирует шум 0.25 мкВ от пика к пика, ОУ AD8675 генерирует шум 0.1 мкВ от пика к пика и первичный опорный источник имеет размах шума 1.2 мкВ. Шум внешних резисторов практически не влияет на суммарный размах шума опорного источника. Буферные усилители для подключения первичного опорного источника к ЦАП AD5791 имеют единичное усиление. Суммарный температурный коэффициент (ТК) источника опорного напряжения (рис. 1) зависит от ТК каждого из компонентов:

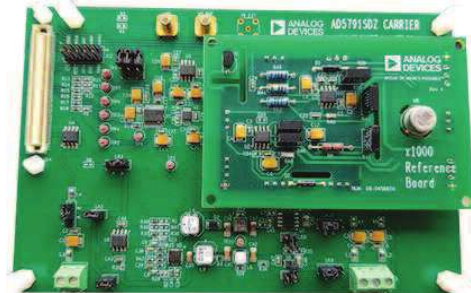
- ТК ЦАП AD5791 – 0.05 ppm/°C
- ТК первичного источника – 0.05 ppm/°C
- ТК усилителя ADA4077 – 0.005 ppm/°C
- ТК усилителя AD8675 – 0.01 ppm/°C.

Временной дрейф ЦАП AD5791 не хуже 0.1 ppm/1000 часов при температуре 125 °C. Температурный дрейф первичного источника LTZ1000 не хуже 1 мкВ/месяц (рис. 4).

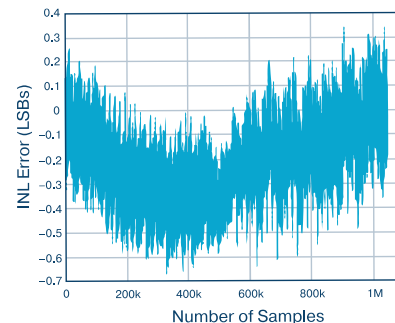
На рис. 5 приведена оценочная плата с источником опорного напряжения для измерения его параметров. На рис. 6, 7, 8 приведены результаты измерений интегральной нелинейности, уровня шума от пика к пика в полосе частот 0.1...10 Гц и временного дрейфа в интервале 1000 часов.



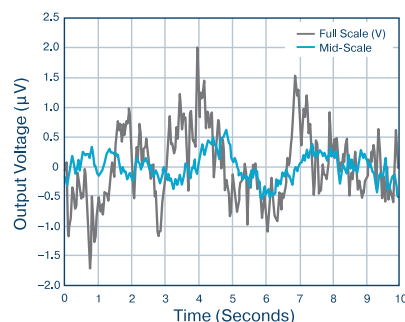
**Рис. 4. Временной дрейф LTZ1000 без предварительного старения**



**Рис. 5. Оценочная плата EVAL-AD5791SDZ для измерения параметров источника опорного напряжения**

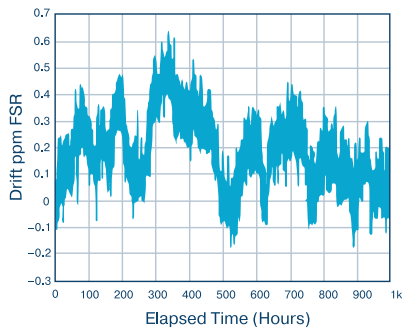


**Рис. 6. Нелинейность источника опорного напряжения**



**Рис. 7. Уровень шума от пика к пика, во времени в полосе частот от 0.1 до 10 Гц**





**Рис. 8. Временной дрейф источника опорного напряжения в течение 1000 часов**

### ВЫВОДЫ

Программируемый источник опорного напряжения, выполненный на прецизионных компонентах Analog Devices и Linear Technology, отличается сверхвысокой точностью, а также высокой температурой и временной стабильностью.



**CREE** ⇄



**LEDIL**



**MW**  
MEAN WELL



**VD MAIS**  
The Professional Distributor



- + светодиоды
- + LED-драйверы
- + вторичная оптика
- + разъемы и клеммы
- + конформные покрытия
- + термопасты и компаунды
- + печатные платы для светодиодов
- + кабельно-проводниковая продукция
- + контрольно-измерительное оборудование
- + контрактное производство электроники

## ФОРМУЛА СВЕТА

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

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

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

В 2018 году журнал “Электронные компоненты и системы” будет выпускаться в электронном виде.

Для оформления бесплатной подписки достаточно прислать по электронной почте на адрес ekis@vdmajs.ua заявку с указанием: Фамилии Имени Отчества, адреса электронной почты, названия организации, в которой Вы работаете, и города, в котором она располагается.

Подписчики журнала предыдущих лет остаются в списках и будут получать рассылку журнала автоматически.



# РАЗНОВИДНОСТИ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИОДОВ

## DIFFERENT LED DRIVERS

**В** статье рассматриваются разновидности LED-драйверов, ориентированных на применение в разных приложениях.

**Abstract –** The different ways to use led drivers are considered in this article.

*В. Котигорошко*

*V. Kotigoroshko*

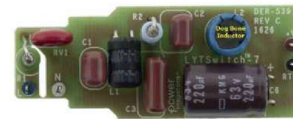
Для достижения максимального преимущества от использования светодиодов необходимо применение специализированных устройств – светодиодных драйверов (LED-драйверов), которые дают возможность повысить как эффективность использования светодиодов, так и надежность устройств, а также увеличить срок эксплуатации светотехнического оборудования.

В статье рассматриваются разновидности LED-драйверов [1-3]. Это драйверы, поддерживающие работу с симисторными регуляторами яркости свечения светодиодов, драйверы, ориентированные на применение в автомобильном оборудовании и светодиодных рекламных витринах, а также для подсветки экранов смартфонов и телевизоров.

Микросхема (ИМС) LYT7503D семейства LYTSwitch-7 (Power Integrations) – понижающий AC/DC-преобразователь, содержащий активный корректор коэффициента мощности ( $PF > 0.9$ ). Структура драйвера светодиодов, созданного на основе этой ИМС, приведена на рис. 1 [1].

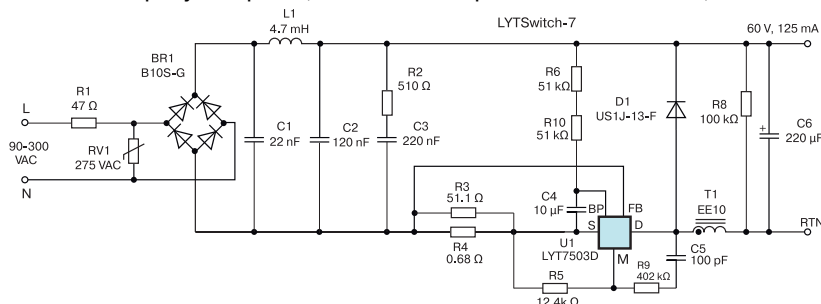
Пожалуй, основное отличие этого драйвера от многочисленных аналогичных заключается в том, что его можно применять совместно с регуляторами напряжения, созданными на базе симисторов, с т.н. TRIAC-регуляторами (TRIAC-диммерами). Множество таких регуляторов было выпущено еще до того, как было освоено массовое производство светодиодов и светильников на их базе. Одной из ключевых проблем является совместимость светодиодных светильников с TRIAC-регуляторами, кото-

рые изначально не предназначались для электропитания LED-ламп. Тем не менее, в настоящее время выпускается ряд ИМС, которые могут использоваться с симисторными регуляторами напряжения. Одна из них – LYT7503D. Эта ИМС совместима с TRIAC-регуляторами мощностью до 22 Вт. Максимально допустимое напряжение встроенного ключевого МОП-транзистора составляет 735 В, что обеспечивает защиту от перенапряжений в линии. Напряжение питания драйвера 90...308 В переменного тока. Внешний вид драйвера приведен на рис. 2 [2].



**Рис. 2. Драйвер светодиодов на базе микросхемы LYT7503D**

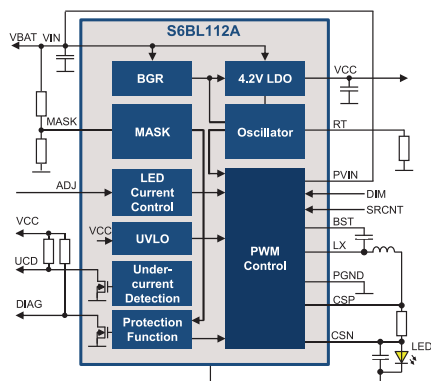
Рынок светодиодных изделий для автомобильной индустрии постоянно развивается и практически каждое светотехническое устройство в автомобиле содержит LED-драйвер. В зависимости от приложения в ряде случаев вместо импульсных предпочтительнее использовать линейные драйверы. Во многом выбор типа драйвера зависит от места расположения устройства в автомобиле (например, снаружи или внутри салона), т.к. от этого при прочих равных условиях зависит эффективность его охлаждения. Драйвер светодиодов, размещенный в автомобильных фарах, должен поддерживать работу как в режиме повышения, так и понижения напряжения,



**Рис. 1. Структура драйвера светодиодов, созданного на базе ИМС LYT7503D**

что зависит от условий эксплуатации автомобиля. Кроме того, автомобильные LED-драйверы должны надежно работать в широком диапазоне значений напряжения питания энергосистемы автомобиля. В большинстве случаев существенные изменения напряжения возникают при отключении аккумулятора и работающем генераторе.

S6BL112A (Cypress) – одноканальный синхронный импульсный понижающий LED-драйвер с программируемой на аппаратном уровне частотой переключения ( $F_{OSC}$ ) от 0.2 до 2.1 МГц. Диапазон входных напряжений 4.5...42 В, что гарантирует надежную работу драйвера в экстремальных условиях эксплуатации автомобиля, например, при холодном запуске двигателя. Максимальный выходной ток 2 А. Сопротивление выходных транзисторных ключей 150...200 мОм. Драйвер также обеспечивает регулировку яркости свечения светодиодов. Структура драйвера S6BL112A приведена на рис. 3. Микросхемы изготавливаются в корпусе типа 16-TSSOP (4.4x5.0 мм).



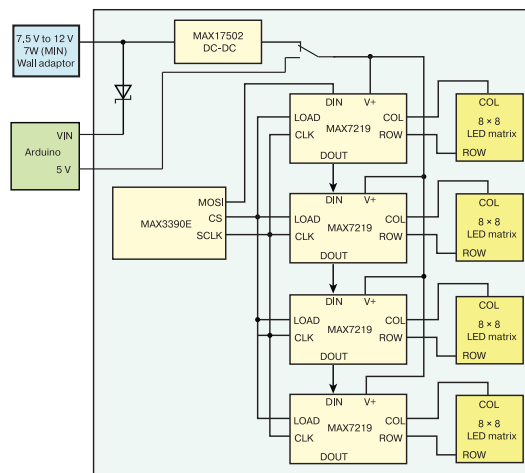
**Рис. 3. Структура драйвера светодиодов, созданного на базе S6BL112A**

Светодиодные универсальные модули форматом 16x16 широко используются в LED-дисплеях, ориентированных на применение в наружных рекламных щитах, информационных табло, уличных указателях разного назначения и пр. LED-дисплеи и LED-экраны, созданные на базе светодиодных модулей, отличаются большой надежностью и долговечностью. Их основные преимущества – высокая яркость, устойчивость к неблагоприятным метеорологическим условиям, возможность использования в дневное и ночное время.

LED-дисплеи предназначены как для визуализации статических картинок, так и для отображения анимационного видео. Дисплеи могут быть выполнены в одно-, двух- или полноцветном варианте. Бегущая строка – это также удобный и широко приме-

няемый недорогой вид рекламы. Многие фирмы используют бегущую строку как дополнение к оригинальной рекламной вывеске, или даже для ее замены. Высокая скорость передачи данных и, по сути, высокая скорость обновления представленной информации, а также удобство ее восприятия делают бегущую строку мощным и сравнительно недорогим рекламным инструментом. Еще одно немаловажное преимущество электронных рекламных экранов – это низкие эксплуатационные затраты и энергоэффективность. Светодиоды экономичнее традиционных ламп накаливания приблизительно в 8 раз.

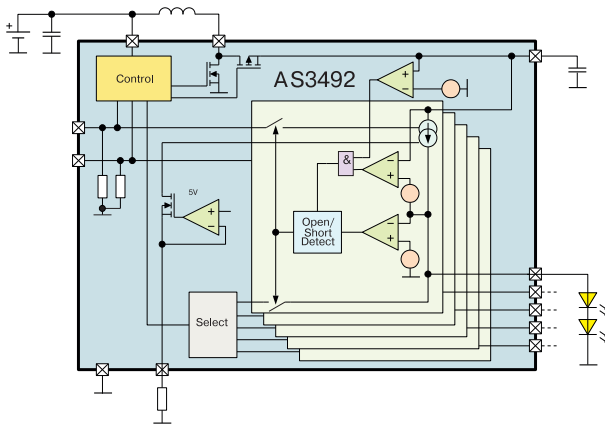
Пример структуры драйвера, реализованной на базе микросхем MAX7219 компании Maxim Integrated, приведен на рис. 4. Комбинированный LED-драйвер объединяет четыре микросхемы MAX7219, управляющие работой 256 светодиодов в матрице форматом 16x16. Напряжение питания 7...12 В, ориентировочная мощность потребления 7 Вт.



**Рис. 4. Структура матричного драйвера светодиодов на базе ИМС MAX7219**

Для подсветки экранов смартфонов широко применяются малогабаритные высокочастотные импульсные DC/DC-преобразователи, что позволяет более эффективно использовать ресурс батареи питания и уменьшить площадь печатной платы. LED-драйвер типа AS3492 предназначен для управления светодиодами по пяти каналам (всего 10 светодиодов). Частота преобразования 2 МГц, индуктивность внешней катушки всего 4.7 мкГн, КПД – 86%, выходной ток по каждому каналу до 25 мА. Структура драйвера AS3492 приведена на рис. 5.

В драйвере реализована защита от короткого замыкания, обрыва цепи светодиодов и перенапряжений. Микросхемы AS3492 изготавливаются в кор-



**Рис. 5. Структура драйвера светодиодов на базе микросхемы AS3492**

пусе типа WL-CSP размерами всего 1.7×1.4×0.5 мм с шагом выводов 0.4 мм и предназначены для эксплуатации в диапазоне температур -30...85 °С. Драйвер управления подсветкой AS3492 разработан специально для применения в мобильных телефонах, смартфонах и цифровых фото- и видеокамерах.

Неотъемлемая часть жидкокристаллических дисплеев, в том числе, и телевизоров – LED-подсветка. Использование для подсветки в телевизорах, мониторах и ноутбуках светодиодов взамен люминесцентных ламп с холодным катодом позволяет существенно снизить их уровень энергопотребления.

MC34844 компании NXP Semiconductor – одна из микросхем, предназначенных для применения в светодиодных драйверах для подсветки малых и средних по размеру LCD-панелей. Эта микросхема ориентирована на применение в портативных устройствах с низким энергопотреблением: мониторах и HDTV с размером по диагонали 10...20 дюймов, персональных компьютерах и ноутбуках, GPS-

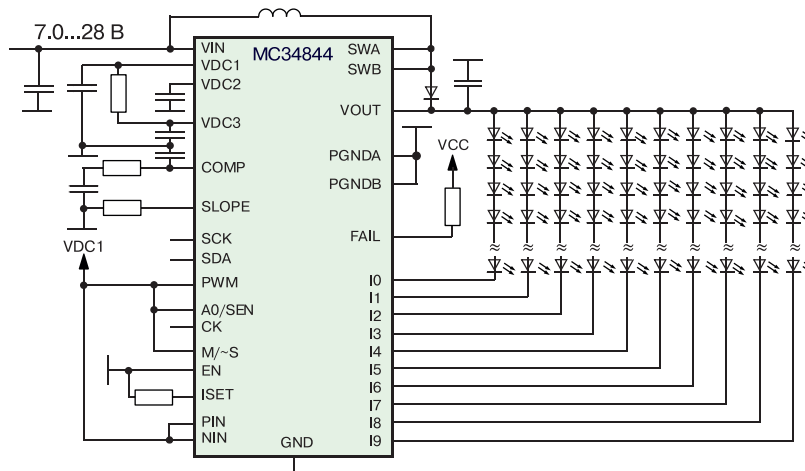
приемниках и пр.

С помощью драйвера MC34844 возможно реализовать управление светодиодами по 10 параллельным каналам (всего до 160 LED). Напряжение питания 7...28. Повышающий DC/DC-преобразователь обеспечивает выходное напряжение (до 60 В) необходимое для подключения цепочки последовательно включенных светодиодов. Максимальная частота переключения 1200 кГц, максимальный выходной ток по каждому из каналов 80 мА, КПД – 90%. Параметры драйвера MC34844 устанавливаются на программном уровне с использованием интерфейса I<sup>2</sup>C/SM-bus. В драйвере MC34844 предусмотрена защита светодиодов от перегрева, короткого замыкания, а также обрыва цепи светодиодов. Кроме того, в микросхеме реализована защита от перенапряжения, перегрузки по току и пониженного напряжения. Микросхемы изготавливаются в корпусе типа 32-TQFN-EP размерами 5.0×5.0×1.0 мм и предназначены для эксплуатации в диапазоне температур -40...105 °С. Пример структуры LED-драйвера на базе MC34844 приведен на рис. 6.

Дополнительную информацию о драйверах светодиодов можно найти в [1-4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Different ways to use led drivers. – Electronic Design.
2. LYT7503-7504. LYTSwitch-7 family phase-cut dimmable single-stage led driver IC with combined PFC and constant current output for buck topology.
3. AS3492 Highly efficient 2-10 LEDs backlight driver with 2 PWM inputs.
4. 34844 10 channel LED backlight driver with integrated power supply.



**Рис. 6. Структура LED-драйвера на базе ИМС MC34844**

## LCM-40EO: LED-ДРАЙВЕРЫ С БЕСПРОВОДНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

WIRELESS LED DRIVERS LCM-40EO

**В** статье приведены основные технические характеристики и возможности драйверов светодиодов с беспроводным управлением LCM-40EO.



**Abstract** - The main characteristics and possibilities of wireless LED power supplies LCM-40EO series with output power 40W are considered in the article.

В. Котигорошко

V. Kotigoroshko

Несомненно, светодиодное освещение имеет массу преимуществ в сравнении с другими источниками света и характеризуется, во-первых, высокой энергоэффективностью, а, во-вторых, его применение обеспечивает возможность плавного изменения яркости и цвета освещения. Преимущества светодиодного освещения гарантируют его использование в самых разных приложениях. Однако во многих случаях, чтобы полностью их реализовать необходимо создание систем дистанционного управления освещением, в которых поддерживаются не только простые операции включения и выключения, а также плавное или дискретное изменение параметров источника освещения, по сути, параметров драйвера светодиодов и в ряде случаев без участия оператора [1-3].

Компания Mean Well предлагает несколько типов драйверов светодиодов с дистанционным управлением освещением, в которых используются проводные технологии, например, технология DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

В результате развития беспроводных технологий они широко используются и в управлении системами освещения. Это беспроводные сети EnOcean-, ZigBee- и Bluetooth LE-сети. В табл. 1 приведены некоторые характеристики беспроводных сетей.

Технология EnOcean, продвигаемая альянсом

с одноименным названием, ориентирована на создание беспроводных систем, в которых обмен данными между оконечными устройствами с минимальным, почти нулевым энергопотреблением, осуществляется по радиоканалу [2]. Беспроводные устройства – идеальное решение в тех случаях, когда прокладка кабелей между устройствами по каким-либо причинам затруднена или вообще невозможна. Отличительной особенностью технологии EnOcean является отсутствие источников питания для энергоснабжения датчиков и коммутационных устройств, а также их простая интеграция в другие сетевые технологии. В альянс EnOcean, образованный в 2008 г., входит более 300 компаний, выпускающих совместимое между собой оборудование. Технология EnOcean де-факто стала стандартом для систем автоматизации офисных зданий и небольших коттеджей.

В настоящее время EnOcean – одна из присутствующих на рынке технологий беспроводного управления освещением. Ее основное отличие заключается в том, что датчики, исполнительные механизмы, контроллеры и пр. получают энергоснабжение из окружающей среды (например, за счет преобразования электромагнитного излучения радиоволн) и в большинстве случаев нет необходимости в элементах электропитания. Т.к. управляющие устройства не "прикованы" к источнику питания, то

**Таблица 1. Характеристики беспроводных сетей**

Наименование	EnOcean	ZigBee	Wireless HART	Bluetooth LE	Bluetooth
Организация стандартизации	EnOcean Alliance	ZigBee Alliance	HART	Bluetooth SIG	
Частотный диапазон, МГц	315, 868, 900, 920	868, 915, 2400	2400		
Скорость передачи	Низкая			Средняя	Высокая
Дальность связи, м	50...300	100	250	50	100
Потребляемая мощность	Очень низкая				Низкая

это может существенно уменьшить срок разработки и стоимость проекта.

Компания Mean Well предлагает светодиодные драйверы LCM-40EO (рис. 1) с использованием беспроводной технологии EnOcean для управления яркостью освещения.



Рис. 1. Драйвер LCM-40EO

Драйверы содержат встроенный модуль EnOcean и предназначены для работы совместно с беспроводным выключателем (например, WPD-06SWT или другим аналогичным), благодаря которому, собственно, и осуществляется управление яркостью освещения, а также выключение и включение светильника.

Беспроводный передатчик работает без батареек и не требует обслуживания. Энергия для его работы генерируется при нажатии на одну из кнопок выключателя, который может быть размещен в любой точке комнаты. Конструкция выключателя предусматривает крепление на стену с помощью винтов или клея.

Максимальная мощность встроенного в выключатель WPD-06SWT радиопередатчика всего 10 мВт, однако этого достаточно для того, чтобы обеспечить надежную связь на расстоянии до 20 м в здании, построенном из кирпича, или до 10 м в здании с железобетонными стенами. В деревянных домах гарантируется дальность связи до 30 м. Основные параметры выключателя WPD-06SWT приведены в табл. 2 [3].

Кроме выключателя WPD-06SWT для беспроводного управления освещением с помощью компьютера совместно с драйверами светодиодов LCM-40EO можно использовать, к примеру, USB-адаптер Navigan Wireless Commissioner NWC 300 (рис. 2), выпускаемый компанией EnOcean под брендом DOLPHIN, что позволяет существенно расширить возможности системы освещения [2]. Компания EnOcean является лидером по выпуску т.н. энерго-собирающих устройств (Energy Harvesters). Под этим термином, как правило, подразумеваются устройства, предназначенные для сбора энергии из окружающих доступных источников, ее аккумуляиро-

Таблица 2. Основные параметры выключателя типа WPD-06SWT

Параметр	Значение
Частота передатчика, МГц	868.3
Максимальная мощность передатчика, мВт	10
Диапазон температур, °С (рабочих и хранения)	-25...65
Относительная влажность воздуха, % (без выпадения конденсата)	0...95
Габаритные размеры, мм	80×80×15
Число переключений	50000



Рис. 2. Беспроводный адаптер NWC 300

вание и использование для электропитания разнообразных радиоэлектронных приборов, что позволяет увеличить их срок службы и надежность. Программное обеспечение для адаптера NWC 300 можно найти на web-сайте альянса EnOcean. Беспроводный USB-адаптер работает на частоте 868 МГц и предназначен для эксплуатации при температуре окружающей среды от 0 до 40 °С и относительной влажности воздуха 20...85% (без выпадения конденсата).

Драйверы LCM-40 соответствуют II классу защиты электротехнического оборудования от поражения электрическим током и ориентированы на применение в системах светодиодного освещения внутри помещений: магазинах, офисах, промышленных цехах, театрах, а также для декоративной подсветки и пр. Для беспроводного управления освещением по предварительному заказу доступны драйверы LCM-40EO (EnOcean).

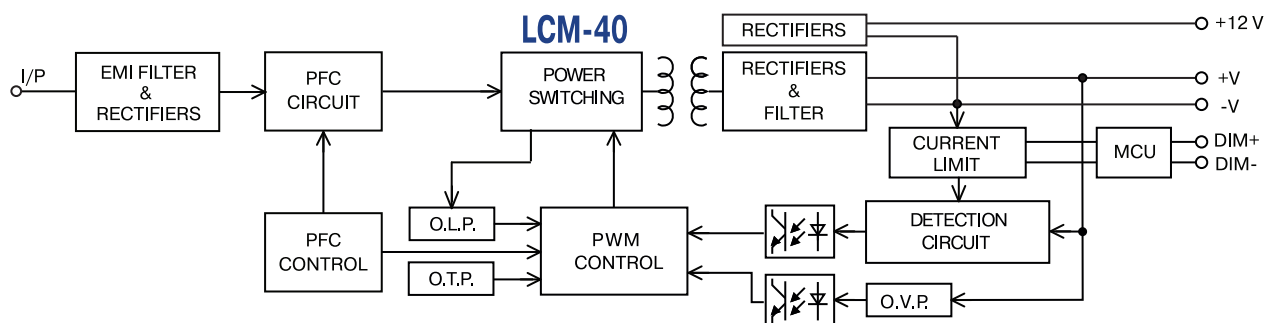
Основные технические характеристики драйверов приведены в табл. 3, структура драйверов LCM-40 – на рис. 3. Драйверы обеспечивают максимальный выходной ток до 1050 мА. Диапазон выходного тока (350, 500, 600, 700, 900 или 1050 мА) задается с помощью встроенного DIP-переключателя на шесть положений.

Встроенный активный корректор коэффициента мощности обеспечивает соответствие драйверов требованиям стандарта EN61000-3-2, кл. С. Коэффициент PF >0.975 при входном напряжении 230 В.



**Таблица 3. Основные характеристики драйверов серии LCM-40**

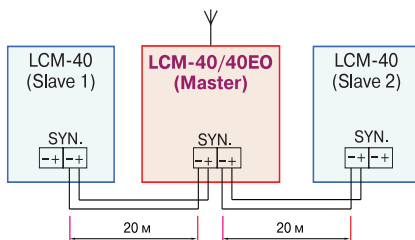
Характеристика	Значение					
Тип драйвера	LCM -40					
Вход						
Диапазон входных напряжений, В	180-295 В переменного тока (47-63 Гц), 254-417 В постоянного тока					
Входной ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	0.23 (230), 0.2 (277)					
Коэффициент мощности (PF), типов.	PF $\geq$ 0.975 (230 В), PF $\geq$ 0.96 (277 В) при нагрузке 100%					
Коэффициент гармоник (THD ), не более, %	20 при нагрузке $\geq$ 75%					
КПД, типов., %	91 (900 мА, 67В)					
Ток утечки, не более, мА	0.5 (240 В переменного тока)					
Пусковой ток, А	20 (230 В)					
Время старта, мс	500 (230 В)					
Выход						
Выходной ток, мА	350	500	600	700	900	1050
Выходное напряжение, В	2-100	2-80	2-67	2-57	2-45	2-40
Выходная мощность, Вт	42					
Отклонение вых. тока, %	$\pm$ 5					
Уровень пульсаций вых. тока, % Iном	5					
Напряжение вспомогательного источника питания, В	11.4 ...12.6 (50 мА)					
Защита от КЗ, перегрева, перенапряжения	+					
Дополнительные функции						
Регулирование тока	+					
Термокомпенсация	+					
Беспроводная связь	Стандарт EnOcean (868 МГц), по предварительному заказу (LCM-40EO)					
Внешн. синхронизация	+					
Электробезопасность ЭМС						
Стандарты	UL 8750, CSA C22.2 No.250.13-12, IEC 61347-1, EN61347-2-13, EN62384, GB19510.14, GB19510.1, EN55015, EN61000-3-2 Class C, EN61000-3-3, GB17625.1, GB17743, EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61547					
Прочность изоляции, кВ (перем. ток)	3.75 (вход-выход)					
Сопrotивление изоляции, не менее, МОм	100 (500 В пост. тока, 25 °С, отн. влажность 70%)					
Надежность, окружающая среда, габаритные размеры						
Среднее расчетное время между отказами, мин., тыс. ч (MIL-HDBK - 217F 25 °С)	260.6					
Диапазон температур, °С	рабочих	-30...90				
	хранения	-40...80				
Максимальная температура корпуса, °С	90					
Относительная влажность воздуха, %	20...90 (без выпадения конденсата)					
Габаритные размеры, мм	123.5×81.0×23.0					
Масса, г	240					
Гарантия	3 года					


**Рис. 2. Структура драйвера LCM-40**

По сути, драйверы LCM-40 и LCM-40EO отличаются лишь способом регулирования выходного тока.

В драйвере LCM-40 предусмотрена возможность плавного регулирования выходного тока с использованием или переменного резистора, или сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В, или ШИМ-сигнала с регулируемой скважностью. Частота ШИМ-сигнала 0.1...3 кГц, амплитуда 10 В. Сигналы управления уровнем выходного тока подаются на выводы драйвера "DIM+" и "DIM-". В драйвере LCM-40EO реализована технология беспроводного управления освещением (EnOcean).

Кроме того, для интеллектуального управления системой осветительных приборов, содержащей несколько драйверов серии LCM-40, предусмотрена возможность синхронного регулирования их выходного тока, а, следовательно, и яркости свечения светодиодов. Один из драйверов работает в режиме "master", остальные – "slave". Длина кабеля между драйверами не должна превышать 20 м, а число slave-драйверов – девяти, т.е. максимальная конфигурация – один ведущий + девять ведомых. Структура системы драйверов с синхронизацией приведена на рис. 4.

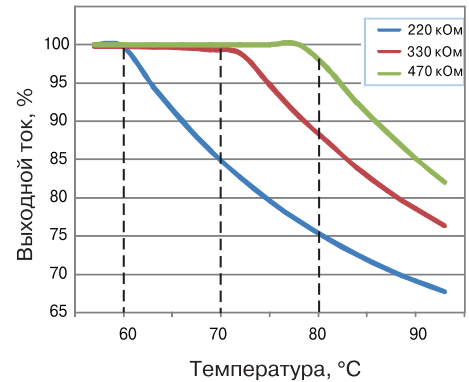


**Рис. 4. Структура системы драйверов с синхронизацией**

Для того, чтобы иметь возможность снижения рассеиваемой мощности при повышении температуры окружающей среды, в драйверах LCM-40 реализована система регулирования выходной мощности. Измерение температуры осуществляется с помощью датчика температуры (NTC-резистора), подключаемого между клеммами +NTC и -NTC. Зависимость выходного тока драйвера от температуры при разных значениях сопротивления измерительного терморезистора приведена на рис. 5.

Конструктивно драйверы выполнены в закрытом пластмассовом корпусе габаритными размерами 123.5×81.0×23.0 мм и выдерживают вибрации уровнем до 2 г в диапазоне частот 10...500 Гц. Гарантийный срок три года.

Дополнительную информацию о драйверах се-



**Рис. 5. Зависимость выходного тока драйвера от температуры при разных значениях сопротивления измерительного терморезистора**

рии LCM-40/40EO, а также продукции компании Mean Well можно найти в сети Интернет по адресу: [www.meanwell.com](http://www.meanwell.com) или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе Mean Well в Украине.

## ЛИТЕРАТУРА

- 40W Multiple-Stage Constant Current Mode LED Driver ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).
- Navigan Wireless Commissioner for easy configuration of EnOcean controllers ([www.navigan.com](http://www.navigan.com)).
- WPD-06SWT. EnOcean switch transmitter.

**VD MAIS**  
Электромеханические компоненты и компоненты систем автоматизации

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

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

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

**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, Kendeil, Kingbright, Ledil, Littlefuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntain, Telit, Vacuumschmelze, Xilinx, Yitran

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

# МОЩНЫЕ НИЗКОПРОФИЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ UHP-500

POWER SUPPLIES UHP-500

**В** статье приведены основные технические характеристики источников питания UHP-500 выходной мощностью 500 Вт.



**Abstract** – The main characteristics and possibilities of low profile power supplies UHP-500 are considered in this article.

В. Котигорошко

V. Kotigoroshko

Компания Mean Well, известный во всем мире производитель разнообразных блоков питания и драйверов светодиодов, анонсировала новые высокоэффективные низкопрофильные источники питания серии UHP-500 (рис. 1) выходной мощностью до 500 Вт [1, 2].



**Рис. 1. Импульсный блок питания UHP-500**

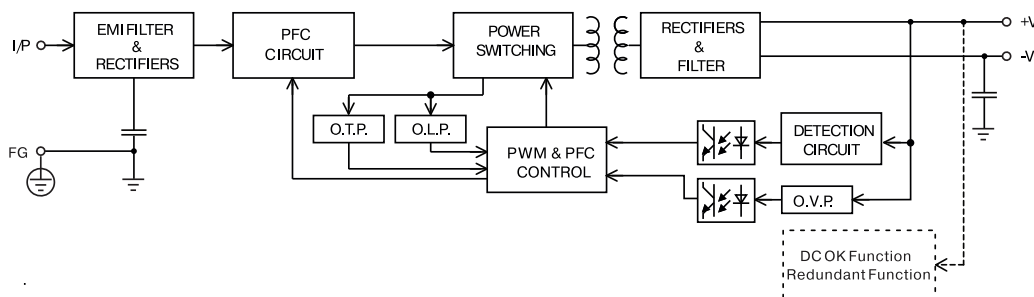
UHP-500 – ультратонкий импульсный блок питания в металлическом кожухе, ориентированный на применение в низкопрофильном телекоммуникационном оборудовании и сетевой инфраструктуре, системах промышленной автоматизации, безопасности, а также системах "умный дом" и пр. Сравнительно небольшая высота корпуса (всего 31 мм) позволяет монтировать их в стандартных 19-дюймовых приборных стойках и, кроме того, применять их в качестве источников питания светодиодных информационных табло, жидкокристаллических экранов и панелей. Блоки питания UHP-500 имеют габаритные размеры всего 232×81×31 мм, отличаются

высоким КПД (до 95%) и отсутствием вентилятора и, кроме того, содержат встроенный активный корректор коэффициента мощности (PF). При входном напряжении 230 В и нагрузке 100% коэффициент  $PF \geq 0.95$ . Новые блоки питания обеспечивают максимальный выходной ток до 80 А при выходном напряжении 4.2/5 В. Блоки питания работают в режиме стабилизации выходного напряжения (4.2, 5, 12, 15, 24, 36 или 48 В) и содержат светодиодный индикатор включения питания.

Блоки питания семейства UHP-500 выдерживают вибрации уровнем до 5 г в диапазоне частот 10...500 Гц и кратковременные перенапряжения до 300 В на протяжении 5 с. В блоках реализована защита от короткого замыкания, перегрева, перегрузки и перенапряжения. Они могут эксплуатироваться на высоте до 5000 м над уровнем моря при условии снижения температуры окружающей среды со скоростью 3.5 °C/1000 м, начиная с высоты 2000 м. Гарантийный срок 3 года.

Основные технические характеристики блоков питания серии UHP-500 приведены в таблице, структура – на рис. 2.

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



**Рис. 2. Структурная схема блока питания UHP-500**

### Основные технические характеристики блоков питания серии UHP-500

Характеристика		Значение						
Модель		UHP-500-xx						
		-4.2	-5	-12	-15	-24	-36	-48
<b>Вход</b>								
Диапазон входных напряжений, В		90-264 переменного тока (47-63 Гц), 127-370 постоянного тока						
Входной ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)		4.85 (115), 2.6 (230)						
Коэффициент мощности (PF), типов.		PF ≥ 0.98 (115 В), PF ≥ 0.95 (230 В), при нагрузке 100%						
КПД, типов., %		89	90	94	94	94.5	95	95
Пусковой ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)		30 (115), 60 (230)						
Ток утечки, не более, мА		0.75 (240 В переменного тока)						
<b>Выход</b>								
Номинальный выходной ток, А		80	80	41.7	33.4	20.9	13.9	10.45
Номинальное выходное напряжение, В		4.2	5	12	15	24	36	48
Номинальная выходная мощность, Вт		336	400	500.4	501	501.6	500.4	501.6
Уровень шумов и пульсаций вых. напряж., п-п, макс. в полосе 20 МГц, мВ		200	200	200	200	240	360	360
Диапазон регулировки вых. напряжения, В		3.6-4.4	4.5-5.5	11.4-12.6	14.3- 15.8	22.8-25.2	34.2-37.8	45.6-50.4
Суммарная погрешность вых. напряжения, %		±2	±2	±1	±1	±1	±1	±1
Погрешность вых. напр., % при изменении	вх. напряжения	±0.5	±0.5	±0.3	±0.3	±0.3	±0.3	±0.3
	тока нагрузки	±1	±1	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5
Защита	от перегрева	+ (с авт. восстановлением после устранения причины)						
	от перенапряжения	4.62-5.46	5.75-6.75	13.2-15.6	16.5-19.5	26.4-31.2	39.6-46.8	52.8-62.4
	от перегрузки	с авт. восстановлением после устранения причины 110...140% P <sub>НОМ</sub> (с авт. восстановлением после устранения причины)						
<b>Электробезопасность, ЭМС</b>								
Стандарты		UL60950-1; TUV EN60950-1; CCC GB4943; EN60335-1; EN61558-2-16; EN55032; GB/T9254 Class B; EN61000-3-2,-3; EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; EN61000-6-2 (EN50082-2)						
Прочность изоляции, кВ (перем. ток)		3.75 (вход-выход), 2.0 (вход-корпус), 1.25 (выход-корпус)						
Сопrotивление изоляции, не менее, МОм		Вход-выход, вход-корпус, выход-корпус: 100 (500 В пост. тока, 25 °С, 70% отн. влажн.)						
<b>Надежность, окружающая среда, габаритные размеры</b>								
Среднее расчетное время между отказами, мин., тыс. ч (MIL-HDBK-217F 25 °С)		168						
Диапазон температур, °С	рабочих	-20...70						
	хранения	-20...85						
Относительная влажность воздуха, %		20...90 (без выпадения конденсата)						
Габаритные размеры, мм		232×81×31						
Масса, г		905						
Гарантия		3 года						

#### ЛИТЕРАТУРА

1. UHP-500 series: 500W slim type with PFC switching supply ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).

2. UHP-350 series: 350W slim type with PFC switching power supply ([www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)).



# Установщики серии SM PLUS

## Скоростные установщики EXCEN

### SM471P

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

### SM481P

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

### SM482P

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

### EXCEN PRO D/EXCEN PRO M

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

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



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

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





# НОВОЕ СЕМЕЙСТВО АЦП ДЛЯ РАБОТЫ С ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ДРАЙВЕРАМИ \*

PIN-COMPATIBLE, HIGH INPUT IMPEDANCE ADC FAMILY ENABLES EASE OF DRIVE AND BROADENS ADC DRIVER SELECTION

В статье рассмотрены новые высокоимпедансные АЦП с высокопроизводительными драйверами.

М. Паччигар

Abstract - High speed ADCs and drivers are considered in the article.

M. Pachchigar

В современных системах автоматизации, медицинском приборостроении, тестовом оборудовании широко применяются прецизионные поразрядные АЦП высокой производительности.

Для этих целей компания Analog Devices разработала семейство совместимых по выводам АЦП AD4000. Это семейство включает 16-, 18- и 20-разрядные преобразователи поразрядного уравнивания с высоким входным импедансом. Благодаря этому снижается уровень входного тока АЦП и облегчается выбор входного драйвера, причем драйвер может иметь меньшее потребление в сравнении с драйвером для других АЦП, при этом обеспечивается широкий динамический диапазон и высокая точность преобразования. В качестве драйвера может быть использован JFET-ОУ или измерительный усилитель в широкой полосе частот, начиная от сигнала постоянного тока. При этом частота среза фильтра может быть снижена, а драйвер может непосредственно управлять преобразователем. В таком случае экономятся общая мощность потребления, размеры печатной платы, количество внешних компонентов и стоимость устройства в целом.

На рис. 1 приведена типовая прецизионная система сбора и обработки данных. На рис. 2 представлена временная диаграмма одного цикла выборки и преобразования этой системы. В традиционном поразрядном АЦП время выборки гораздо короче времени преобразования. В течение времени преобразования коммутируемые конденсаторы АЦП отключаются от источника входного сигнала и подключаются к нему в момент перехода в режим выборки. При этом новый цикл преобразования можно запустить только после полного затухания коммутационного выброса. В традиционных пораз-

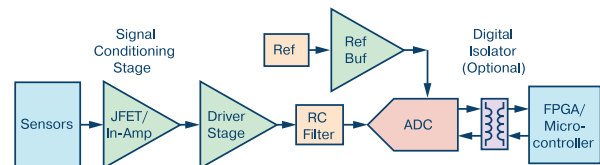


Рис. 1. Типовая система сбора и обработки данных

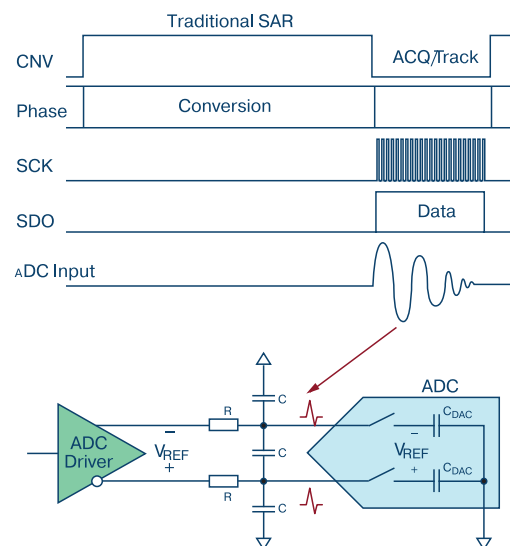


Рис. 2. Временная диаграмма цикла преобразования традиционного АЦП

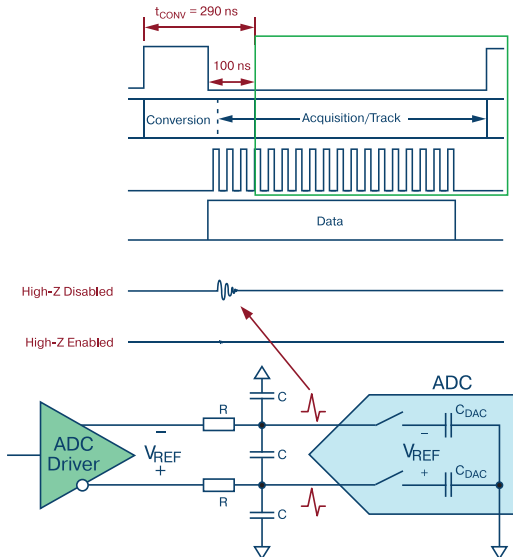
рядных АЦП затухание коммутационных выбросов занимает большой временной интервал, вызванный параметрами RC-фильтра.

Использование нового семейства АЦП AD4000, время преобразования которых не превышает 290 нс, а переход в режим следующей выборки сигнала может быть осуществлен за 100 нс до окончания цикла преобразования, позволяет увеличить время выборки на достаточную для затухания коммутационного выброса величину. Это показано на временной

\* Pachchigar M. Pin-Compatible, High Input Impedance ADC Family Enables Ease of Drive and Broadens ADC Driver Selection. Analog Dialogue, 51-11, November, 2017.

Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

диаграмме цикла преобразования АЦП AD4000, рис. 3, причем сглаживание этого выброса обеспечивается даже при отключении высокоимпедансного режима.

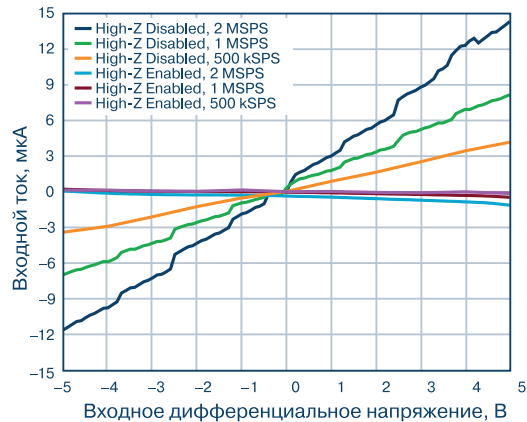


**Рис. 3. Временные диаграммы цикла преобразования АЦП семейства AD4000**

Данное свойство позволяет снизить требования к параметрам RC-фильтра. Другим преимуществом увеличения времени выборки АЦП семейства AD4000 является уменьшение внутренней тактовой частоты АЦП, что, в свою очередь, позволяет снизить общую мощность потребления устройства в целом.

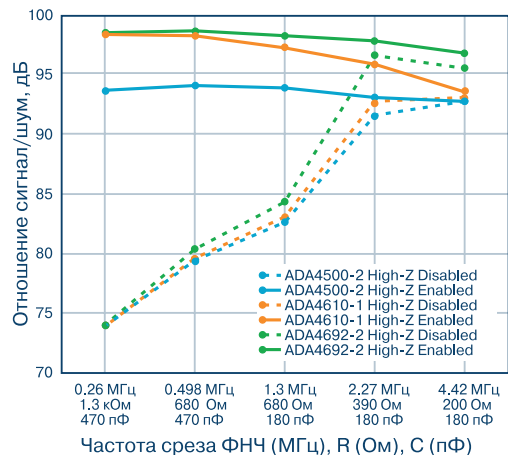
Благодаря высокому входному импедансу преобразователей семейства AD4000 значительно проще подобрать к ним драйверы, так как они могут иметь меньшие быстродействие и полосу пропускания. Так, например, АЦП AD4007 имеет входной ток на частоте выборки 1 МГц в 4 раза меньше, чем его ближайший аналог AD7982, как следует из диаграммы, рис. 4.

Применение высокоимпедансных АЦП семейства AD4000, как было отмечено, позволяет использовать прецизионные драйверы с меньшей полосой



**Рис. 4. Зависимость входного тока АЦП семейства AD4000 от величины входного дифференциального напряжения**

пропускания (по сравнению с полосой пропускания драйверов для традиционных АЦП), при этом сохраняются минимальные уровни шума (SNR) и нели-

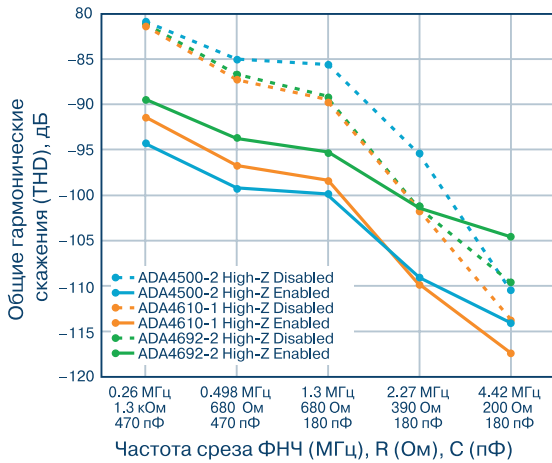


**Рис. 5. Зависимость отношения сигнал/шум (SNR) от полосы пропускания RC- фильтра при частоте входного сигнала 1 кГц для АЦП семейства AD4000 с разными драйверами**

нейных искажений (THD), как показано на рис. 5 и 6. В качестве драйверов АЦП семейства AD4000 могут быть использованы, кроме того, измерительные усилители с полосой пропускания не более 10 МГц, рис. 7. На рис. 8 и 9, приведены диаграммы за-

**Семейство АЦП AD4000**

Частота преобразования, МГц	Разрешение 16 бит, несимметричный вход	Разрешение 16 бит, симметричный вход	Разрешение 18 бит, несимметричный вход	Разрешение 18 бит, симметричный вход	Разрешение 18 бит, симметричный вход
2	AD4000	AD4001	AD4002	AD4003	AD4020
1	AD4004	AD4005	AD4006	AD4007	
0.5	AD4008		AD4010	AD4011	

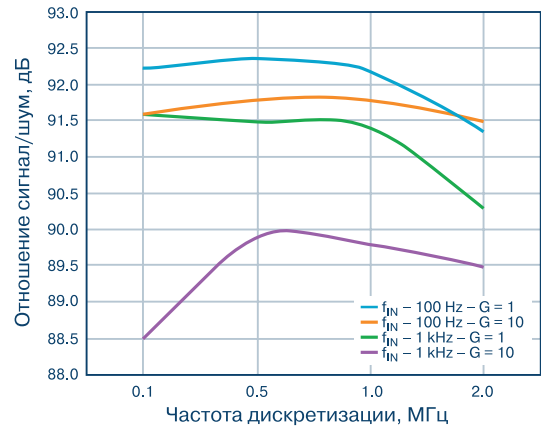


**Рис. 6. Зависимость нелинейных искажений (THD) от полосы пропускания RC- фильтра при частоте входного сигнала 1 кГц для АЦП семейства AD4000 с разными драйверами**

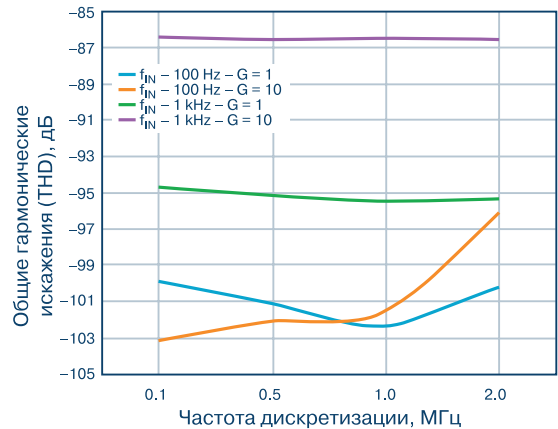
всимостей отношения сигнал/шум и нелинейных искажений измерительного усилителя AD8422, коэффициент усиления которого равен 1, и АЦП AD4000. В таблице приведены типы ИМС семейства AD4000 с разным разрешением и частотой преобразования.

### ВЫВОДЫ

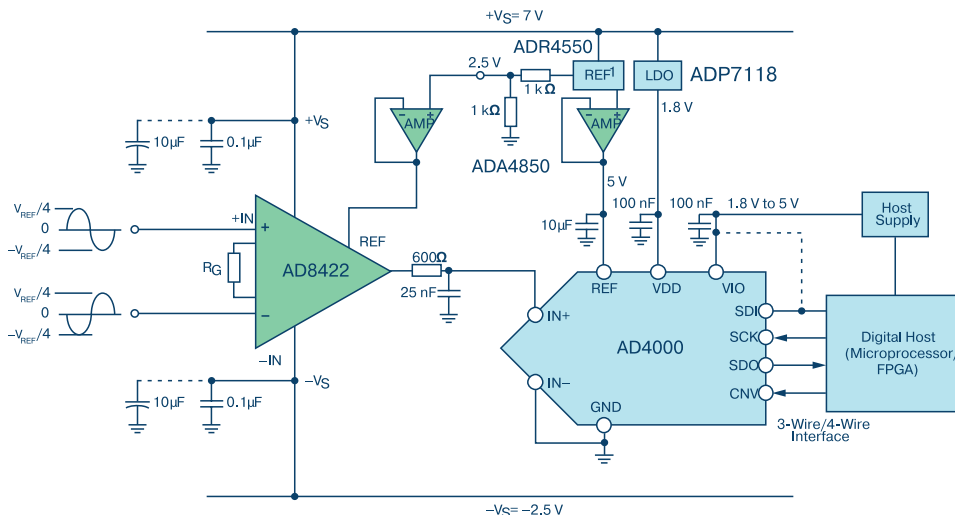
Новое семейство преобразователей AD4000 компании Analog Devices позволяет уменьшить потребление, обеспечить защиту от перенапряжения, использовать в качестве драйверов прецизионные измерительные усилители, оптимизировать параметры RC-фильтров без снижения частоты входного сигнала.



**Рис. 8. Зависимость отношения сигнал/шум АЦП AD4000 от его производительности при использовании в качестве входного драйвера измерительного усилителя AD8422**



**Рис. 9. Зависимость нелинейных искажений (THD) АЦП AD4000 от его производительности при использовании в качестве драйвера измерительного усилителя AD8422**



**Рис. 7. Упрощенная схема измерительного усилителя-драйвера AD8422 для АЦП AD4000**

# СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ШУМА ИЛИ НОВАЯ МЕТРИКА ДЛЯ АЦП \*

## NOISE SPECTRAL DENSITY: A NEW ADC METRIC?

**А**льтернативная оценка параметров быстродействующих АЦП рассмотрена в настоящей публикации.

Я. Биверс

**T**he way in which high speed ADC performance is measured has changed. It was discussed in the article.

I. Beavers

Расширение частотного диапазона и повышение быстродействия современных АЦП привело к изменению оценочных показателей их параметров. В 80-х годах прошлого столетия в качестве основных показателей АЦП использовались дифференциальная (DNL) и интегральная (INL) нелинейность. В 90-х годах – отношение сигнал/шум (SNR). В настоящее время для оценки качества АЦП высокого быстродействия с частотой выборки, составляющей гигагерцы, наиболее значимыми параметрами, характеризующими качество АЦП, являются динамический диапазон неискаженного сигнала (SFDR) и спектральная плотность шума (NSD). Несмотря на то, что последние два параметра давно использовались для оценки качества АЦП, именно для выбора оптимального АЦП в быстродействующих и сверхбыстродействующих системах следует использовать спектральную плотность шума как основной показатель качества преобразователя.

Спектральная плотность шума АЦП нормируется в единицах мощности относительно полной шкалы преобразования в полосе 1 Гц, т.е. дБ (полная шкала)/Гц или dBFS/Hz. Если частоты выборки АЦП вдвое больше частоты Найквиста, спектральная плотность шума уменьшается на 3дБ, а отношение сигнал/шум растет, так как мощность входного шума (Noise power) уменьшается согласно выражению

$$\text{Noise power} = 10 \lg(f_s/2),$$

где  $f_s$  – частота выборки.

Частота выборки новых АЦП постоянно увеличивается вплоть до единиц гигагерц и более, что приводит к росту отношения сигнал/шум АЦП со сверхвыборкой, т.е. чем выше частота выборки у одного из двух одинаковых АЦП, тем меньше его спек-

тральная плотность шума. Отметим, что вместо спектральной плотности шума, которая всегда приводится к полосе 1 Гц, используют такой показатель, как минимальный уровень шума или уровень собственных шумов АЦП, или noise floor. Если сравнить спектральную плотность шума с минимальным уровнем шума, то окажется что минимальный уровень шума приведен к полосе 1 кГц, в то время как спектральная плотность шума – к полосе 1 Гц. Поэтому последний показатель всегда будет меньше, хотя шум АЦП при этом остается одним и тем же.

**Расчет и измерение спектральной плотности шума.** Для идеального АЦП отношение SNR равно

$$\text{SNR} = 6.02N + 1.76 \text{ [дБ]},$$

где  $N$  – разрядность АЦП.

Поэтому отношение сигнал/шум идеального АЦП характеризуется только шумом квантования. В реальных АЦП кроме шума квантования присутствуют другие погрешности, что снижает отношение сигнал/шум реального АЦП по сравнению с идеальным. Вычислить отношение сигнал/шум реального АЦП можно следующим образом. Если вычесть мощность сигнала из полной входной мощности, то в остатке будет полная мощность шума АЦП. Если просуммировать все элементы мощности шума в полосе 1 Гц, можно получить единичную мощность шума в этой полосе. Для расчета спектральной плотности шума в полосе Найквиста необходимо знать частоту выборки. Рассмотрим, например, идеальный 12-разрядный АЦП с частотой выборки 200 МГц. Отсюда отношение сигнал/шум равно

$$\text{SNR} = 6.02 \cdot 12 \cdot 1.76 = 74.04 \text{ [дБ]}.$$

\* *Beavers I. Noise Spectral Density: A New ADC Metric? [www.analog.com](http://www.analog.com). Technical Article. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.*

Приведем шум к полосе 1 Гц

$$\text{Noise power per bin} = -10 \lg(f_s/2) = -80 \text{ [dBFS/Hz]}.$$

Для идеального 12-разрядного АЦП спектральная плотность шума равна

$$-74.04 - 80 = -154.04 \text{ [dBFS/Hz]}.$$

Для реального АЦП этот параметр можно получить из технической документации (data sheet) или измерить экспериментально. Полная мощность входного сигнала АЦП Signal power вычисляется так

$$V_{rms} = V_p \sqrt{2} = V_p \cdot 0.707,$$

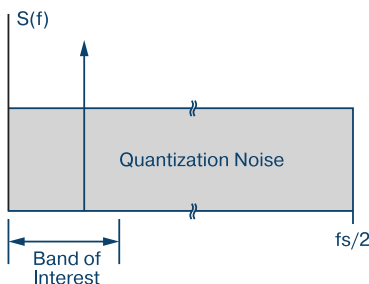
где  $V_{rms}$  – среднеквадратическое значение напряжения;  $V_p$  – пиковое значение напряжения на входе АЦП.

$$\text{Signal power} = V_{rms}^2 / R_{in} \text{ [Вт]}.$$

В единицах дБм имеем

$$\begin{aligned} \text{Signal power} &= 10 \lg(V_{rms}^2 / R_{in}) \cdot 1000 \text{ мВт/Вт} = \\ &= 10 \lg V_{rms}^2 / R_{in} + 30 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

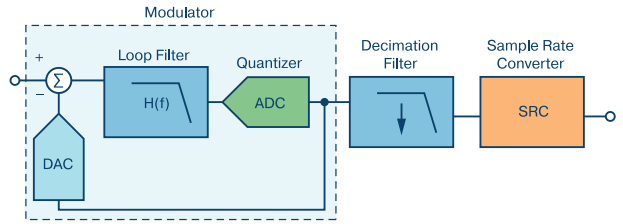
Шум квантования АЦП в зоне Найквиста характеризуется диаграммой, приведенной на рис. 1. По Найквисту частота дискретизации АЦП должна превышать удвоенное значение верхней частоты в спектре входного сигнала. Для сигма-дельта АЦП (рис. 2) за счет сверхвыборки, во много раз превышающей частоту выборки по Найквисту, шум квантования из области полезного сигнала сдвигается в область высоких частот. В этой области шум фильтруется, а в полосе полезного сигнала уровень шума существенно уменьшается, рис. 3.



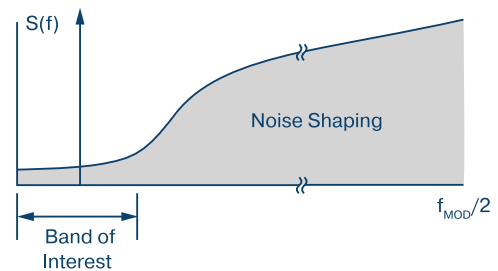
**Рис. 1. Шум квантования АЦП с частотой выборки по Найквисту**

Рассмотрим случай, когда информационный сигнал находится в узкой области частотного диапазона (рис. 4).

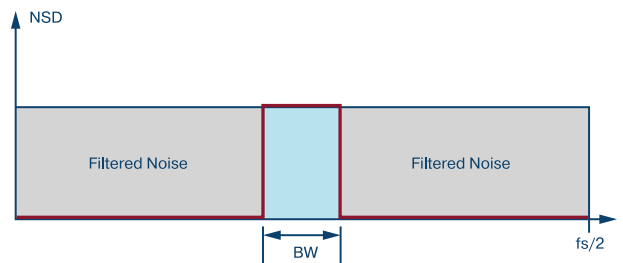
В этом случае сдвиг шума за пределы этого диа-



**Рис. 2. Структура сигма-дельта АЦП**



**Рис. 3. Сдвиг шума квантования за пределы полосы полезного сигнала сигма-дельта АЦП**



**Рис. 4. Цифровая фильтрация шума за пределами узкой полосы полезного сигнала сигма-дельта АЦП**

пазона, представляющего интерес, будет определяться порядком фильтра и параметрами модулятора. Данный случай включает следующие особенности: область в частотном диапазоне сигнала, представляющая интерес, существенно уже полного диапазона по Найквисту. Для такого применения АЦП следует использовать цифровой понижающий преобразователь (down conversion) для последующей децимации и цифровой фильтрации данных. Расчет отношения сигнал/шум для идеального АЦП выполняется в соответствии с выражением

$$\text{Ideal SNR} = 6.02N + 1.76 \text{ дБ} + 10 \lg(f_s / (2BW)),$$

где  $BW$  – полоса частот полезного сигнала (рис. 4).

Предположим, что используется АЦП с частотой выборки по Найквисту, равной 100 МГц, но, как уже было отмечено, нет необходимости кодировать сигнал в полосе 50 МГц. Нас, согласно рис. 4, интересует узкий диапазон от 6.25 до 26.25 МГц. Если построить цифровой фильтр на эту полосу, то необхо-



димый динамический диапазон (processing gain) может быть вычислен следующим образом

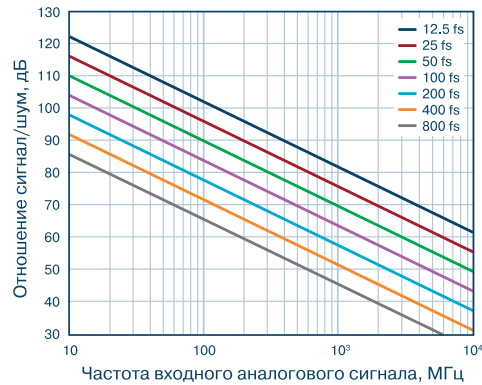
$$\begin{aligned} \text{processing gain} &= 10\lg(f_j/(2BW)) = \\ &= 10\lg(100 \cdot 10^6 / (2 \cdot 6.25 \cdot 10^6)) = 10\lg 8 = 9 \text{ [дБ]}. \end{aligned}$$

Каждое последующее уменьшение вдвое частотного диапазона полезного сигнала увеличивает динамический диапазон на 3 дБ.

Одним из факторов, влияющих на отношение сигнал/шум, и соответственно на спектральную плотность шума, является дрожание фронтов тактовых импульсов. Выражение для оценки влияния дрожания фронтов тактовых импульсов  $t_j$  на отношение сигнал/шум имеет следующий вид

$$\text{SNR} = 20 \lg(1/2\pi f_A t_j) \text{ [дБ]}.$$

На рис. 5 приведены зависимости отношения сигнал/шум от частоты ( $f_A$ ) входного аналогового сигнала АЦП при разных значениях времени  $t_j$ , выраженных в фемтосекундах. Из графиков (рис. 5) следует, что чем выше частота входного сигнала, тем меньше должно быть время  $t_j$ , чтобы сохранилось то же значение отношения SNR. Так, например, если время  $t_j = 200$  фс и частота входного сигнала  $f_A = 250$  МГц, то  $\text{SNR} = 70$  дБ, а при частоте входного



**Рис. 5. Зависимость отношения сигнал/шум (SNR) от частоты входного сигнала быстродействующего АЦП при разных значениях времени дрожания  $t_j$  фронтов тактовых импульсов**

сигнала  $f_A = 1$  ГГц для того же значения SNR, равного 70 дБ, время  $t_j$  должно быть уменьшено до 50 фс.

### ВЫВОДЫ

Для быстродействующих и сверхбыстродействующих АЦП основным показателем, характеризующим качество преобразования, является спектральная плотность шума. Этим показателем оценивается и качество сигма-дельта АЦП, особенно при его работе в узкой полосе широкополосного диапазона.

## ОФИСНЫЙ ЦЕНТР VD MAIS

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

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



Обращаться по адресу: г. Киев, ул. М. Донца 6  
 info@vdmals.ua  
 тел.: (044) 220-0101 (внутр. 1329, 1328)  
 факс: (044) 220-0202  
 Контактное лицо: Пацев Андрей Викторович

**VD MAIS**  
 The Professional Business



Fluke TiS40

FLUKE®



## ТЕПЛОВИЗОР ДЛЯ ЭНЕРГОАУДИТА

Fluke TiS40 – универсальный тепловизор для энергоаудиторов и энергетиков

### Расширенные функциональные возможности

- разрешающая способность термосенсора: 160×120 пикселей
- диапазон измерений -20...350 °С
- тепловая чувствительность ≤0.09 °С, точность измерений ±2 °С
- разрешающая способность цифровой фотокамеры 5 Мпикселей
- фокусировка автоматическая нерегулируемая (от 0.45 м)
- угол обзора 35.7°×26.8°, отношение расстояние/размер объекта 257:1
- монитор сенсорный 3.5 дюйма, 320×240 пикселей
- встроенная память 4 Гбайт + 4 Гбайт Micro SD
- технологии IR-Fusion® (совмещение снимков в видимом и ИК-диапазоне), PIP ("картинка в картинке"), AutoBlend™
- аккумулятор литий-ионный со светодиодным индикатором заряда, непрерывное время работы до 4 часов, время зарядки 2.5 часа
- адаптер сети переменного тока 100...240 В, 50/60 Гц
- программное обеспечение SmartView® (в комплекте поставки)
- язык меню: английский, русский и др. (18 языков)
- класс защиты корпуса IP54, вибростойкость 2g
- габаритные размеры 26.7×10.1×14.5 мм, масса (с аккумулятором) 0.72 кг

Акционное предложение – поставка со склада в Киеве по сниженной цене!

VD MAIS – официальный дистрибьютор компании Fluke в Украине

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

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

### • производство

На поставляемые фирмой VD MAIS печатные платы предоставляется документация по выходному контролю:

- сертификат фирмы VD MAIS
- сертификат качества печатной платы от изготовителя
- протокол контроля основных параметров печатной платы
- протокол контроля внутренней структуры печатной платы с микрошлифом

CUSTOMER P/N: NPD-0400-0155    FACTORY P/N: T8727-103A    DATA CODE: 0017

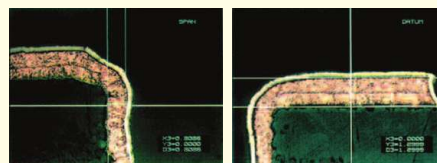


Фото микрошлифа переходного отверстия

- протокол контроля паяемости
- протокол электрического тестирования

Высококачественная  
металлизация  
переходных отверстий



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

VD MAIS  
PCB Professionally

# ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ LTSPICE ОТ LINEAR TECHNOLOGY, ЧАСТЬ 2

## THE SOFTWARE FOR MODELING ELECTRONIC CIRCUITS LTSPICE FROM LINEAR TECHNOLOGY, PART 2

Во второй части статьи кратко рассмотрены источники напряжений, токов и другие функциональные устройства, а также примеры их использования. Приведены рекомендации по выбору шага интегрирования для исключения ошибок при моделировании устройств с быстропротекающими процессами.

В. Макаренко

*Abstract* – The second part of the article briefly describes the sources of voltages, currents and other functional devices, as well as examples of their use. The recommendations for choosing the integration step to eliminate errors in the simulation of devices with fast processes are given.

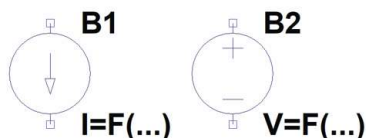
V. Makarenko

Автор приносит извинения за допущенную неточность в первой части статьи. Там было указано что "значок Общий провод к сожалению, повернуть невозможно". Конечно, это не так. Просто для поворота необходимо воспользоваться комбинацией клавиш Ctrl+R.

Для эффективного использования программы необходимо знать какие источники напряжений и токов, а также функциональные узлы доступны в ней для моделирования. Рассмотрим источники тока и напряжения, которые представлены в программе.

### Функциональные источники тока и напряжения

На рис. 1 приведены условные обозначения функциональных источников тока B1 (bi) и напряже-



**Рис. 1. Условное графическое обозначение функциональных источников тока (bi) и напряжения (bv) в программе LTspice**

ния B2 (bv).

Для определения параметров функционального источника в рабочем окне LTspice необходимо вызвать окно настройки Component Attribute Editor (редактор атрибутов компонента), щелкнув правой кнопкой мышки по символу элемента (рис. 1). Выражение, определяющее функционирование источника, а также остальные параметры текстового синтаксиса, вносятся, по мере заполнения, в поля Val-

ue, Value2, SpiceLine и SpiceLine2. В качестве независимых переменных могут использоваться различные напряжения и токи моделируемой схемы, а также переменная time, символизирующая текущее время моделирования. Над этими переменными можно производить различные математические и логические операции (табл. 1), а также использовать их в качестве аргументов различных математических и логических функций (табл. 2).

#### Синтаксис команды:

##### для источника напряжения:

```
Bnnn n001 n002 V=<выражение> [ic=<значение>]
+ [tripdv=< значение >] [tripdt=< значение >]
+ [laplace=<выражение> [window=<time>]]
+ [nfft=<число>] [mtol=<число>]]
```

##### для источника тока:

```
Bnnn n001 n002 I=<выражение> [ic=< значение >]
+ [tripdv=< значение >] [tripdt=< значение >]
[Rpar=< значение >]
+ [laplace=< выражение > [window=<time>]]
+ [nfft=< число >] [mtol=< число >] ]
<выражение> – функциональное выражение.
```

Операторы **tripdv** и **tripdt** определяют шаг изменения значения сигнала источника. Если, например, напряжение меняется больше чем на **tripdv** вольт за **tripdt** секунд, то временной шаг моделирования игнорируется.

Для источника тока параллельное сопротивление может быть определено параметром Rpar.

Рассмотрим пример использования функционального источника напряжения на модели диммера, которая имеется в составе поставляемых вместе с программой примеров. Схема модели приведена на рис. 2.

**Таблица 1. Математические и логические операции**

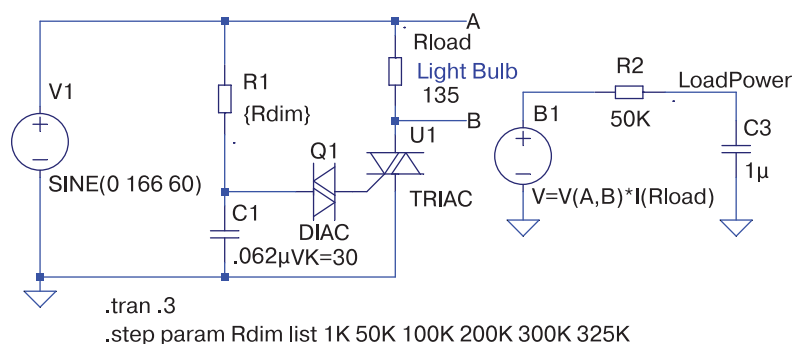
Операнд	Выполняемая операция
&	Преобразование операнда к Булевой переменной и выполнение операции И
	Преобразование операнда или выражения к Булевой переменной и выполнение операции ИЛИ
^	Преобразование операнда или выражения к Булевой переменной и выполнение операции исключающее ИЛИ
<	Истина, если выражение слева меньше, чем выражение справа, иначе ложь
>	Истина, если выражение слева больше, чем выражение справа, иначе ложь
<=	Истина, если выражение слева меньше, чем или равно выражение справа, иначе ложь
>=	Истина, если выражение слева больше, чем или равно выражение справа, иначе ложь
+	Сложение с плавающей запятой
-	Вычитание с плавающей запятой
*	Умножение с плавающей запятой
/	Деление с плавающей запятой
**	Возведение в степень (возвращается только вещественная часть, т. е. $-1^{**0.5}$ даст ноль. а не $i$ )
!	Преобразование выражения к Булевой переменной и инвертирование
@	Оператор выбора шага

**Таблица 2. Математические и логические функции**

Функция	Описание
abs(x)	Абсолютное значение x
absdelay(x,t[,tmax]) или delay(x,t[,tmax])	Задержка x на время t. Опционально максимальное время задержки tmax
acos(x) или arccos(x)	Действительная часть arccos(x), Например, acos(-5) возвращает значение 3.14159, а не 3.14159+2.29243i
acosh(x)	Действительная часть гиперболического косинуса ch(x). Например, acosh(.5) возвращает значение 0, а не 1.0472i
asin(x) или arcsin(x)	Действительная часть arcsin(x). Например, asin(-5) равно -1.57080, а не -1.57080+2.29243i
asinh(x)	Гиперболический синус sh(x)
atan(x) или arctan(x)	arctg(x)
atan2(y,x)	Четырехквadrантный arctg(y/x)
atanh(x)	Гиперболический арктангенс arcth(x)
buf(x)	1, если $x > .5$ , иначе 0
ceil(x)	Целое число, равное или большее x
cos(x)	Косинус x
cosh(x)	Гиперболический косинус ch(x)
ddt(x)	Производная по времени от x
dnlim(x,y,z)	Аналогично max (x,y), но с непрерывной 1-й производной ширины перехода z
exp(x)	$e^x$
floor(x)	Целое число, равное или меньшее x
hypot(x,y)	$\sqrt{x^{**2} + y^{**2}} = \sqrt{x^2 + y^2}$
idt(x[,ic[,a]])	Интеграл от x, начальное состояние ic, сбросить, если это истина

**Продолжение таблицы 2**

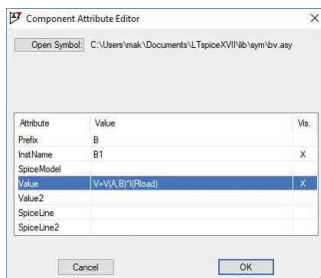
Функция	Описание
idtmod(x[,ic[,m[,o]]])	Интеграл от x, начальное состояние ic, сброс при достижении абс. значения m, выход смещения o
if(x,y,z)	Если x > .5, затем y иначе z
int(x)	Преобразование x в целое число
inv(x)	0, если x > .5, иначе 1
limit(x,y,z)	Промежуточное значение x, y и z
ln(x)	Натуральный логарифм x
log(x)	Альтернативный синтаксис для ln()
log10(x)	Десятичный логарифм
max(x,y)	Больше x или y
min(x,y)	Меньше x или y
pow(x,y)	Действительная часть $x^{**}y = xy$ . Например, pow(-1,.5)=0, без i
pwr(x,y)	$abs(x)**y = abs(x)y$
pwrS(x,y)	$sgn(x)abs(x)**y = sgn(x)abs(x)y$
rand(x)	Случайное число от 0 до 1 в зависимости от целочисленного значения x
random(x)	Аналогично rand (), но плавные переходы между значениями
round(x)	Ближайшее целое число x
sdt(x[,ic[,assert]])	Альтернативный синтаксис для idt()
sgn(x)	1 при x > 0, 0 при x = 0 и -1 x < 0
sin(x)	Синус x
sinh(x)	Гиперболический синус sh(x)
sqrt(x)	Квадратный корень x
table(x,a,b,c,d,...)	Интерполировать значение для x на основе таблицы (задается множеством пар точек)
tan(x)	Тангенс x
tanh(x)	Гиперболический тангенс th(x)
u(x)	Шаг изменения – 1 если x > 0., иначе 0
uplim(x,y,z)	Аналогично min (x,y), но с непрерывной 1-й производной ширины перехода z
uramp(x)	x, если x > 0., иначе 0
white(x)	Случайное число между - .5 а .5. Более плавные переходы между значениями, чем random ()
!(x) или ~(x)	Альтернативный синтаксис для inv(x)


**Рис. 2. Модель для исследования диммера**



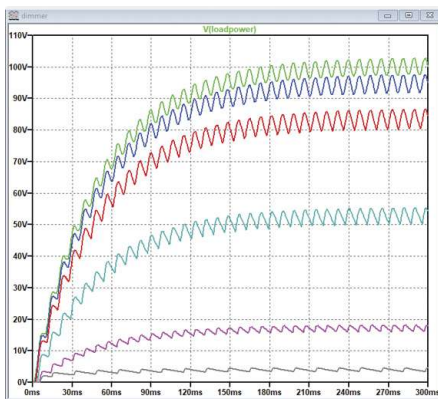
Управление яркостью свечения лампы (Light Bulb) осуществляется с помощью тиристора U1. Угол отсечки тока определяется временем заряда конденсатора C1 до порога отпирания диода Q1. В модели предусмотрено дискретное изменение сопротивления резистора R1 от 1 кОм до 325 кОм. Шаг изменения сопротивления задается командой, отображаемой в нижней части рис. 2 – **.step param Rdim list**.

На вход диммера подается переменное напряжение 166 В/60 Гц от генератора V1. Для контроля напряжения на нагрузке используется функциональный источник напряжения V1, который формирует на своем выходе сигнал, пропорциональный мгновенной мощности на нагрузке (рис. 3). В строке Value значение напряжения определено как произведение разности напряжений между точками А и В (т.е. напряжения на сопротивлении нагрузки Rload), помноженное на ток в нагрузке I(Rload). Для того чтобы увидеть огибающие кривых, показывающих изменения мощности, на выходе V1 включен фильтр нижних частот.



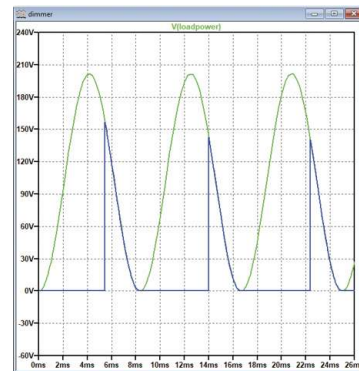
**Рис. 3. Строка атрибутов функционального источника напряжения V1**

На рис. 4 приведены зависимости мощности в нагрузке от времени для различных значений сопротивления резистора R1, измеренные на выходе ФНЧ.



**Рис. 4. Кривые мощности в нагрузке, измеренные на выходе ФНЧ**

Чтобы проконтролировать как меняется угол отсечки, достаточно отключить конденсатор C3 (рис. 2). Для того, чтобы не загромождать график большим количеством кривых, в командной строке были внесены изменения и она была записана так **.step param Rdim list 1K 300K**. В этом случае будет построено два графика – для сопротивления резистора R1, равного 1 и 300 кОм, которые приведены на рис. 5.



**Рис. 5. Изменение угла отсечки тока при изменении сопротивления резистора R1 от 1 кОм (зеленый) до 300 кОм (синий)**

Как следует из рис. 5, при сопротивлении резистора R1 равном 1 кОм, вся мощность передается в нагрузку, а при R1 = 300 кОм – только малая часть. Угол отсечки тока составляет примерно 270°.

Рассмотрим еще один пример использования функционального источника напряжения. На рис. 6 приведена схема амплитудного модулятора, построенного нетрадиционным способом. Модулятором служит источник напряжения V1, а источниками несущего и модулирующего колебаний – генераторы напряжений V1 и V2, соответственно.

Генератор несущего колебания V1 формирует сигнал с частотой 100 кГц и амплитудой 1 В (запись в командной строке SINE(0 1 100000)), а генератор V2 – сигнал с частотой 5 кГц, амплитудой 1 В и постоянной составляющей 2 В (запись в командной строке SINE(2 1 5000)).

Для того, чтобы удобно было описывать функцию, которую должен выполнять функциональный источник напряжения, разместим две точки Label NET на выходах генераторов V1 (точка А) и V2 (точка В). Генератор V1 в рассматриваемом примере выполняет функцию аналогового перемножителя (запись в командной строке **V=V(A)\*V(B)**).

Схему можно упростить за счет исключения резисторов R1 и R2 (рис. 7). Результат работы такого модулятора приведен на рис. 8.

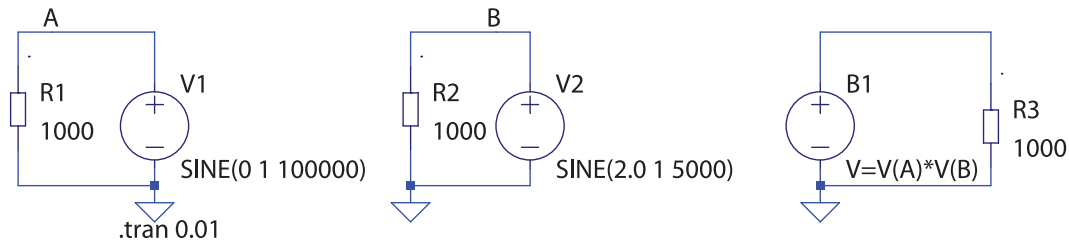


Рис. 6. Амплитудный модулятор на базе функционального источника напряжения

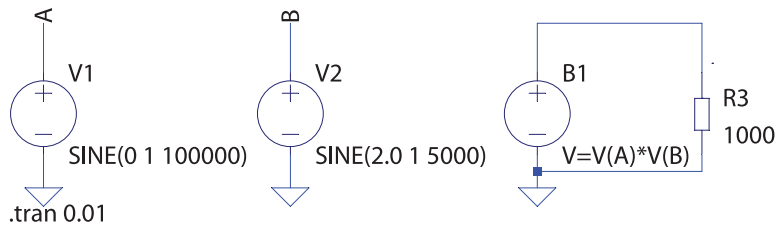


Рис. 7. Упрощенная схема амплитудного модулятора на базе функционального источника напряжения

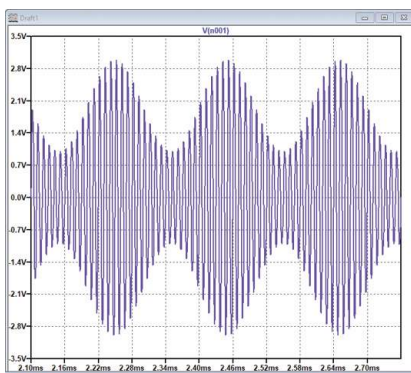


Рис. 8. Сигнал на выходе амплитудного модулятора

Если заменить команду генератора B1 на  $V=\sqrt{V(A)*V(B)}$ , то получим амплитудный детектор, форма сигнала на выходе которого, показана на рис. 9.

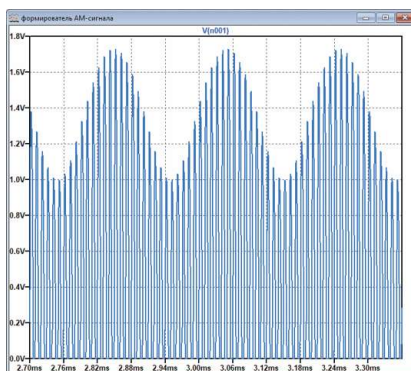


Рис. 9. Сигнал на выходе B1 при выполнении команды  $V=\sqrt{V(A)*V(B)}$

К сожалению, работа этих функциональных ис-

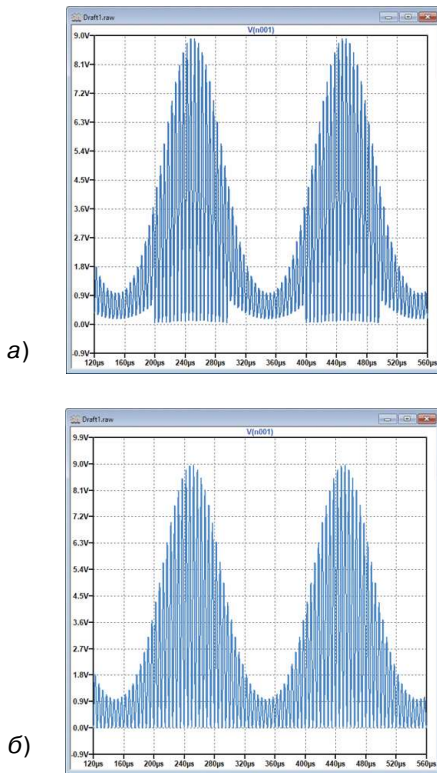
точников практически не описана в [1, 2] и в под-сказках самой программы. Кроме перечисления функций и операций, которые можно реализовать с помощью этих источников сигналов, другой информации там нет. Поэтому нужно быть осторожным в трактовке полученных результатов.

Приведем простой пример. Попробуем возвести в квадрат гармонический сигнал. В соответствии с правилами тригонометрии на выходе такого устройства должны получить

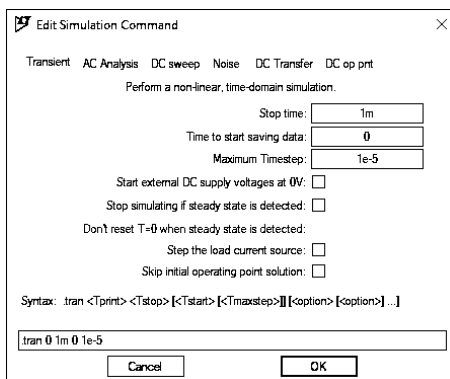
$$(\cos x)^2 = 0.5 + 0.5\cos 2x,$$

т.е. гармонический сигнал удвоенной частоты под-нятый над осью x. Воспользуемся, моделью приве-денной на рис. 7, и введем команду  $V=(V(A)*V(B))^2$ , т.е. возведем в квадрат АМ-сиг-нал с частотой несущего колебания равной 100 кГц. Результат моделирования приведен на рис. 10,а. Как видно из рисунка, форма сигнала значительно искажена и не соответствует ожидаемой. Результат возведения в квадрат, полученный в программе Multisim, показывает совершенно другой результат. Следовательно, неверно установлены параметры моделирования.

Для изменения параметров моделирования не-обходимо, находясь в окне, где размещена модель (после проведения моделирования открывается второе окно, в котором строятся графики измерен-ных сигналов), выбрать пункт меню Simulate/Edit Simulation Cmd и в открывшемся окне (рис. 11) за-дать значение временного шага интегрирования Maximum Timestep равное  $10^{-7}$  с. По умолчанию в этом окошке ничего не записано, что соответствует шагу, равному  $10^{-5}$  с, установленному по умолча-



**Рис. 10. Результат возведения в квадрат АМ-сигнала при Maximum timestep равном  $10^{-5}$  с (а), и Maximum timestep  $10^{-7}$  с (б)**



**Рис. 11. Окно настройки параметров моделирования**

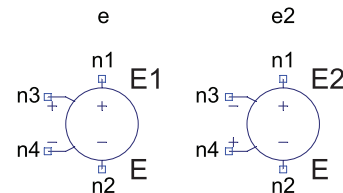
нию. В результате была получена форма выходного сигнала, приведенная на рис. 10,б. Полученный результат верен и соответствует ожидаемому.

Следовательно, при работе с сигналами, частота которых превышает 1 кГц, следует проверить верность полученных результатов, уменьшив значение Maximum Timestep. Конечно, при этом время симуляции увеличится во столько раз, во сколько раз уменьшится Maximum Timestep. Но это даст уверенность в том, что получен верный результат.

В [1] по этому вопросу есть одна фраза "... в окне Edit Simulation Command, выбрав вкладку Transient, можно определить время начала записи результатов моделирования (Time to Start Saving Data) и максимальный шаг интегрирования (Maximum Timestep). Если шаг интегрирования не указан, то программа сама выбирает для него максимально возможное значение". В [2] вообще нет упоминаний этого параметра. Как показал эксперимент, полагаться на автоматический выбор шага интегрирования небезопасно.

**Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)**

Для реализации многих функций можно воспользоваться источниками напряжения, управляемыми напряжением (ИНУН), которые в программе обозначены как Voltage depended voltage source, а в библиотеке элементов как e и e2. На схеме они отображаются так, как показано на рис. 12, т.е. абсолютно одинаково, но полярность напряжения управления у них противоположна.



**Рис. 12. Отображение источников напряжения e и e2, управляемых напряжением, на схеме**

Как указано в [1], в программе предусмотрено использование пяти типов ИНУН, а источник [2] указывает только на три типа источников. В подсказке к программе также указывается только три типа источников.

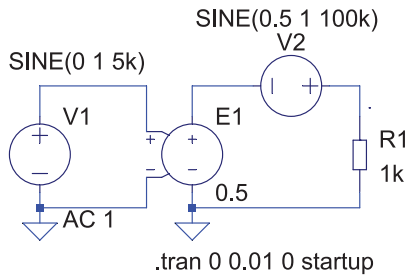
**Первый тип ИНУН**

**Синтаксис:** Exxx n1 n2 n3 n4 <GAIN>, где GAIN – коэффициент передачи.

Этот тип ИНУН обеспечивает выходное напряжение между узлами n1 и n2, которое линейно зависит от управляющего напряжения, приложенного между узлами n3 и n4. Связь между напряжениями управления и на выходе ИНУН определяется коэффициентом передачи GAIN.

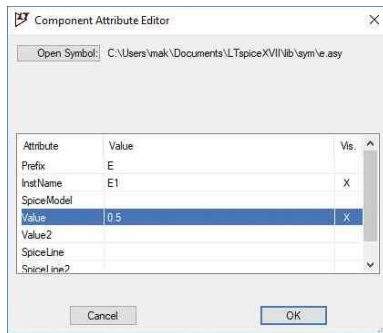
Проиллюстрируем примером использование первого типа ИНУН. На рис. 13 приведена схема сумматора, реализованного с помощью ИНУН.

Сумматор предназначен для формирования сиг-



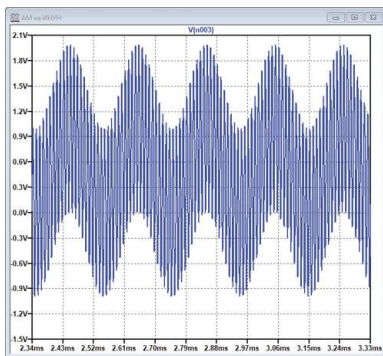
**Рис. 13. Схема сумматора с использованием ИНУН первого типа**

нала, соответствующего сумме сигналов двух генераторов, и смещенного вверх на 0.5 В. Генератор V1 формирует сигнал частотой 5 кГц с амплитудой 1 В, а генератор V2 – сигнал частотой 100 кГц с постоянной составляющей 0.5 В. Коэффициент передачи ИНУН задан равным 0.5 (рис. 14). Изменяя его величину, можно менять коэффициент передачи от выхода генератора V1 до выхода сумматора.



**Рис. 14. Настройки ИНУН первого типа для реализации сумматора**

После проведения анализа переходных процессов (Transient) получим на резисторе R1 напряжение, форма которого соответствует поставленной задаче (рис. 15).



**Рис. 15. Форма сигнала на выходе сумматора**

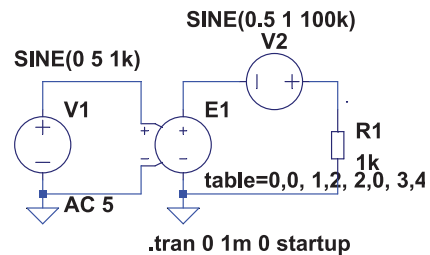
**Второй тип ИНУН**

**Синтаксис:** Exxx n1 n2 n3 n4 table=( < пара значений>, < пара значений >, ...)

В таблице, состоящей из нескольких пар чисел, задается коэффициент передачи ИНУН. Первая цифра пары задает значение напряжения управления, а вторая – напряжение на выходе ИНУН.

Выходное напряжение линейно интерполируется между точками, заданными для входного напряжения в таблице. Если напряжение управления оказывается вне диапазона таблицы, выходное напряжение экстраполируется как постоянное напряжение, заданное в последней точке таблицы.

На рис. 16 приведен пример формирования сигнала сложной формы с помощью ИНУН второго типа. В таблице заданы следующие пары чисел table=0,0, 1,2, 2,0, 3,4. На вход управления подается гармонический сигнал амплитудой 5 В, частотой



**Рис. 16. Использование ИНУН второго типа для формирования напряжения сложной формы**

1 кГц с выхода генератора V1. Напряжение на выходе ИНУН приведено на рис. 17,а.

Как следует из рис. 17,а, напряжение на выходе ИНУН соответствует 0 при Uвх = 0.2 В при Uвх = 1 В, 0 при Uвх = 2 В и 4 В при Uвх = 3 В. Между точками напряжение изменяется по линейному закону (интерполируется).

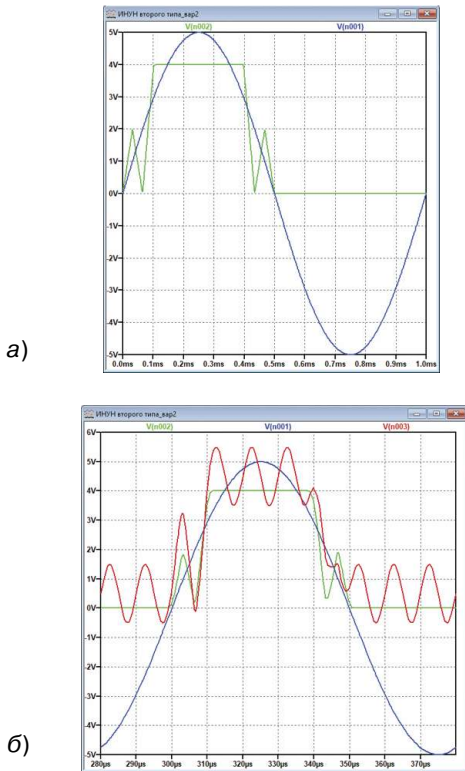
При изменении частоты входного сигнала выяснилось, что скорость нарастания напряжения на выходе ИНУН ограничена. На рис. 17,б приведена форма сигналов на выходах V1, E1 (зеленого цвета) и напряжение на резисторе R1 (красного цвета).

Анализ напряжения на выходе ИНУН **показал, что скорость изменения выходного напряжения не превышает 4.5 В/мкс**. Уменьшив Maximum Timestep до значения 10<sup>-6</sup> с, получим верный результат. Если частоту сигнала управления увеличить до 100 кГц, то Maximum Timestep придется уменьшить до 10<sup>-7</sup> с.

**Третий тип ИНУН**

**Синтаксис:** Exxx n1 n2 n3 n4 Laplace=<func(s)> + [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]  
 Передаточная функция этого схемного элемента определена с помощью преобразования Лапласа.





**Рис. 17. Форма сложного сигнала, сформированного с помощью ИНУН при частоте сигнала управления 1 кГц (а) и 10 кГц (б)**

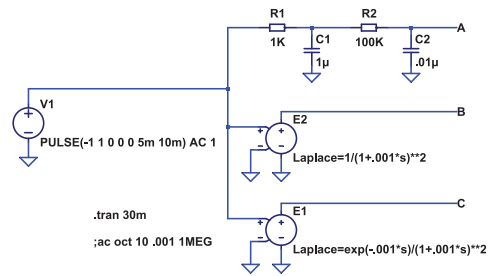
В свою очередь передаточная функция является функцией комплексной переменной  $s$ . Следует обратить внимание на то, что символ " $\wedge$ ", обозначающий в LTspice логическую операцию исключающее ИЛИ (XOR), в выражении Лапласа обозначает возведение в степень.

При расчете частотных характеристик (AC-анализ) переменная  $s$  заменяется выражением  $2\pi f j - 1$ . Для перехода во временную область (Transient анализ) определяется импульсная переходная характеристика передаточной функции путем обратного преобразования Фурье частотной характеристики. Затем путем свертки импульсной характеристики с входным сигналом рассчитывается переходной процесс.

LTspice автоматически определяет соответствующий диапазон частот и разрешающую способность. Можно эти значения откорректировать, явно устанавливая параметры **nfft** и **window**. Обратная величина значения **window** – разрешающая способность по частоте. Значение **nfft** – наибольшее значение частоты.

Рассмотрим пример использования ИНУН третьего типа. Вместе с программой поставляется

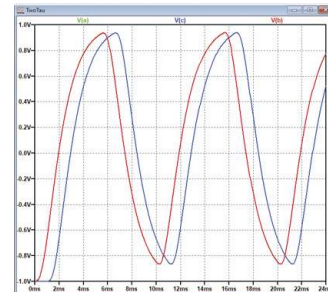
файл примера TwoTau.asc. Схема этой модели приведена на рис. 18.



**Рис. 18. Использование ИНУН для реализации ФНЧ второго порядка, построенного на пассивных звеньях**

Генератор V1 формирует прямоугольные импульсы со скважностью 2 и периодом следования 10 мс.

В верхней части схемы на резисторах R1, R2 и конденсаторах C1, C2 реализован пассивный ФНЧ второго порядка. Такую же функцию реализует ИНУН E2, передаточная функция которого записана в виде  $Laplace=1/(1+.001*s)**2$ . Для источника E1 в передаточной функции добавлен множитель и она выглядит как  $Laplace=exp(-.001*s)/(1+.001*s)**2$ . Результаты моделирования приведены на рис. 19.



**Рис. 19. Сигналы на выходах пассивного ФНЧ второго порядка и ИНУН2 (красный) и на выходе ИНУН1 (синий)**

Форма и амплитуда сигналов в точках А и В (рис. 18) абсолютно идентичны и на рис. 19 показаны красным цветом. Сигнал в точке С (рис. 18) сдвинут по времени на 1 мс, что соответствует множителю  $exp(-.001*s)$  в передаточной функции для E1.

Еще один пример использования ИНУН приведен в модели HalfSlope.asc, поставляемой вместе с программой. В [1] приведен пример реализации с помощью ИНУН передаточной функции усилителя ошибки ШИМ-контроллера TL494.

Альтернативный синтаксис описания источника с произвольной функцией изменения напряжения можно найти в подсказке программы и в [1].

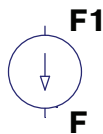
В [2] рекомендуется использовать эквивалентный источник тока, управляемый напряжением



(ИТУН) G, шунтируемый сопротивлением вместо ИНУН. ИТУН с шунтируемым сопротивлением требует меньше вычислительных затрат, чем ИНУН. Кроме того, выходное сопротивление, отличное от нуля, ближе к практическим схемам.

**Источник тока, управляемый током (ИТУТ)**

Источник тока, управляемый током, в программе обозначен как Current depended current source, а в библиотеке элементов как F. На схеме источник отображается так, как показано на рис. 20.

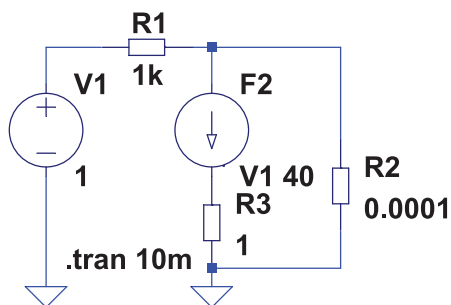


**Рис. 20. Отображение на схеме источника тока, управляемого током**

**Синтаксис:** Fxxx n1 n2 <Vnam> <GAIN>

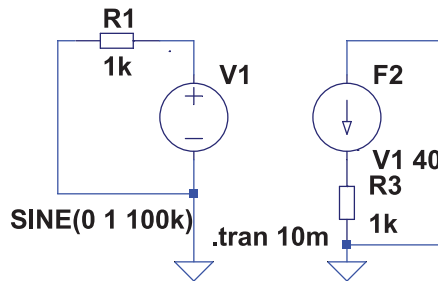
ИТУТ генерирует ток в GAIN раз больше тока, протекающего через источник напряжения Vnam.

Пример использования ИТУТ приведен на рис. 21. Источник постоянного напряжения V1 формирует напряжение 1 В. Ток, протекающий по цепи R1, R2, практически равен 1 мА. Ток, формируемый источником тока F2, задан в 40 раз больше, чем ток, протекающий через V1 (команда V1 40). Для контроля тока F2 использован резистор R3 сопротивлением 1 Ом. Измеренное на R3 падение напряжения составило 40 мВ, что соответствует току 40 мА.

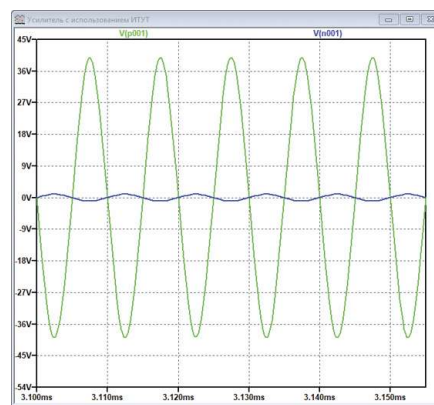


**Рис. 21. Пример использования ИТУТ в качестве усилителя постоянного тока**

На рис. 22 приведен пример использования ИТУТ в качестве гальванически развязанного усилителя. Усиленное напряжение частотой 100 кГц снимается с резистора R3. Форма и амплитуды сигналов на выходе V1 и на резисторе R3 приведены на рис. 23.



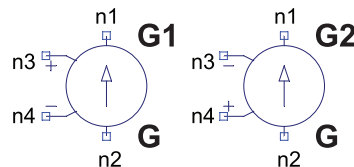
**Рис. 22. Пример использования ИТУТ в качестве гальванически развязанного усилителя переменного напряжения**



**Рис. 23. Напряжение на выходе генератора V1 (синий цвет) и на резисторе R3 (зеленый цвет)**

**Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)**

Обозначение источников тока, управляемых током (Current depended voltage source), обозначенных в библиотеке как g1 и g2, приведены на рис. 24. Как и для ИНУН источники отличаются только противоположной полярностью входов управления n3 и n4.



**Рис. 24. Отображение на схеме источников тока, управляемых напряжением**

Как и для ИНУН в программе предусмотрено использование трех типов ИТУН.

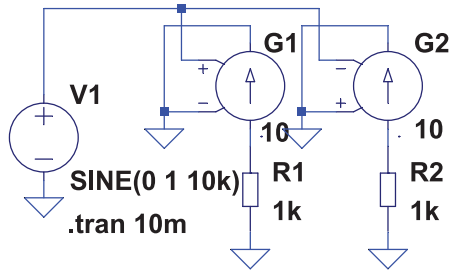
**ИТУН первого типа**

**Синтаксис:** Gxxx n1 n2 n3 n4 < GAIN>

Этот элемент задает ток между узлами n1 и n2, который линейно зависит от входного напряжения между узлами n3 и n4.

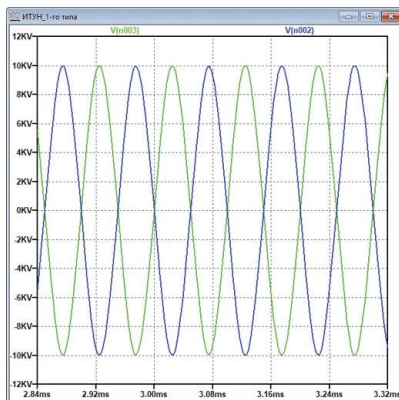
Пример использования ИТУН первого типа при-

веден на рис. 25. Генератор гармонического сигнала V1 формирует сигнал амплитудой 1 В с частотой 10 кГц. Последовательно с ИТУН G1 и G2, коэффициент передачи которых задан равным 10, включены резисторы сопротивлением 1 кОм. Как результат напряжение на резисторах R1 и R3 должно составить 10 кВ (произведение коэффициента усиления ИТУН, равного 10, и сопротивления резисторов  $10^3$  Ом составляет  $10^4$ ).



**Рис. 25. Использование ИТУН первого типа для формирования требуемого тока**

На рис. 26 приведены диаграммы напряжений на этих резисторах, которые соответствуют рассчитанным и измеренным значениям. А так как входы управления G1 и G2 имеют противоположную полярность, то и фазы напряжений на резисторах противоположны.



**Рис. 26. Результат работы ИТУН первого типа при формировании переменного тока**

### ИТУН второго типа

**Синтаксис:** Gxxx n1 n2 n3 n4 table=( $\langle$ два значения $\rangle$ ,  $\langle$  два значения  $\rangle$ , ...)

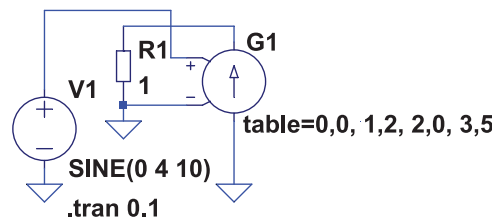
Таблица представляет собой набор пар чисел. Первое число обозначает напряжение управления, а второе – выходной ток при этом значении.

Когда напряжение управления находится между указанными точками, значение выходного тока ли-

нейно интерполируется.

Если напряжение управления оказывается вне диапазона значений, указанных в таблице, выходной ток экстраполируется как постоянный ток последней пары чисел таблицы.

Пример формирования тока, изменяющегося по сложному закону, с помощью ИТУН второго типа приведен на рис. 27. Для контроля величины тока, формируемого ИТУН G1, используется резистор R1 сопротивлением 1 Ом. Командная строка имеет вид **table=0,0, 1,2, 2,0, 3,5**. Закон изменения тока при гармоническом сигнале управления амплитудой 4 В приведен на рис. 28,а.

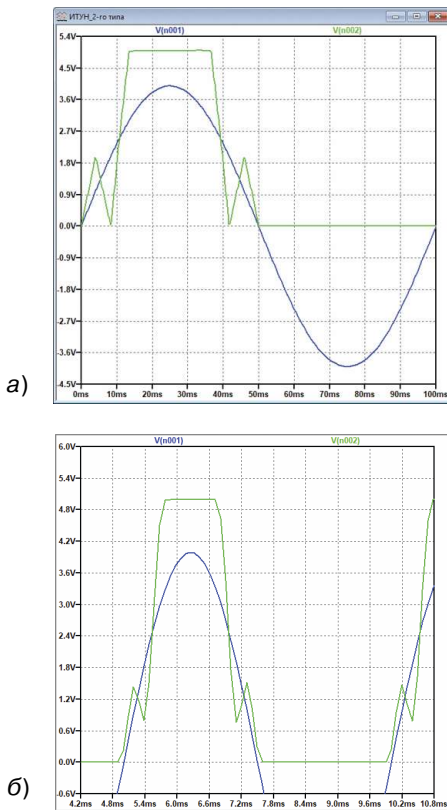


**Рис. 27. Использование ИТУН второго типа для формирования тока сложной формы**

При частоте сигнала генератора V1, равной 10 Гц, форма сигнала соответствует заданным в таблице параметрам. Если напряжение входного сигнала равно 0, то и напряжение на резисторе R1 тоже равно 0. При напряжении входного сигнала 1 В амплитуда напряжения на резисторе составляет 2 В. При  $U_{вх} = 2$  В напряжение  $U_{R1}$  опять равно 0, а при  $U_{вх}$ , равном 3 В, составит 5 В. Напряжение 5 В сохраняется до тех пор, пока  $U_{вх}$  не уменьшится до 2 В. Но если увеличить частоту сигнала до 200 Гц, то ток не успевает измениться до 0 и провалы напряжения при входном напряжении 2 В будут меньшей глубины, чем должны быть. В то же время ток при входном напряжении 1 В не достигает заданного значения. Вместо  $U_{R1} = 2$  В напряжение достигает значения только 1.4 В.

Это говорит скорее всего о неверном выборе шага интегрирования. По результатам, приведенным на рис. 28,б, можно сделать вывод о том, что скорость изменения тока на выходе такого источника не превышает 4.5 мА/мкс при значении Maximum Timestep, равном  $10^{-5}$  с. Т.е. аналогично ограничениям по скорости нарастания выходного напряжения ИТУН. Изменив значение Maximum Timestep до  $10^{-7}$ , с получим сигнал, аналогичный приведенному на рис. 28,а.

Как следует из этого эксперимента программа неверно определяет шаг интегрирования для слож-



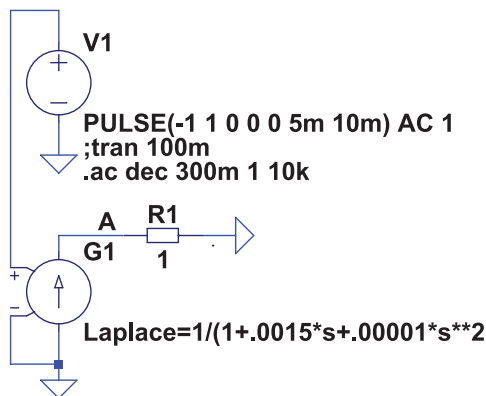
**Рис. 28. Результат работы ИТУН второго типа при формировании тока сложной формы**

ных сигналов и об этом не следует забывать.

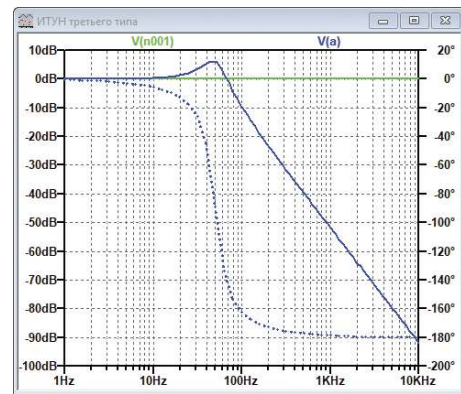
**ИТУН третьего типа**

**Синтаксис:** Gxxx n1 n2 n3 n4 Laplace=<func(s)> + [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]  
 Передаточная функция этого ИТУН определяется преобразованием Лапласа (аналогично ИНУН).

Использование ИТУН третьего типа во многом аналогично использованию ИНУН третьего типа. На рис. 29 приведена модель, реализующая звено ФНЧ



**Рис. 29. Использование ИТУН третьего типа для реализации звена ФНЧ второго порядка**



**Рис. 30. АЧХ и ФЧХ (пунктирная линия) звена ФНЧ второго порядка, реализованного на ИТУН третьего типа**

второго порядка на базе ИТУН, а на рис. 30 его АЧХ.

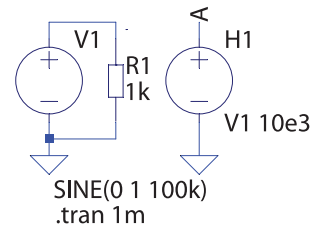
**Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)**

Пример источника напряжения, управляемого током (**Voltage depended current source**), обозначенного в библиотеке как h, приведено на рис. 31.

**Синтаксис:** Hxxx n1 n2 <Vnam> <GAIN>

ИНУТ формирует напряжение между узлами n1 и n2, равное произведению значения тока через источник напряжения с именем <Vnam>, умноженного на коэффициент передачи GAIN.

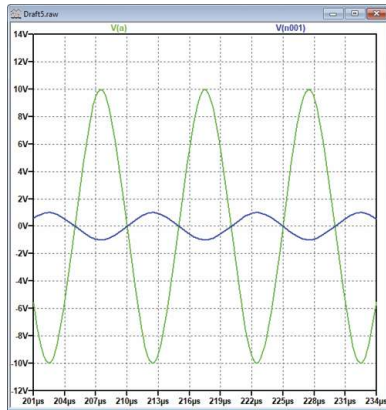
Пример использования ИНУТ приведен на рис. 31. Ток, формируемый в цепи, содержащей V1 (генератор гармонического сигнала частотой 100 кГц с амплитудой 1 В) и резистор R1, равен 1 мА. Коэффициент усиления ИНУТ H1 задан равным 10<sup>3</sup>.



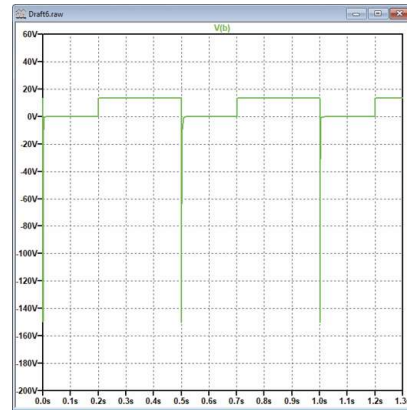
**Рис. 31. Пример использования ИНУТ для построения гальванически развязанного усилителя**

**Генераторы испытательных сигналов для тестирования электронного оборудования дорожного транспорта**

Генераторы представлены двумя моделями:  
 1. ISO 16750-2 – формирует один из тестовых сигналов в соответствии с требованиями стандарта



**Рис. 32. Диаграммы напряжений на выходах V1 (синяя) и ИНУТ Н1**

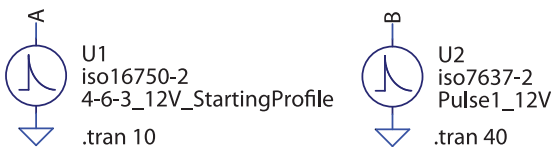


**Рис. 35. Импульс, формируемый генератором сигналов ISO ISO 7637-2**

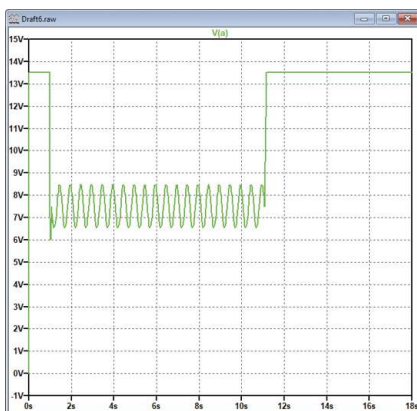
ISO 16750-2:2006 Транспорт дорожный. Условия окружающей среды и испытания электрического и электронного оборудования. Часть 2. Электрические нагрузки.

2. ISO 7637-2 – формирует один из тестовых сигналов в соответствии с требованиями стандарта ISO ISO 7637-2:2011 Транспорт дорожный. Электрические помехи, вызываемые проводимостью и взаимодействием. Часть 2. Нестационарная электропроводимость только по линиям электропитания.

Обозначения этих генераторов приведены на рис. 33, а формируемые ими сигналы – на рис. 34 и 35.



**Рис. 33. Условные обозначения генераторов испытательных сигналов ISO 16750-2 и ISO 7637-2**



**Рис. 34. Импульс, формируемый генератором сигналов ISO 16750-2**

С другими источниками сигналов и примерами их применения мы познакомимся в третьей части статьи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Володин В. Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.: ил.
2. Сохор Ю.Н. Моделирование устройств в LTSpice. Учебно-методическое пособие. Псковск. гос. политехн. ин-т. – Псков: Издательство ППИ, 2008. – 165 с.
3. [http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Timing/1hr\\_timer.htm](http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Timing/1hr_timer.htm)
4. <http://www.amarketplaceofideas.com/adding-series-4000-cmos-library-to-ltspice.htm>

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

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

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

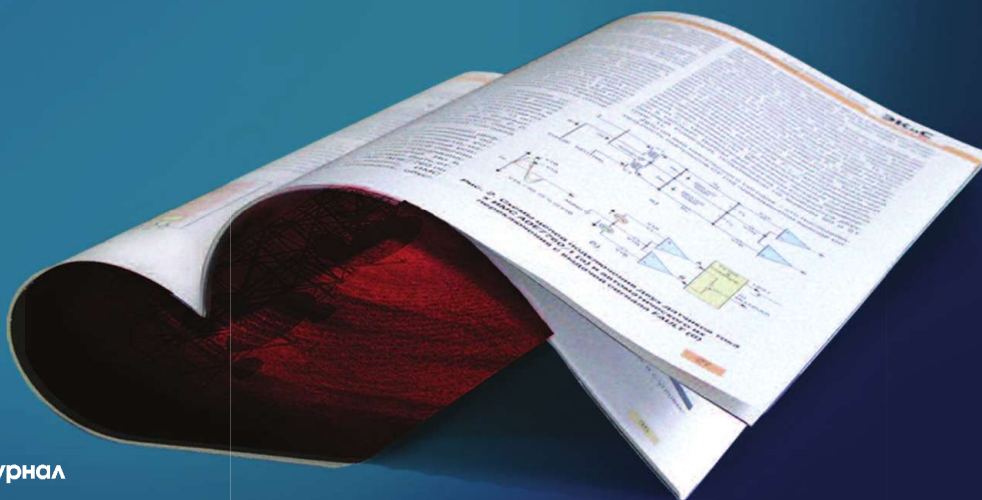


# ЭКИС

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ



Освещение последних событий в электронике



научно-технический журнал

## ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

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

### Оформление бесплатной подписки

Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!

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

- прислать по электронной почте на адрес [ekis@vdmals.ua](mailto:ekis@vdmals.ua) заявку с указанием:
  - Фамилии Имени Отчества
  - адреса своей электронной почты
  - названия организации, в которой Вы работаете, и города, в котором она располагается.

Подписчики журнала могут бесплатно получить любую статью из прошлых номеров.

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

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

### В журнале:

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

**ПОДПИСКА  
НЕ ЗАКАНЧИВАЕТСЯ НИКОГДА**



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ A2B ОТ ANALOG DEVICES ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

**В** статье кратко рассмотрены вопросы, возникающие при построении систем озвучивания помещений или больших открытых пространств. Показано, что применение технологии A2B, разработанной компанией Analog Devices, позволяет значительно снизить затраты на построение таких систем.



*В. Макаренко, А. Ярош*

Качественное звуковоспроизведение при проведении массовых мероприятий является необходимым атрибутом при их организации. Система звуковоспроизведения должна обеспечивать не только достаточный уровень звукового давления в любой точке озвучиваемого пространства, но и обеспечить высокую разборчивость речи.

На разборчивость, в свою очередь, влияет наложение прямого и отраженного от различных препятствий звуков в точке прослушивания. Для уменьшения влияния подобных наложений и обеспечения приемлемого значения разборчивости в концертных залах, конференц-залах и т.д. можно использовать один источник звукового сигнала большой мощности, расположенный вблизи сцены или трибуны, при условии, что стены, потолок и пол в помещении покрыты материалом с большим коэффициентом звукопоглощения для уменьшения уровня отраженного сигнала.

Но такой подход не всегда возможен или целесообразен по нескольким причинам. Слушатели, расположенные непосредственно возле источника акустического сигнала, могут быть оглушены звуком, в то время как слушатели, расположенные на большом расстоянии от источника, могут получить настолько слабый сигнал, что это приведет к значительному снижению разборчивости. Все это создает весьма некомфортные условия для прослушивания как музыки, так и речи.

Более рациональный подход заключается в использовании распределенной системы звуковоспроизведения с большим количеством громкоговорителей малой мощности, расположенных на относительно небольшом расстоянии друг от друга. Та-

## THE USE OF TECHNOLOGY A2B FROM ANALOG DEVICES FOR MULTICHANNEL SOUND SYSTEMS

**Abstract** – The article briefly discusses the issues arising in the construction of sound systems of premises or large open spaces. It is shown that the application of A2B technology, developed by Analog Devices, can significantly reduce the cost of designing such systems.

*V. Makarenko, A. Yarosh*

кое построение системы позволяет обеспечить значительно более равномерное звуковое поле во всем озвучиваемом пространстве.

Однако при таком построении системы возникает проблема наложения звуковых колебаний соседних громкоговорителей, что будет приводить к ухудшению разборчивости речи. Чтобы уменьшить влияние этого явления, необходимо воспроизводить сигналы удаленными громкоговорителями с некоторой задержкой по отношению к близко расположенным, чтобы звуковое поле формировалось аналогично тому, как это происходит при отсутствии системы звукоусиления.

В высококачественных системах многоканального звуковоспроизведения вносятся соответствующие задержки в каждый канал звуковоспроизведения. Если задержку в процессе работы такой системы можно изменять, то это дает возможность создания различных звуковых эффектов – эха, реверберации, воображаемого перемещения объекта в пространстве и т.п.

Правильно установленное время задержки в многоканальных системах звуковоспроизведения имеет важное значение, так как оказывает значительное влияние на разборчивость речи, которая также характеризуется показателем качества передачи речи STI (Speech Transmission Index) [1].

В табл. 1 приведены сравнительные данные по оценке разборчивости с помощью различных критериев [2]. Из приведенных в таблице данных следует, что значение STI полностью характеризует разборчивость речи и его можно использовать в качестве критерия для оценки качества системы звуковоспроизведения.

**Таблица 1. Сравнительная оценка разборчивости речи по различным критериям**

Рейтинг разборчивости	Оценка разборчивости простых предложений, %	Число разборчивых слов, %	STI
Отличная	100	> 98	> 0,75
Хорошая	100	93...98	0.60...0.75
Удовлетворительная	100	80...93	0.45...0.60
Низкая	70...100	60...80	0.30...0.45
Плохая	< 70	< 60	< 0.30

Индекс передачи речи является объективным физическим показателем качества передачи речи. Значение STI может изменяться от 0 до 1 и характеризует качество канала передачи речи. Если значение STI равно 1, то разборчивость речи отличная. Чем ближе значение STI приближается к нулю, тем больше речевой информации теряется. В [2] можно найти информацию о связи STI и различными субъективными тестами разборчивости (например, тест при использовании фонетически сбалансированных списков слов).

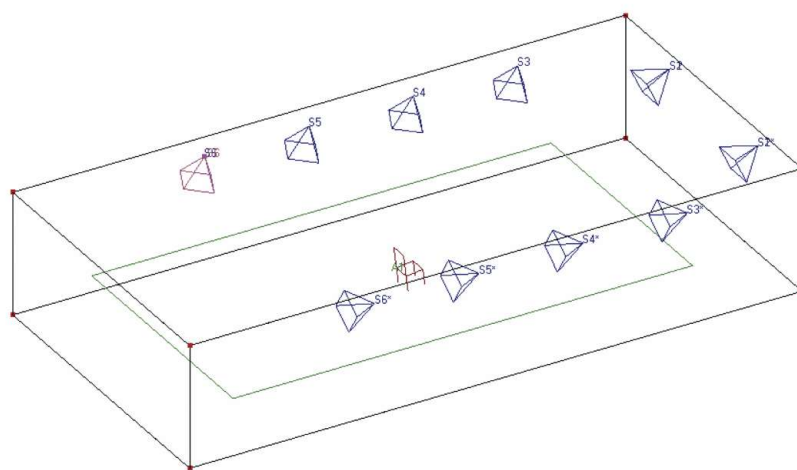
Принцип, на котором основывается STI, заключается в том, что информация в речи представлена в виде модулированных акустических колебаний. Произнесение речи, по сути, не что иное, как последовательность модулированных тональных и шумовых сигналов. Потеря части этих последовательностей приводит к потере разборчивости.

Если речь идет о людях не носителях языка или людях с проблемами слуха, то вероятность понимания речи уменьшается и имеет другие значения. В то же время значение STI не зависит от знания языка тем или иным человеком, поскольку характеризу-

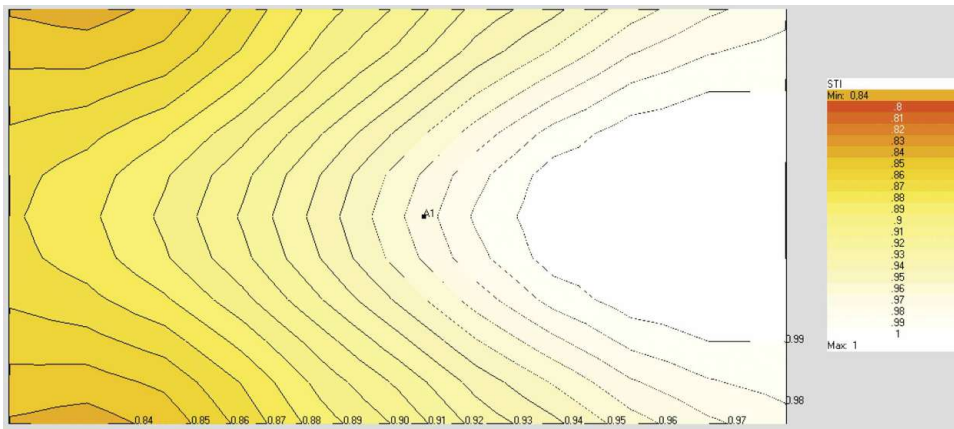
ет качество передачи в канале физической передачи звука.

Для оценки влияния времени задержки на значение STI в программе акустического моделирования Enhanced Acoustic Simulator for Engineers v.4.3.8 (EASE) проведено исследование характеристик помещения 20×10×4 м с акустически обработанными поверхностями. Средний коэффициент поглощения поверхностей 80%. В помещении расположены 10 громкоговорителей (по 5 с каждой стороны), как показано на рис. 1.

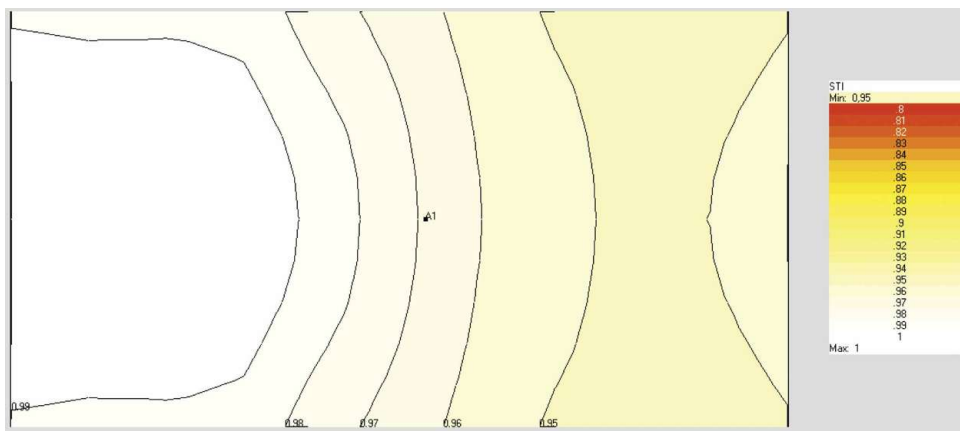
Влияние задержки сигнала на STI (а, следовательно, и на разборчивость речи) иллюстрируют рис. 2 и 3. Из рисунков следует, что даже для такого сравнительно небольшого помещения выигрыш по индексу STI при формировании звуковых сигналов с задержкой составляет не менее 0.11. Если учесть, что при увеличении размеров помещения индекс STI в его конце будет значительно меньше, то использование системы формирования звука с задержкой может стать жизненно необходимой. В случае же некритичного уменьшения индекса STI применение задержки сигналов позволит повысить



**Рис. 1. Модель помещения с распределенной системой громкоговорителей**



**Рис. 2. Значение индекса STI в различных точках помещения при формировании звукового сигнала громкоговорителями одновременно**



**Рис. 3. Значение индекса STI в различных точках помещения при формировании звукового сигнала с задержкой для каждой группы громкоговорителей**

качество звучания.

Формировать задержанные сигналы для каждой группы громкоговорителей можно с помощью многоканальных цифровых линий задержки. Например, PADL-7101 (с аналоговыми выходами) или PAAD-7102 (с цифровыми выходами) [3].

Следует учесть, что использование многоканальных линий задержки с аналоговыми выходами приводит к необходимости прокладки к каждому громкоговорителю отдельной линии связи. Это увеличивает стоимость системы, усложняет ее монтаж и увеличивает время, необходимое для развертывания такой системы. При использовании линий задержки с цифровыми выходами можно осуществлять передачу данных с временным уплотнением по одной линии связи, но это потребовало бы разработки дополнительных устройств для формирования как сигналов передатчика и приемников, так и разработки устройств, формирующих сигналы управления.

Наиболее простые решения для таких систем предлагает компания Analog Devices, используя новую технологию передачи данных и шину для ее реализации, которая получила название A2B (Automotive Audio Bus) [4]. Хотя технология предназначалась для использования в автомобилях, это не мешает использовать ее в других приложениях.

Шина оптимизирована для аудио приложений и обеспечивает высокое качество звука при снижении стоимости системы в несколько раз по сравнению с используемыми в автомобильной промышленности системами.

Шина A2B обеспечивает пропускную способность 50 Мбит/с по неэкранированной витой паре на расстоянии до 15 м между соседними устройствами. Управление всеми устройствами, подключенными к шине, осуществляется по шине I<sup>2</sup>S, а передача данных – по I<sup>2</sup>S.

Передача данных осуществляется путем мультиплексирования (передачи данных с временным раз-

делением каналов). Одновременно с передачей данных обеспечивается двусторонняя синхронизация данных, времени, сигналов управления и напряжения питания по одиночной или двойной витой паре.

Параметры микросхем, выпускаемых компанией Analog Devices, для поддержки технологии A2B приведены в табл. 2.

Технология A2B обеспечивает прямое подключение между устройствами, а также между целой цепочкой устройств. Одно из устройств является ведущим (мастером), а остальные – ведомыми. В качестве ведущего используется приемопередатчик и хост-контроллер. Он является генератором временных меток, осуществляет синхронизацию и кадрирование всех подчиненных узлов. Ведущее устройство программируется по шине I<sup>2</sup>C. Расширение этой шины управления встраивается в поток данных шины A2B, делая возможным прямой доступ к регистрам и информации о состоянии ведомых приемопередатчиков.

Кроме передачи сигналов все приемопередатчики обеспечивают возможность регулировки внешней задержки. Это в свою очередь позволяет отказаться от использования дополнительных цифровых линий задержки при построении многоканальных систем звуковоспроизведения.

При последовательном соединении нескольких устройств, поддерживающих технологию A2B, при расстоянии между соседними узлами до 15 м шина способна обеспечить передачу не только семи высококачественных звуковых сигналов, но также и передачу видеосигнала. Передача цифровых сигналов звука по шине может осуществляться с частотой дискретизации 44.1 или 48 кГц. Поддерживается разрядность цифровых слов 12, 16 и 24 бита. Это

обеспечивает значительную гибкость системы и возможность подключения многих аудиоустройств ввода/вывода.

Диагностика на системном уровне является важным компонентом технологии. Все устройства, подключенные к шине, имеют возможность идентифицировать разные неисправности. В том числе:

- замыкание проводов между собой
- замыкание провода на общий провод или на шину питания.

Благодаря таким свойствам системы в случае возникновения неисправности в любом узле он отключается, а все узлы, расположенные между ним и мастером, продолжают функционировать.

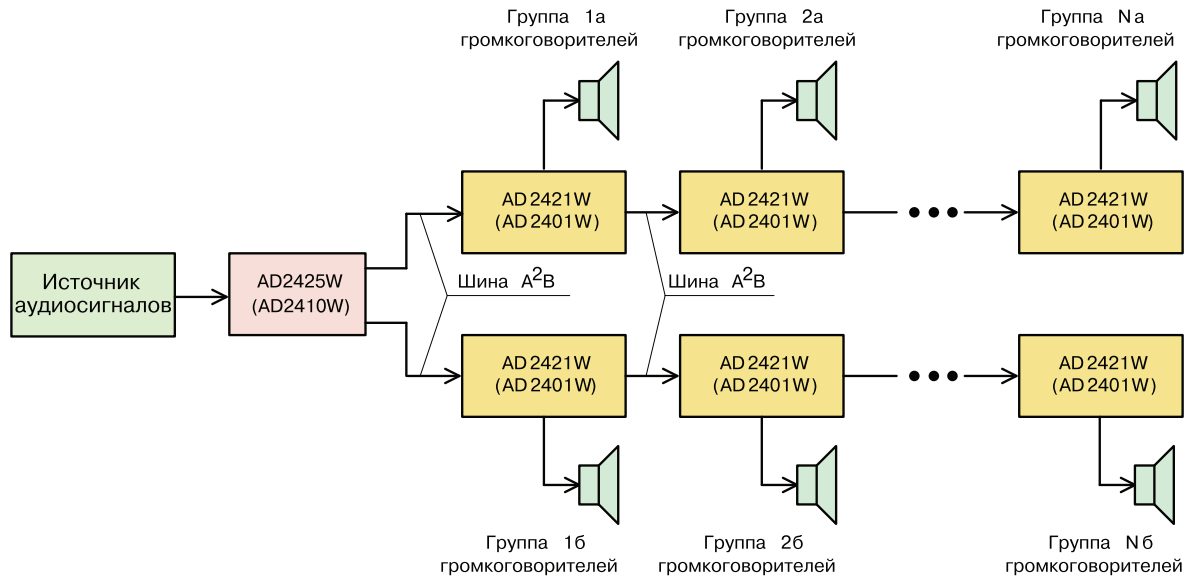
Данная технология разрабатывалась для использования в автомобильной промышленности, о чем говорит название – Automotive Audio Bus, что в переводе с английского означает автомобильная аудио шина. Но широкий спектр преимуществ позволяет использовать ее и для озвучивания помещений, в частности, концертных залов средних размеров (так как высокая скорость обмена обеспечивается на расстояние до 60 м) и конференц-залов. Так как для систем озвучивания не требуется скорость передачи 50 Мбит/с, то при необходимости расстояние может быть увеличено при соответствующем снижении скорости передачи информации.

На рис. 4 приведена структурная схема системы озвучивания, построенной на основе технологии A2B.

Источник звукового сигнала подключается к одному из входов приемопередатчика, поддерживающего функцию "мастер". Для каждой группы громкоговорителей программируется необходимая задержка с помощью графической среды SigmaStudio™, которая позволяет настроить регистры всех

**Таблица 2. Основные параметры приемопередатчиков для реализации шины A2B**

Параметр	AD2401W	AD2402W	AD2410	AD2421W	AD2422W	AD2425W
Функция "мастер"	–	–	+	–	–	+
Число приемопередатчиков в ИМС	1 (А)	2 (А и В)	2 (А и В)	1 (А)	2 (А и В)	2 (А и В)
Поддержка I <sup>2</sup> S/TDM	–	–	+	–	–	+
Число микрофонных входов	4	4	4	4	4	4
Максимальная длина кабеля между соседними узлами, м	10	10	10	15	15	15
Диапазон рабочих температур, °С	-40...105	-40...105	-40...105	-40...105	-40...105	-40...105



**Рис. 4. Структурная схема многоканальной системы звуковоспроизведения с использованием шины A2B**

устройств, используя дружелюбный пользовательский интерфейс [4]. Необходимые задержки можно получить расчетным путем, зная расстояние между группами громкоговорителей. В зависимости от выбранного приемопередатчика это расстояние может изменяться. Для AD2425W в паре с AD2421W максимальное расстояние между громкоговорителями соседних групп будет составлять 15 м, а для пары AD2410W в паре с AD2401W – 10 м.

Ведущий приемопередатчик (мастер) передает данные в цифровом виде по шине A2B к последовательно соединенным ведомым приемопередатчикам. Они, в свою очередь, полученный сигнал преобразуют в аналоговый и направляют на соответствующие группы громкоговорителей. Следует отметить, что в такой системе желательно использовать активные громкоговорители (со встроенными усилителями мощности) для упрощения монтажа системы.

Из материала, изложенного в статье, можно сделать вывод о том, что применение технологии A2B для построения многоканальных систем звуковоспроизведения позволяет не только сократить количество необходимого кабеля, но и значительно уменьшить число компонентов системы звуковоспроизведения, что в свою очередь приведет к снижению стоимости системы.

## ЛИТЕРАТУРА

- <https://www.embeddedacoustics.com/index.php/speech-transmission-index>.
- Tammo Houtgast, Herman Steeneken Past, present and future of the Speech Transmission Index Published by: TNO Human Factors, The Netherlands, 2002. – 159 p.  
(<http://publications.tno.nl/publication/34618897/YqAj4j/houtgast-2002-past.pdf>).
- [http://www.profit.ru/RUSSIAN/acp\\_cap\\_iz.html](http://www.profit.ru/RUSSIAN/acp_cap_iz.html).
- В. Макаренко Новые технологии от Analog Devices для построения мультимедийных систем автомобиля / Электронные компоненты и системы, № 1(213), 2016, с. 36-43 [[http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2016/V.Makarenko\\_New\\_technology\\_from\\_Analog\\_Devices%20to%20build%20car%20multimedia%20systems\\_EKIS\\_1\\_2016.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2016/V.Makarenko_New_technology_from_Analog_Devices%20to%20build%20car%20multimedia%20systems_EKIS_1_2016.pdf)].
- <http://www.analog.com/en/landing-pages/001/a2b.html>.

## VD MAIS

### Печатные платы



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

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

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





# Технологические материалы фирм AIM и Electrolube



**ELECTROLUBE**  
THE SOLUTIONS PEOPLE

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

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



**VD MAIS** – официальный дистриб'ютор компаний AIM и Electrolube в Украине

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

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ MULTEFIRE

В статье приведена краткая информация об особенностях и достоинствах новой технологии беспроводной связи LTE, предназначенной для повышения скорости передачи данных и увеличения радиуса обслуживания. Особенностью новой технологии MulteFire является работа в нелицензируемом диапазоне частот 5 ГГц. При одновременной работе устройств MulteFire и Wi-Fi 802.11ac обеспечивается увеличение скорости обмена данными для устройств обоих типов благодаря использованию схожих протоколов связи.



V. Макаренко, Д. Фалев

### TECHNOLOGY FEATURES HIGH-SPEED DATA TRANSFER MULTEFIRE

*The article provides brief information about the features and advantages of the new LTE wireless technology designed to increase the speed of data transmission and increase the service radius. A feature of the new technology is the work of MulteFire unlicensed frequency range of 5 GHz. With the simultaneous operation of Multefire and Wi-Fi 802.11 ac devices, the data rate for both types of devices is increased through the use of similar communication protocols.*

V. Makarenko, D. Falev

Проблему обеспечения высокоскоростным доступом к Интернет в местах большого скопления людей пытаются решить различными способами. Один из них – это использование технологии Wi-Fi, предложенной в стандарте 802.11ax [1].

Другой – использование одной из технологий высокоскоростной связи LTE, получившей название MulteFire. В основе технологии заложена базовая идея использовать (зачастую простаивающий) диапазон 5 ГГц для нужд пользователей сетей LTE. Важным условием является то, что такие решения не должны мешать работе точек доступа Wi-Fi, если они работают в зоне действия LTE/MulteFire.

При использовании MulteFire абонентское устройство или устройство оператора может работать на частоте 5 ГГц без привязки к любому лицензированному диапазону частот, тем самым освобождая лицензированные ресурсы для других мобильных клиентов.

В январе 2017 года MulteFire-альянсом (основанным в 2015 году компаниями Nokia, Ericson, Qualcomm и Intel) была выпущена первая спецификация стандарта MulteFire (release 1.0.1), которая описывает принципы и особенности работы LTE вне лицензируемого диапазона частот. MulteFire – технология, которая базируется на стандарте LTE от исследовательской группы 3rd Generation Partnership Project (3GPP) релиз 13 (Licensed Assisted Access – LAA) и релиз 14 (enhanced Licensed Assisted Access – eLAA). Эти расширения LTE предусматривают объединение полос лицензируемого и нелицензируемого диапазона частот: LAA – по нисходя-

щей линии (от базовой станции к абонентскому устройству), eLAA – по восходящей линии (от абонентского устройства к базовой станции). Это дает возможность расширения используемого частотного диапазона и, следовательно, повышения пропускной способности сети [2]. Однако в LAA и eLAA для передачи сигнального трафика используется лицензированный диапазон, а в нелицензируемом диапазоне частот можно осуществлять только передачу данных. В то время, как в технологии MulteFire вся информация передается в диапазоне 5 ГГц (для США возможна работа в диапазоне 3.5 ГГц) [3].

Важной особенностью этой технологии является возможность взаимодействовать точкам доступа MulteFire с сетями LTE, организовывая таким образом хэндоверы (процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной базовой станции к другой) между сетью мобильных операторов и сетями MulteFire. Это позволит осуществлять мягкие переходы между публичными или домашними точками доступа и мобильными сетями [4].

Для гармоничного сосуществования с Wi-Fi, в MulteFire аналогично LAA/eLAA применяется технология динамического выбора свободной частоты. В случае, когда свободных для передачи каналов нет, передатчик выбирает наименее загруженный канал, прослушивает его на протяжении определенного времени и, в случае отсутствия в нем передачи, начинает передачу сам. Данный алгоритм носит название Listen Before Talk (LBT), что дословно переводится как “Слушай, прежде чем говорить” и по вы-

полняемым функциям аналогичен алгоритму распределенного доступа к каналу (DFC), который используется в Wi-Fi. Такая функция позволяет предотвратить одну из главных сложностей совместного использования спектра – конфликт между сетями (коллизии) и снижение их производительности. Специалисты Qualcomm доказали, что LTE и Wi-Fi могут совместно эффективно функционировать в нелицензированном диапазоне 5 ГГц.

На сегодняшний день LTE допускает использование не более трех каналов с полосой пропускания 20 МГц, размещенных в диапазоне 5 ГГц. Тем не менее, этого достаточно, чтобы увеличить пропускную способность в нисходящем канале до уровня сопоставимого с Wi-Fi. Но в отличие от Wi-Fi, технология LTE обеспечивает более высокую энергоэффективность, что позволяет либо обслужить большее число абонентов, либо обеспечить большую зону покрытия. Бесспорным плюсом технологии также является то, что она обеспечивает более надежную защиту персональных данных от несанкционированного доступа, чем при использовании Wi-Fi.

Базовые станции (БС или часто используемое обозначение eNodeB) LTE, в т.ч. LTE-A, могут работать в одном из двух режимов:

1. Режим обмена данными между БС и абонентским устройством АУ (User Equipment – UE). Во время обмена данными с АУ, БС создает физический канал передачи пользовательских данных с разделением клиентов (Physical Downlink Shared Channel – PDSCH).

2. Режим работы БС в энергосберегающем режиме (Off State), когда она не взаимодействует ни с одним абонентским устройством и передает лишь сигналы распознавания – сигналы синхронизации и опорные сигналы конфигурации канала. Второй режим также называют работой БС в режиме передачи DRS (Discovery Reference Signal).

В случае передачи PDSCH спецификация 3GPP

идентифицирует четыре разных приоритета классов доступа, которые определяют время передачи в канале, в зависимости от приоритетности. С целью достижения гармоничного сосуществования с Wi-Fi эти классы доступа очень похожи на используемые в стандартах IEEE 802.11.

Рассмотрим подробнее процедуру доступа к каналу для передачи. БС (eNodeB) готова к передаче и начинает прослушивать канал в течении периода  $T_d$ , так называемого времени отсрочки для передачи. Если на протяжении этого времени в канале не зафиксирована передача данных, то передатчик выбирает случайное число  $N$ , которое варьируется от 0 до значения конкурентного окна (Contention Window – CW, временные слоты, которые формируют задержку передачи [5]), используемое для определения количества тайм-слотов, в течение которых станция выжидает перед началом передачи.

Передатчик начинает обратный отсчет количества слотов от значения  $N+1$  до нуля и после отсчета всех этих временных промежутков отправляет кадр в канал. Значение CW выбирается в зависимости от приоритетности класса доступа. Чем выше приоритет, тем больше максимальное значение конкурентного окна (обусловлено тем, что для более высокого приоритета требуется больше времени для передачи, соответственно для исключения коллизий требуется большее время задержки перед передачей, чтобы передатчик был уверен, что канал свободен). Если на протяжении, как минимум, 4 мкс для любой продолжительности слота  $T_{sl}$  уровень сигналов или шумов в канале превышает граничный уровень, то канал считается занятым для передачи и БС еще раз прослушивает канал в течение времени  $T_d$ . На рис. 1 показано графическое представление этого алгоритма.

Промежуток отсрочки  $T_d$  состоит из  $m$  значений временных слотов  $T_{sl}$  (9 мкс) и интервала  $T_f$  длительностью 16 мкс, включающей в начале пустой промежуток слота длительностью  $T_{sl}$  (7 мкс). В за-

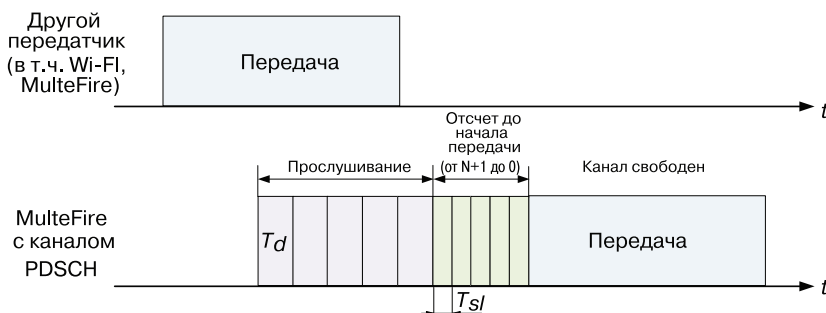


Рис. 1. Алгоритм LBT при передаче PDSCH

висимости от класса доступа к каналу значение  $mp$  варьируется от 1 до 7 [6]. Таким образом обеспечивается доступ к каналу не больше чем за 80 мкс.

Если БС не взаимодействует с абонентскими устройствами, она переходит в режим Off State. Для того, чтобы абонентские устройства могли распознавать БС, она излучает опорные сигналы DRS. Они могут передаваться лишь во время формирования периодического временного окна длительностью 6 мс с периодом повторения 40, 80 или 160 мс, которое имеет название DRS Measurement and Timing Configuration (DMTC). Абонентское устройство проверяет наличие сигналов DRS в указанных промежутках времени [7].

Так как время, отведенное на передачу, ограничено, то алгоритм LBT тоже упрощен. БС прослушивает канал на протяжении 25 мкс. Если на протяжении этого времени БС не зафиксировала уровень сигнала выше гранично-допустимого, то канал считается свободным и осуществляется передача DRS.

Для восходящей линии используются аналогичные режимы, но в роли передатчика выступает абонентское устройство [8].

Кадр в стандарте LTE состоит из подкадров, которые, в свою очередь, содержат два слота. Каждый подкадр предназначен для передачи информации по нисходящей (Downlink) или восходящей (Uplink) линии.

Для работы устройств в стандарте LTE с частотным и временным разделением каналов используются неодинаковые структуры кадра – первого и второго типа, соответственно. В 14 релизе специ-

фикации 3GPP для работы в нелицензированном спектре (для LAA, MulteFire) определена структура кадра третьего типа, которая схожа со структурой кадра с частотным разделением каналов. Кадр длительностью 10 мс состоит из 20 слотов продолжительностью по 0,5 мс [9].

В кадре 1-го типа используется равное количество подкадров (5 подкадров по 10 слотов), разнесенных по частоте, для передачи по нисходящей и восходящей линии. Для работы с временным разделением каналов используется 7 определенных структур конфигураций кадра 2-го типа.

В структуре кадра 3-го типа (предназначен для MulteFire) используется динамический подбор конфигурации структуры кадра для включения в него различного количества подкадров Uplink и Downlink (рис. 2). Таким образом осуществляется адаптация к требуемому трафику, увеличивая его эффективность как при приеме, так и при передаче [7].

Гибкая структура кадра дает возможность более эффективно использовать доступный частотный ресурс. Если канал связи окажется свободным раньше, чем начнет формироваться стандартный подкадр передачи, то передатчик сразу начинает передачу (рис. 3). Следовательно, время ожидания во многих случаях может быть уменьшено.

В случае необходимости повторной передачи кадра, также нет надобности ждать начала следующего подкадра (передачи или приема) как по нисходящему, так и по восходящему каналу [7].

Первые тесты, проведенные компаниями-участниками альянса MulteFire, продемонстрировали эффективное сосуществование технологии MulteFire и

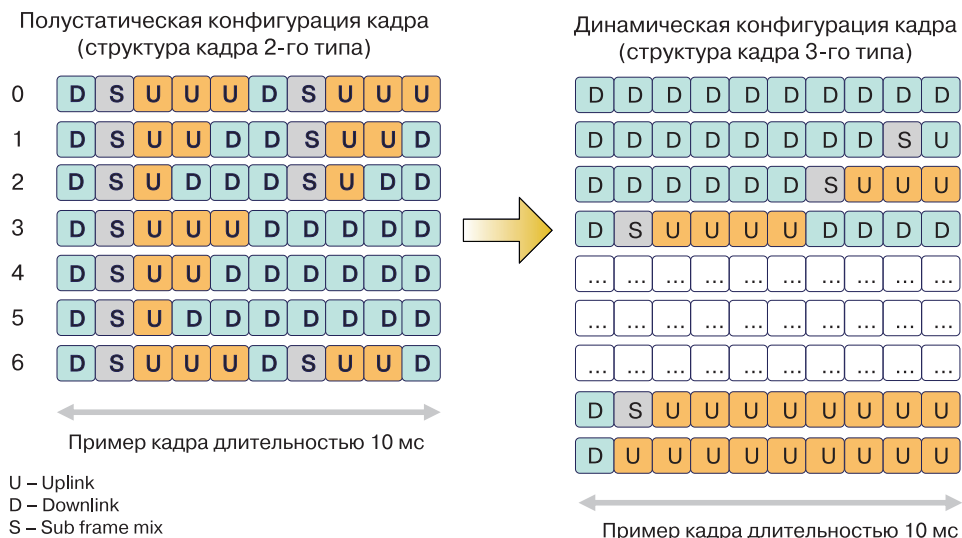
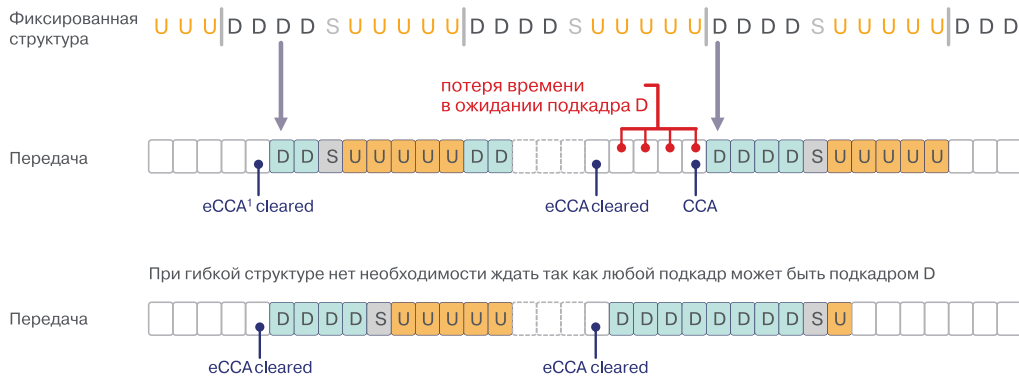


Рис. 2. Сравнение конфигурации структуры кадров различного типа





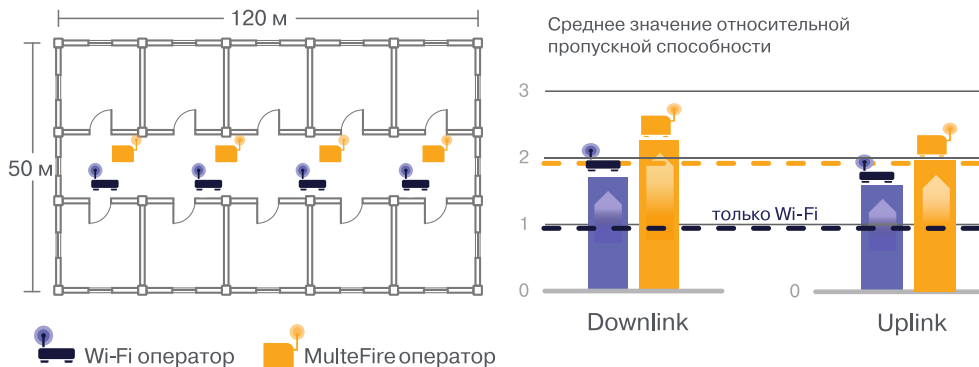
**Рис. 3. Иллюстрация преимущества гибкой структуры кадра в сравнении с постоянной**

Wi-Fi [10]. Более того, как показывают результаты теста, соседство точек доступа Wi-Fi друг с другом менее эффективно, чем с точками доступа MulteFire (в эксперименте задействовались точки доступа Wi-Fi стандарта IEEE 802.11ac и точки доступа стандарта MulteFire с одинаковой шириной полосы и технологией MIMO 2x2). Первые опыты внутри помещения продемонстрировали, что для технологии MulteFire пропускная способность возросла более чем в два раза (рис. 4), а вне помещения – более чем в

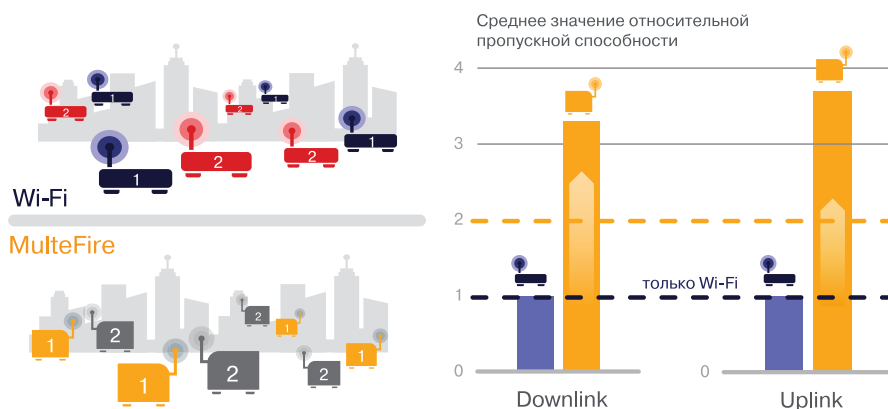
три раза (рис. 5).

Компанией Qualcomm были проведены тесты беспроводного соединения абонентского устройства с точками доступа MulteFire и Wi-Fi, которые продемонстрировали гораздо большую дальность связи по стандарту MulteFire. Кроме того, процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной точки доступа к другой (Handover) осуществлялся более мягко [11].

Однако существенным недостатком технологии



**Рис. 4. Изменение пропускной способности беспроводной сети при совместном использовании точек доступа Wi-Fi и MulteFire внутри помещения**



**Рис. 5. Изменение пропускной способности беспроводной сети при совместном использовании точек доступа Wi-Fi и MulteFire вне помещения**



MulteFire является то, что для ее использования необходимы новые приемо-передающие абонентские устройства. В то же время использование точек доступа, поддерживающих стандарт Wi-Fi 802.11ac, возможно со всеми выпускаемыми устройствами, так как стандартом предусмотрена поддержка устройств Wi-Fi более ранних версий.

Если принять во внимание тот факт, что пользователи активно используют мобильные устройства для доступа в Интернет, то возникает необходимость поддержки вновь создаваемыми устройствами стандарта MulteFire. Их разработка и широкое распространение может занять достаточно длительное время. Безусловно, стоимость такого оборудования будет выше на начальном этапе их производства, что может замедлить их выход на рынок абонентских устройств.

Еще одним фактором, который может замедлить внедрение технологии MulteFire, является разработка и внедрение стандарта 802.11ax, который несет в себе так же большие преимущества для мобильных пользователей [1].

Появление технологии MulteFire безусловно заинтересует операторов, которые изо всех сил стараются удовлетворить потребности клиентов в своих LTE-сетях. Но разработчики технологии MulteFire считают, что основное применение этой технологии будет в промышленности. Они полагают, что крупные компании смогут эффективно создать свои собственные сети MulteFire на промышленных объектах (аналогичные Wi-Fi-сетям) для подключения роботизированных устройств и устройств Internet-of-Things.

Такие ожидания связаны с тем, что многим промышленным компаниям для обслуживания промышленного оборудования необходимо организовать частные сети LTE. Однако создание такой сети требует длительного согласования на использование лицензированного диапазона частот с операторами связи, а при развертывании этих сетей в полосе частот 5 ГГц, которая остается нелегализованной во всем мире, это будет намного проще, если для этого использовать технологию MulteFire.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко В.В. 802.11ax – новая версия стандарта высокоскоростной системы связи Wi-Fi / Электронные компоненты и системы, №2, 2017. – с.

43-52.

2. <http://www.iksmedia.ru/articles/5332330-5e-pokolenie-nadezhd-i-sommenij.html#ixzz4zoT5GYik>.

3. <https://www.multefire.org/faq/>.

4. <https://www.qualcomm.com/invention/research/projects/multefire>.

5. Лазебный А.В., Лазебный В.С. The details of virtual contention window concept for 802.11 IBSS wireless local area network mathematic modelling / International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, №1, 2013. – с. 7 - 13.

6. MulteFire Alliance. MFA TS 36.213 Physical Channels and Modulation, Apr. 2017. - с. 447. Доступно: <https://www.multefire.org/specification/>.

7. Hwan-Joon (Eddy)Kwon, Jeongho Jeon, Abhijeet Bhorkar, Qiaoyang Ye, Hiroki Harada, Yu Jiang, Liu Liu, Satoshi Nagata, Boon Loong Ng, Thomas Novlan, Jinyoung Oh, Wang Yi. Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum in LTE Release 13 / IEEE Communications Magazine, № 2, Feb. 2017. – с. 201-207. (<http://ieeexplore.ieee.org/document/7782659/>).

8. Mina Labib. Vuk Marojevic, Jeffrey H.Reed, Amir I.Zaghloul. Extending LTE into the Unlicensed Spectrum: Technical Analysis of the Proposed Variants / IEEE Communications Standards Magazine, № 4, Dec. 2017. – с. 31 – 39. (<http://ieeexplore.ieee.org/document/8258596/>).

9. MulteFire Alliance. MFA TS 36.211 Physical Channels and Modulation, Apr. 2017. – с. 14. (<https://www.multefire.org/specification/>).

10. Dr. Tamer Kadous. Understanding MulteFire's Radio Link. – с. 6, 7, 15-18. ([https://www.multefire.org/wp-content/uploads/2016/10/MulteFire\\_Radio-Link.pdf](https://www.multefire.org/wp-content/uploads/2016/10/MulteFire_Radio-Link.pdf)).

11. <https://www.qualcomm.com/invention/technologies/lte/multefire>.

## VD MAIS

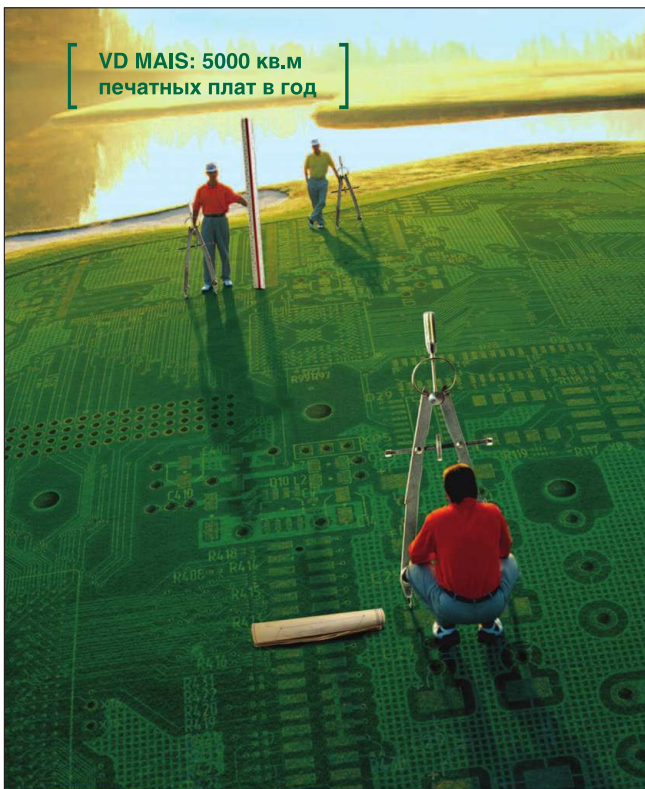
Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)



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

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

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



# 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 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.
- предоставление документации по выходному контролю печатных плат



**VD MAIS**  
PCB Professionally

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

## Светодиоды 3030 и 2835 от CREE уже на рынке!

**Светодиоды J Series™ средней и малой мощности от лидера отрасли:**

- стандартные форм-факторы 3.0×3.0×0.5 мм и 2.8×3.5×0.7 мм
- номинальные значения напряжения 3 и 6 В
- бинование по цветовой температуре и световому потоку
- диапазон цветových температур 2700...6500 К по ANSI
- индексы передачи цвета 70, 80 и 90 CRI для всех значений CCT
- соответствие требованиям RoHS и REACh, рекомендовано UL® (E495478)

Серия	Мощность, Вт	Ток (тип.), мА	Световой поток (тип. для CRI=70, 4000 К), лм	Падение напряжения (тип.), В	Макс. ток, мА
JВ3030 3V	0.2	65	35.5	2.8	240
JK3030 3V	1	350	156	3.2	400
JK3030 6V	1	150	152	6	200
JE2835 3V	0.5	150	79	3	240
JK2835 6V	1	150	153	6.2	200

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

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

# ВОЕННАЯ СВЯЗЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕЕ БЕЗОПАСНОСТИ \*

## MILITARY COMMUNICATIONS AND RF SECURITY

Особенности в развитии военной связи и базовых компонентов для ее обеспечения рассмотрены в настоящей публикации.

Д. Босворт

Abstract – New technologies and the integration of RF and new direct-conversion RF devices are considered.

D. Bosworth

Основные тенденции в развитии военной радиосвязи состоят в расширении частотного диапазона, уменьшении размеров, веса и потребляемой мощности (reduced size, weight and power – SWaP). Основным при этом остается информационная безопасность военной радиосвязи. Безопасность связи является основой любых вооруженных сил. Поэтому в любой архитектуре систем связи доминирующим фактором является безопасность, что определяет распределение обработки данных по принципу их важности. В связи с этим достижение максимальной эффективности военной связи обеспечивается интеграцией технологий безопасности с технологиями радиочастотной элементной базы.

Традиционно военная связная аппаратура состоит из 4-5 блоков обработки. Первый радиочастотный блок используется для предпроцессорной обработки принятых от антенны сигналов, которая включает предварительную фильтрацию, усиление и частотное преобразование. Блок оцифровки данных преобразует радиочастотные сигналы в цифровые потоки данных. В рамках цифровой обработки данных определенное число блоков используется для модуляции-демодуляции цифровых сигналов, после чего данные поступают в блок криптографии. Последним блоком обработки является пользовательский интерфейс, который включает голосовые и видеокodeки (в зависимости от применения). Структура, отражающая рассмотренную последовательность операций, приведена на рис. 1. Если

реализовать эту структуру на дискретных компонентах, она будет выглядеть достаточно громоздкой. Поэтому за счет развития микроэлектронных технологий подобную структуру можно оптимизировать, например, используя ПЛИС. Применение ПЛИС в современных устройствах военной связи осуществляется уже более 20 лет. Однако, если использование ПЛИС уже привело к упрощению аппаратуры, то в области обеспечения надлежащей безопасности связных устройств эффективность новых систем недостаточна. Задачи криптографии могут быть эффективно решены мультипроцессорными системами, однако их применение ограничивается ухудшением SWaP-параметров.

Ожидается, что в ближайшие годы, появятся новые приемопередатчики, построенные по принципу прямого преобразования ВЧ-сигналов. В этом случае в одном кристалле будут реализованы малошумящие усилители (LNA), I/Q – модуляторы и демодуляторы, системы ФАПЧ (PLL), а также АЦП и ЦАП.

Использование приемников прямого преобразования с встроенной калибровкой и алгоритмической коррекцией квадратурной погрешности уже на данном этапе позволило преодолеть ограничения в новой структуре по сравнению с традиционной супергетеродинной. Новые быстродействующие преобразователи способны осуществлять выборку сигналов или генерировать ВЧ-сигналы в диапазоне свыше 6 ГГц, при этом из сигнальной цепи в новой структуре могут быть исключены усилители, фильтры

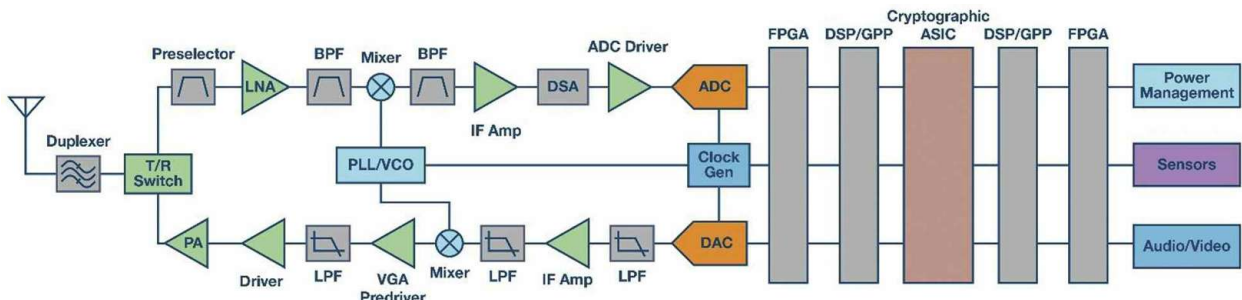
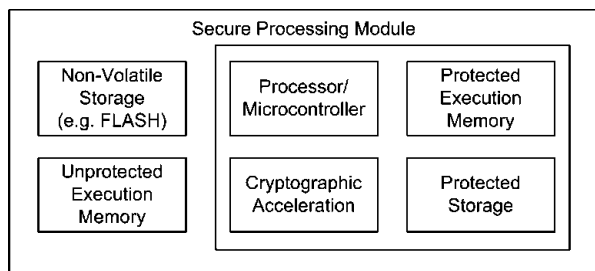


Рис. 1. Структура приемопередатчика на основе супергетеродинной схемы преобразования радиосигналов

\* Bosworth D. Military communications and RF Security. Microwave Journal, August, 15, 2017. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

ры и соответствующие преобразователи. Несмотря на то, что ПЛИС типа FPGA обеспечивают оптимизацию программируемых радиоканалов, в новой структуре требуются новые подходы для решения задач криптографической обработки и обеспечения информационной безопасности данных. Встроенное в связной канал криптографическое ПО является одним из решений данной проблемы. Благодаря такому подходу криптография объединяется с цифровой модуляцией-демодуляцией, а также с обработкой видео- и голосовых данных. Структурная схема такого решения приведена на рис. 2 и включает следующие модули: процессор или микроконтроллер; память с защитой данных; хранилище с защитой секретных данных; криптографический ускоритель; энергонезависимое хранилище данных, а также, в случае необходимости, стандартную незащищенную память.



**Рис. 2. Комплект модулей для обеспечения информационной безопасности связной аппаратуры**

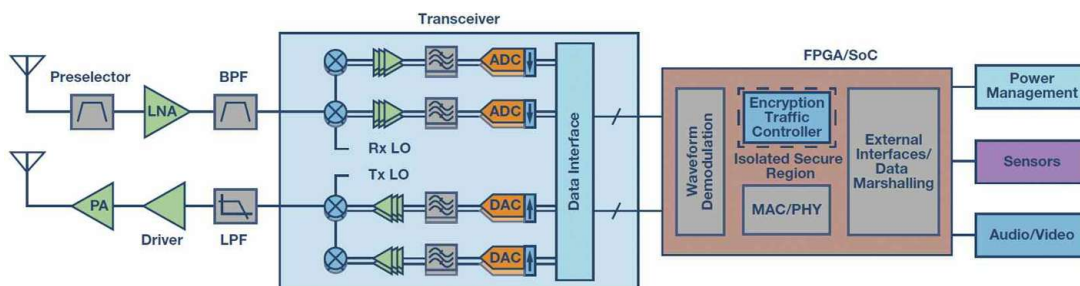
Изменение уровня информационной безопасности в таких структурах обеспечивается реконфигурацией ПЛИС. Следует отметить, что объединение процессов криптографии и обработки данных повышает уязвимость устройства в целом. Однако это в определенной мере устраняется при начальной загрузке системного ПО, препятствующего выполнению неавторизованных программ. Опция защитной загрузки ПО (Secure Boot) реализуется ARM или Micro blaze процессором. Последний создается на основе ПЛИС. Загрузка ROM-памяти содержит ал-

горитм дешифрации и алгоритм верификации подписи. Ключевая особенность этих алгоритмов заключается в обеспечении их хранения в защищенной области памяти ПЛИС типа FPGA. Так, например, семейство ПЛИС Xilinx Zynq-7000 содержит так называемый электронный предохранитель (efuse), защищающий устройство от несанкционированного доступа, а также регистр с автономным батарейным питанием для защиты от записи несанкционированных данных (battery backed register). Отметим, что указанные средства защиты поддерживают безопасность работы канала связи при выполнении любой программы обработки сигналов. В дополнении отметим, что энергонезависимая память требуется также для хранения загрузчика программы (Boot Loader). Загрузчик памяти проверяет сигнатуру Boot Loader и если достоверность ее подтверждается, то его использование в устройстве разрешается.

Структура радиоканала с прямым преобразованием приведена на рис. 3. ВЧ-приемопередатчик выполнен на ИМС AD9371 и выполняет все функции кроме функций таких устройств, как маломощный усилитель (LNA), усилитель мощности (PA), полосовой фильтр (BPF) и фильтр нижних частот (LPF). На базе ПЛИС FPGA Xilinx Zynq-7000 выполнен криптографический процессор. Таким образом, вместо 20-30 ИМС в новой структуре канала связи используется не более 6-7 ИМС, что значительно уменьшает весогабаритные показатели и потребление устройства в целом.

**ВЫВОДЫ**

Переход от гетеродинной структуры к структуре прямого преобразования в системах военной связи, а также объединенные криптографической защиты с другими процедурами обработки данных в канале связи позволяют оптимизировать размеры, массу и потребление систем и устройств военной связи, повысить их информационную безопасность.



**Рис. 3. Структура приемопередатчика на основе схемы прямого преобразования радиосигналов**



# ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ЧТО ДАЛЬШЕ \*

## INTERNET OF THINGS (IOT): WHAT NEXT

Особенности Интернета вещей и перспективы их развития рассмотрены в настоящей публикации.

Abstract – The features of Internet of Things and perspective of their development are considered in the article.

Г. Мерфи

G. Murphy

Основные тенденции развития Интернета вещей включают расширение областей их применения и увеличение срока службы без замены элементов питания. В любых системах мониторинга на основе Интернета вещей используются беспроводные сенсорные сети [1], которые имеют большое энергопотребление при передаче данных. Кроме того, беспроводные сенсорные сети должны иметь высокую надежность и эффективную защиту от разного рода атак [2]. Согласно оценке рынка Интернета вещей это направление в ближайшие пять лет будет стремительно развиваться, рис. 1.

Ключевой особенностью Интернета вещей является их работа с аналоговыми информативными сигналами, которые оцифровываются и обрабатываются имеющимися в составе Интернета вещей

средствами. Структура, обеспечивающая прохождение сигнала от сенсора в «облачные» технологии, приведена на рис. 3. Поэтому первый структурный узел Интернета вещей включает сенсоры для преобразования физической величины в аналоговый электрический сигнал, усилители, АЦП, процессор, а также канал передачи данных для их обработки «облачными» технологиями. Отметим, что оптимальное решение для структуры этого узла заключается в том, чтобы исключить передачу избыточных данных для последующей обработки в «облаке». В свою очередь, «облачные» технологии предназначены для работы с большими объемами данных (big data). Специалисты полагают, что в будущем только 1% данных, находящихся в «облаках», будет использован, так как в целях снижения уровня

Gartner Hype Cycle for the Internet of Things, 2016

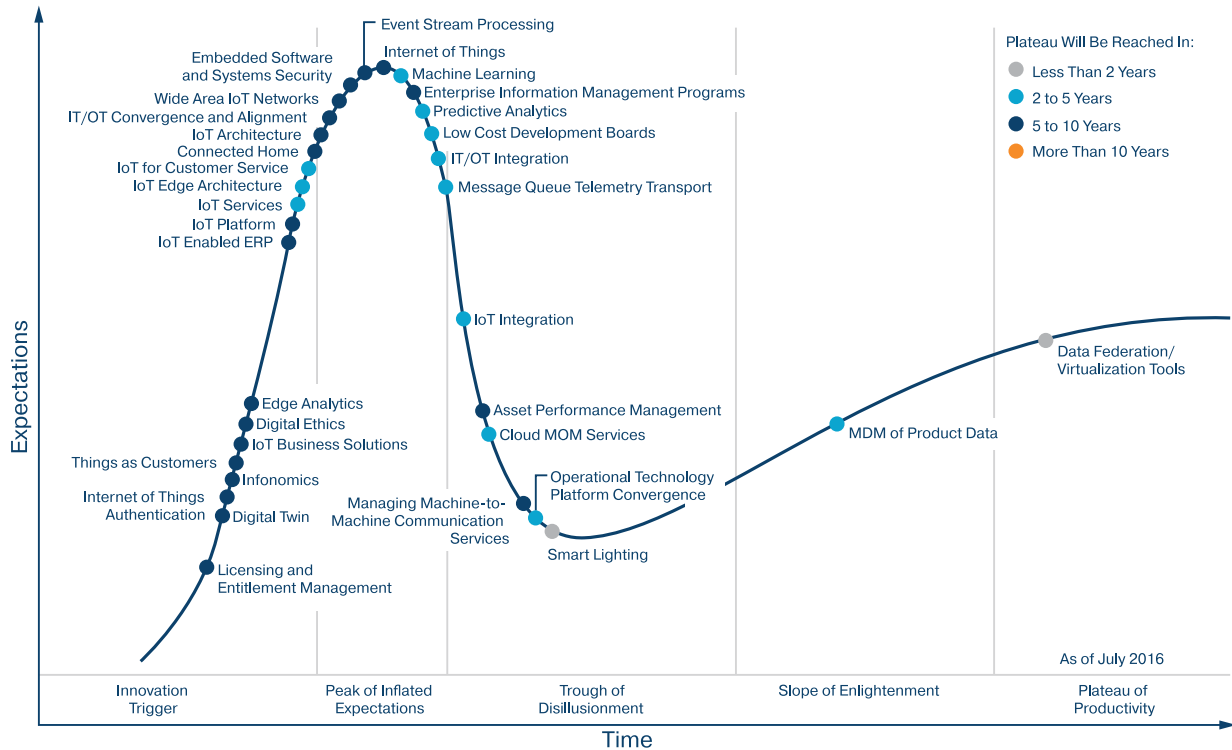
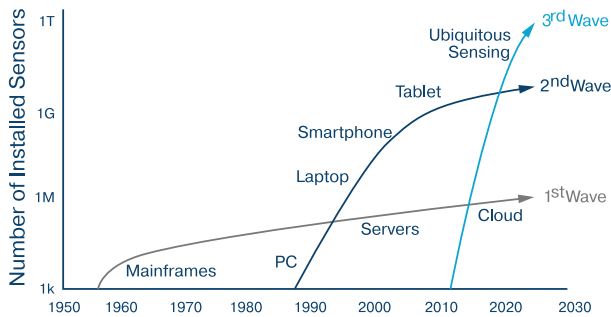


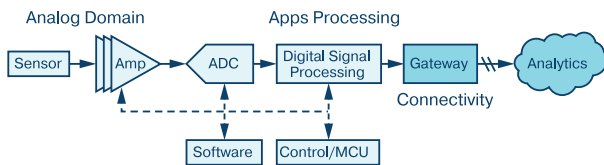
Рис. 1. Диаграмма развития Интернета вещей на ближайшие 5-10 лет

\* Murphy G. *Internet of Things (IoT): What Next*. [www.analog.com](http://www.analog.com).  
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



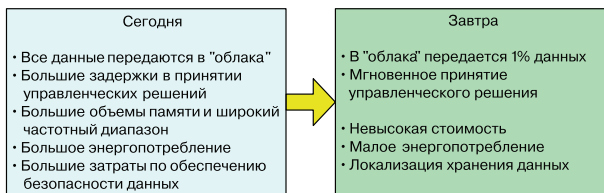


**Рис. 2. От цифровых машин к цифровой реальности**



**Рис. 3. От сенсора к облачным технологиям**

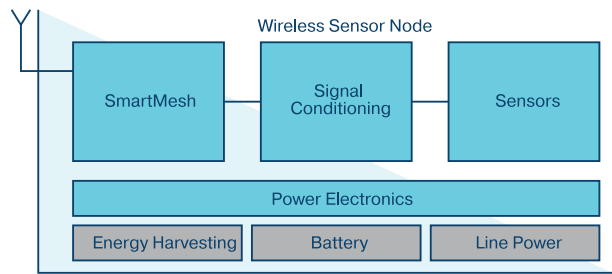
угроз наиболее важные данные желательно хранить в локальных хранилищах. Это обеспечивается применением смарт-сенсоров со встроенными алгоритмами обработки данных. На рис. 4 дана сравни-



**Рис. 4. Сравнительная оценка характеристик сегодняшнего и завтрашнего поколений беспроводных сенсорных сетей**

тельная оценка характеристик сегодняшнего и завтрашнего поколений беспроводных сенсорных сетей.

Таким образом, важной особенностью Интернета вещей является применение эффективных сенсорных сетей. Они должны использовать радиочастотный диапазон для передачи данных. Большинство сенсоров имеет встроенное батарейное питание [1, 2]. Сети должны устойчиво работать в условиях шумов и помех. На рис. 5 приведена структура



- PROVEN: Reliability in Harsh Environments
- ROBUST: Time Synchronized Channel Hopping with Self-Diagnostics
- SECURE: Robust Security Including Encryption and Authentication
- SMART: Intelligent Wireless Nodes

**Рис. 5. Беспроводной сенсорный узел современных беспроводных сенсорных сетей**

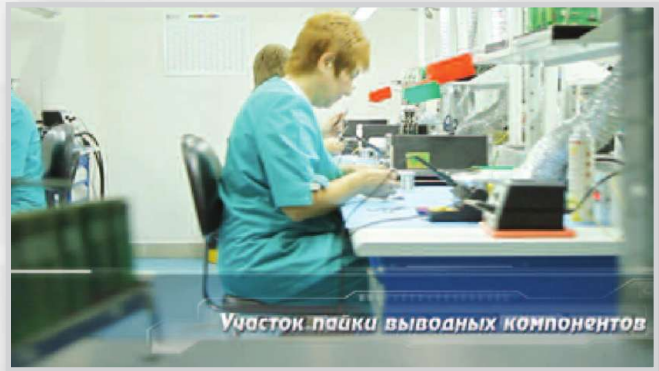
типичного узла беспроводной сенсорной сети, который отличается высокой надежностью и устойчивостью к помехам, имеет встроенную диагностику, защиту от различного рода атак, встроенный узел предобработки данных.

## ВЫВОДЫ

Цифровая экономика, цифровая медицина, цифровое сельское хозяйство и другие направления человеческой деятельности будут основываться на широком применении Интернета вещей, основой которого являются беспроводные сенсорные сети. Современная элементная база уже сегодня позволяет создавать высокоэффективные и надежные беспроводные сети, которые применяются в различных областях науки и техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Романов В., Галелюка И. Беспроводные сенсорные сети для сельского хозяйства и защиты окружающей среды. Электронные компоненты и системы, № 2, 2017, С. 13-18.
2. Palagin O., Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Brayko Y., Imamutdinova R. Wireless sensor network for precision farming and environmental protection. Information theories & applications, Volume 24, Number 1, 2017 – P. 19–34.



## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Полный цикл контрактного производства электроники:

- проектирование и изготовление печатных плат и трафаретов по стандарту IPC-A-600H
- комплексная поставка комплектующих элементов
- автоматизированный монтаж компонентов по технологии SMT и THT, включая монтаж в азотной среде, в соответствии со стандартным IPC-A-610G (до 2 500 000 SMD-компонентов в сутки)
- монтаж печатных плат любой сложности при серийном и мелкосерийном производстве
- нанесение лазерной маркировки на печатные платы
- контроль качества на каждом этапе выполнения работ

Система менеджмента качества фирмы сертифицирована на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.

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

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



ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

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

## НПФ VD MAIS

### Центральный офис:

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

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

### Региональные представительства:

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

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

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

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

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