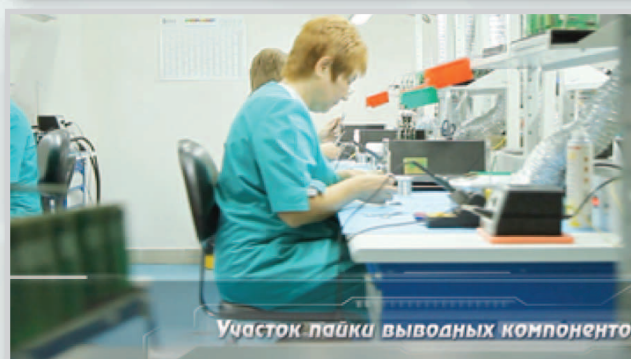




### Датчики TE Connectivity для систем промышленного Интернета вещей

#### **В номере:**

- Носимые смарт-сенсоры для оценки кровопотерь
- Схемотехнические решения для дистанционного медицинского мониторинга состояния здоровья
- **Датчики TE Connectivity для систем промышленного Интернета вещей**
- Выбор конденсаторов для минимизации искажений в усилителях звука
- Микро мощный операционный усилитель с максимальной рабочей температурой 150 °C
- Многооборотный датчик положения
- ИМС для электронной аутентификация индивидуальных диагностических тест-систем
- Альтернативный способ вычисления приведенного к входу шума
- Проектирование импульсного источника питания в онлайн режиме с помощью SiC MPLAB



## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Полный цикл контрактного производства электроники:

- проектирование и изготовление печатных плат и трафаретов по стандарту IPC-A-600J
- комплексная поставка комплектующих элементов
- автоматизированный монтаж компонентов по технологии SMT и THT, включая монтаж в азотной среде, в соответствии со стандартом 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
- 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
- внутрисхемный контроль готовых изделий
- нанесение акриловых, силиконовых, полиуретановых конформных (защитных) покрытий
- проведение климатических испытаний
- проведение механических испытаний на вибростенде
- резка и зачистка проводов, обжимка контактов, изготовление кабельных жгутов.

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 в секунду.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

2023 январь-март  
№ 1 (241)

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  
Д-р Илья Брондз,  
факультет биологии  
Университета г. Осло, Норвегия

**Адрес редакции:**

Украина, Киев,  
ул. М. Донца, 6

**Тел.:** (0-44) 492-8852, 201-0202

**Факс:** (0-44) 202-1110

**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

Д. Кери  
**Как создать прототип зарядного устройства для  
аккумуляторного источника питания типа Power Bank  
без дополнительных аппаратных затрат** .....3

О. Дриссен  
**Введение в сверточные нейронные сети: что такое  
машинное обучение?** .....8

### ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В. Романов  
**Носимые смарт-сенсоры для оценки кровопотерь  
при ранениях или травмах** ..... 12

В. Романов, И. Галелюка, А. Вороненко  
**Схемотехнические решения для дистанционного  
медицинского мониторинга состояния здоровья  
хронических больных** ..... 14

В. Макаренко  
**Датчики TE Connectivity для систем промышленного  
Интернета вещей** .....21

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

В. Макаренко  
**Выбор конденсаторов для минимизации искажений  
в усилителях звука** .....33

### НОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

В. Макаренко  
**Микро мощный операционный усилитель с максимальной  
рабочей температурой 150 °С** .....41

### НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С. Брэдшоу, К. Най, Э. Николл  
**Многооборотный датчик положения для оборудования,  
работающего в условиях аварийных отключений  
электропитания** .....44

### ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Ч. Лю, К. Панаро, Э. Клири  
**ИМС для электронной аутентификации индивидуальных  
диагностических тест-систем** .....49

С. Хант  
**Альтернативный способ вычисления приведенного к входу  
шума в прецизионных измерительных системах** .....53

### ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

В. Макаренко  
**Проектирование импульсного источника питания в онлайн  
режиме с помощью SiC MPLAB** .....57

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

**Synaptics Resonate – излучающие звук экраны для мобильных  
устройств Интернета вещей** .....63

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



**ASK THE APPLICATIONS ENGINEER**

D. Carey  
**How to Prototype a Power Bank Charger Without Building Any Dedicated Hardware** ..... 3

O. Dreessen  
**Introduction to Convolutional Neural Networks: What Is Machine Learning?** ..... 8

**INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES**

V. Romanov  
**Wearable smart-sensors for estimating blood loss due to bleeding caused by trauma or injury** ..... 12

V. Romanov, I. Galelyuka, A. Voronenko  
**Integrated circuits for remote medical monitoring of health state of under risk patients** ..... 14

V. Makarenko  
**TE Connectivity Sensors for Industrial IoT Systems** ..... 21

**MODELING OF ELECTRONIC DEVICES**

V. Makarenko  
**Selecting capacitor to minimize distortion in audio amplifiers** ..... 33

**NEW COMPONENTS**

V. Makarenko  
**Micro power operational amplifier with a maximum operating temperature of 150 °C** ..... 41

**NEW TECHNOLOGIES**

S. Bradshaw, C. Nau, E. Nicholl  
**Multiturn Position Sensor Provides True Power-On Capabilities with Zero Power** ..... 44

**MEASURING EQUIPMENT**

C. Liu, K. Panaro, A. Cleary  
**How Secure Electronic Authentication Mitigates Risk at the Point-of-Care** ..... 49

S. Hunt  
**Practical Input-Referred Calculations in Precision Systems** ..... 53

**POWER SUPPLIES**

V. Makarenko  
**Online Switching Power Supply Design with SiC MPLAB** .... 57

**BRIEF MESSAGES**

**Synaptics Resonate – Sound-Emitting Screens for IoT Mobile Devices** ..... 63



**ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS**  
 January-March 2023  
 No.1 (241)

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

**Address:**  
 M. Dontsia Str., 6,  
 03061 Kyiv, Ukraine  
**Tel.:**  
 (380-44) 201-0202,  
 492-8852 (multichannel)  
**Fax:**  
 (380-44) 202-1110  
**E-mail:**  
 ekis@vdmajs.ua  
**Web address:**  
 www.vdmajs.ua  
 www.ekis.kiev.ua  
 Printed in Ukraine



# КАК СОЗДАТЬ ПРОТОТИП ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ТИПА POWER BANK БЕЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ \*

## HOW TO PROTOTYPE A POWER BANK CHARGER WITHOUT BUILDING ANY DEDICATED HARDWARE

**В** статье рассматривается процесс разработки прототипа зарядного устройства для аккумуляторного источника питания типа Power Bank с использованием существующих оценочных плат, приведены рекомендации по модернизации таких устройств.

Д. Керри

**Abstract -** This article reviews the process involved in developing an application using existing evaluation boards, discuss the challenges encountered, and outline recommendations for further revisions and improvements.

D. Carey



### ВОПРОС:

Можно создать прототип зарядного устройства для аккумуляторного источника питания типа Power Bank без использования дополнительных аппаратных затрат?

### ОТВЕТ:

Краткий ответ на этот вопрос – да. В настоящей статье эта проблема рассмотрена подробно.

В идеальном случае любой проект зарядного устройства для аккумуляторного источника питания должен начинаться с анализа подхода к его построению, который включает тестирование уже существующих оценочных плат, т.е. используются уже существующие оценочные платы и расширяются их возможности с целью создания работающего прототипа. Учитывая то, что оценка возможностей

конкретного решения должна осуществляться за непродолжительный промежуток времени, целесообразно на этом этапе исключить перепроектирование печатных плат и ограничить использование дополнительных компонентов.

Чтобы ответить на поставленный в начале статьи вопрос, необходимо выбрать прототип высокого качества, чтобы обосновать возможность такого подхода. Для обоснования выбранного подхода использовано существующее аппаратное приложение для зарядки аккумуляторного источника питания типа Power Bank. Зарядное устройство для внешних аккумуляторов – достаточно распространенное приложение, с которым имеют дело разработчики и пользователи электронной аппаратуры. Например, многие туристы берут его с собой, чтобы их телефон оставался заряженным на протяжении всего путешествия.

В условиях длительных блэкаутов такие зарядные устройства используются и в стационарных условиях. Источник питания Power Bank – это, по сути, аккумулятор (его емкость зависит от цены и требуемого диапазона напряжений) с одним или несколькими портами USB-A для питания внешних устройств, а также входным портом USB-C для его зарядки. К требованиям к зарядному устройству можно добавить возможность его использования для беспроводной зарядки или возможность его работы от солнечной батареи.

В статье рассматривается возможность зарядки аккумуляторного источника питания Power Bank от солнечной батареи или от источника постоянного

\* Carey Д. *How to Prototype a Power Bank Charger Without Building Any Dedicated Hardware, Analog Dialogue, N 1, Vol. 57, February, 2023. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.*

тока напряжением 5 или 12 В.

В рассмотренном примере зарядное устройство может работать от солнечной батареи или от сети переменного тока с преобразователем переменного напряжения в постоянное. Поэтому зарядное устройство должно включать интеллектуальный узел для выбора приоритета, который, во-первых, выбирает доступный первичный источник питания, а если доступны оба, то этот узел задает приоритет для того или иного первичного источника.

Достаточно простое решение для построения такого узла может быть выполнено на основе нескольких диодов, однако такое решение неэффективно, т.к. связано с большими потерями из-за существенного падения напряжения на диодах (не менее 0.6 В). К тому же такое решение не позволяет выбирать требуемый первичный источник по заданному приоритету.

Для решения этой проблемы предлагается использовать контроллер LTC4416 (рис. 1) для управления мощными полевыми транзисторами типа PFET, которые гораздо эффективнее обычных диодов. Кроме того, данный контроллер позволяет задавать приоритет для выбора первичного источника питания. В рассматриваемом приложении приоритет всегда будет отдаваться сетевому источнику питания в случае его доступности. Предлагаемое зарядное устройство на основе контроллера LTC4416 обладает большой гибкостью и имеет несколько режимов работы, которые приведены в табл. 1.

Для построения основного узла зарядного устройства выбрана ИМС LTC4162-L (рис. 2) из-за широкого диапазона входного напряжения (до 35 В) и тока заряда до 3.2 А. Кроме того, эта ИМС включа-

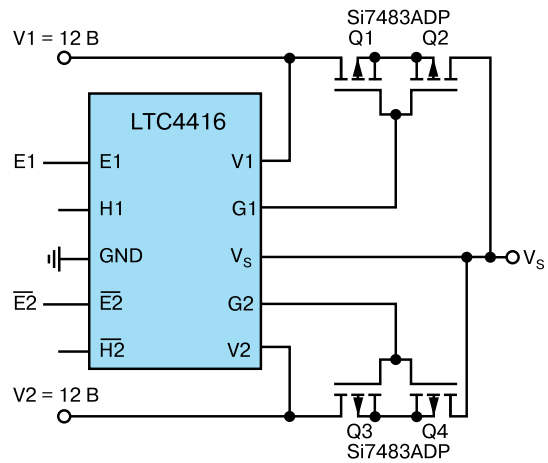


Рис. 1. Схема включения контроллера LTC4416

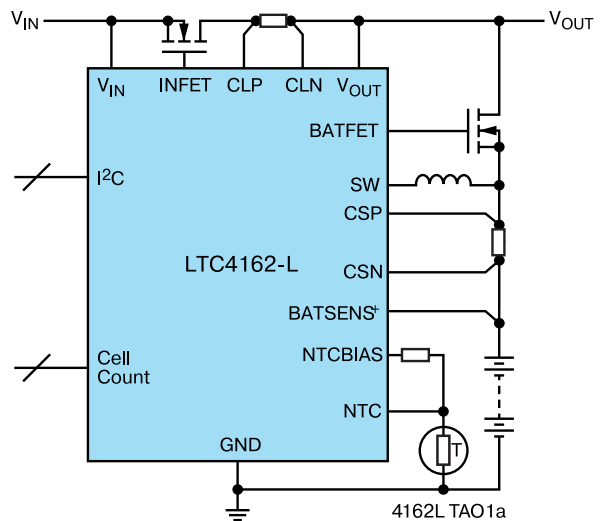


Рис. 1. Схема включения контроллера LTC4416

ет встроенные полевые транзисторы, что приводит к экономии размеров печатной платы. Эта ИМС представляет собой полнофункциональное заряд-

Таблица 1. Режимы работы зарядного устройства на основе контроллера LTC4416

E1	E2	Режимы работы	Канал IG(OFF)1	Канал IG(OFF)2
1	0	Распределение нагрузки	Включен	Включен
1	По запросу	V1 меньше V2	Включен	
По запросу	0	V1 больше V2		Включен
0	X	Канал 1 отключен	Отключен	
X	1	Канал 2 отключен		
		Отключен		
0	1	Два канала отключены (режим не используется)	Отключен	Отключен

ное устройство, которое обладает большой гибкостью применения, поскольку может поставляться с ионлитиевой батареей. ИМС имеет интерфейс I2C, позволяющий передавать на расстояние необходимую пользователю информацию.

Еще одна полезная функция этой ИМС – отслеживание точки максимальной мощности MPPT, что важно при питании от солнечной батареи. Отметим, что для использования режима MPPT в ИМС имеется встроенный DC/DC-преобразователь, который согласует параметры энергии между солнечной и аккумуляторной батареями.

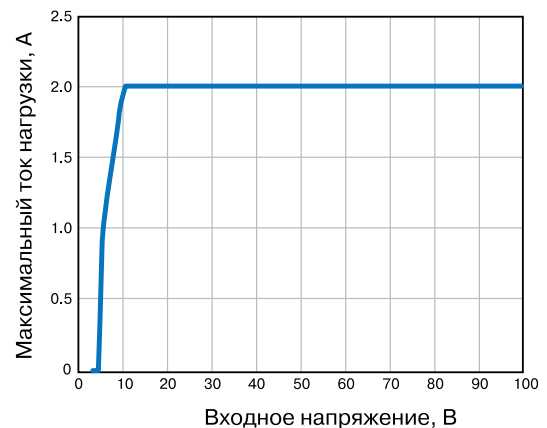
Оценочная плата CN0509 (рис. 3) выбрана для формирования зарядного напряжения через порт USB. Плата разработана компанией Analog Devices как зарядное устройство с двумя USB-разъемами и имеет широкий диапазон входных напряжений. Основное назначение платы – использование в чрезвычайных ситуациях, таких как стихийные бедствия или длительное отключение электроэнергии. Плата CN0509 может питаться от автомобильного аккумулятора для формирования напряжения заряда 5 В по двум портам, которые в целях безопасности изолированы от первичного источника напряжения.

Существует целый ряд альтернативных источников электроэнергии – от отдельных батарей до двигателей, которые могут работать как генераторы. Плата CN0509 имеет широкий диапазон входных напряжений и может работать от первичного источника питания в диапазоне напряжений от 5 до 100 В. Все это делает ее идеальным устройством для зарядки аккумуляторного источника питания типа Power Bank.

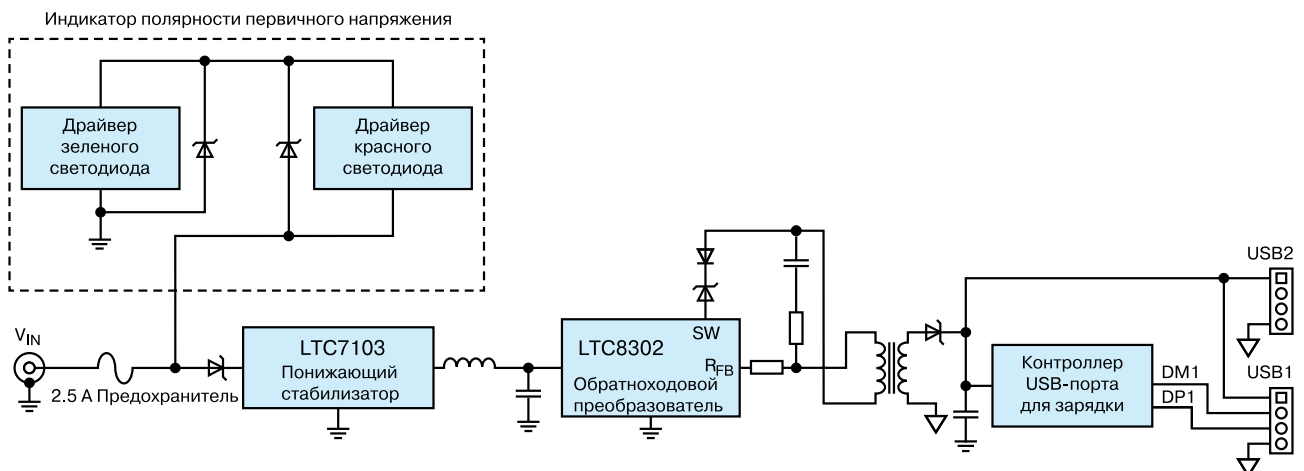
Следует отметить, что плата CN0509 имеет за-

щиту от ошибочного подключения первичного источника питания, а изолированный обратногоходовой преобразователь используется для изоляции выходов зарядного устройства от первичного источника, что особенно важно, если в качестве первичного источника питания используется, например, резервный источник телефонной связи напряжением 48 В. При отсутствии такой изоляции телефон может зарядиться до напряжения 48 В, что недопустимо для эксплуатации аппаратуры такого назначения.

Еще одним преимуществом этой платы являются малые габариты. На плате CN0509 имеется два USB-порта: один – стандартный, а другой порт содержит контроллер, используемый для контроля напряжения линии передачи данных при быстрой зарядке напряжением 5 В с максимальным током заряда 2 А. Обеспечение такого зарядного тока зависит от величины первичного напряжения. Напряжением 12 В является оптимальным, как следует из графика производительности, приведенного на рис. 4.



**Зависимость тока нагрузки платы CN0509 от величины входного напряжения**



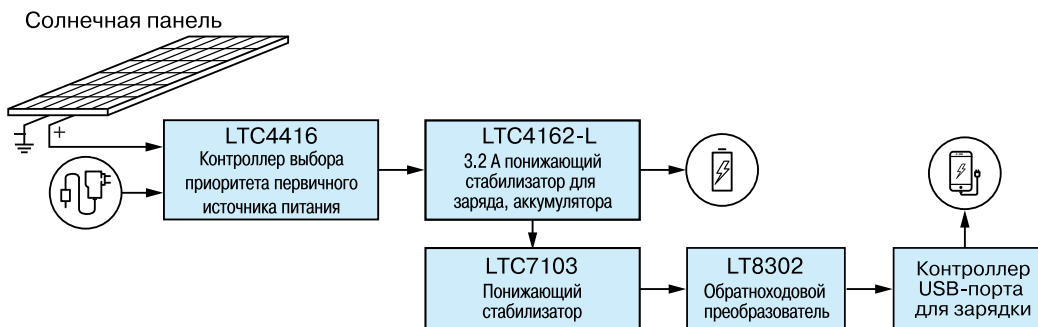
**Рис. 1. Схема включения контроллера LTC4416**



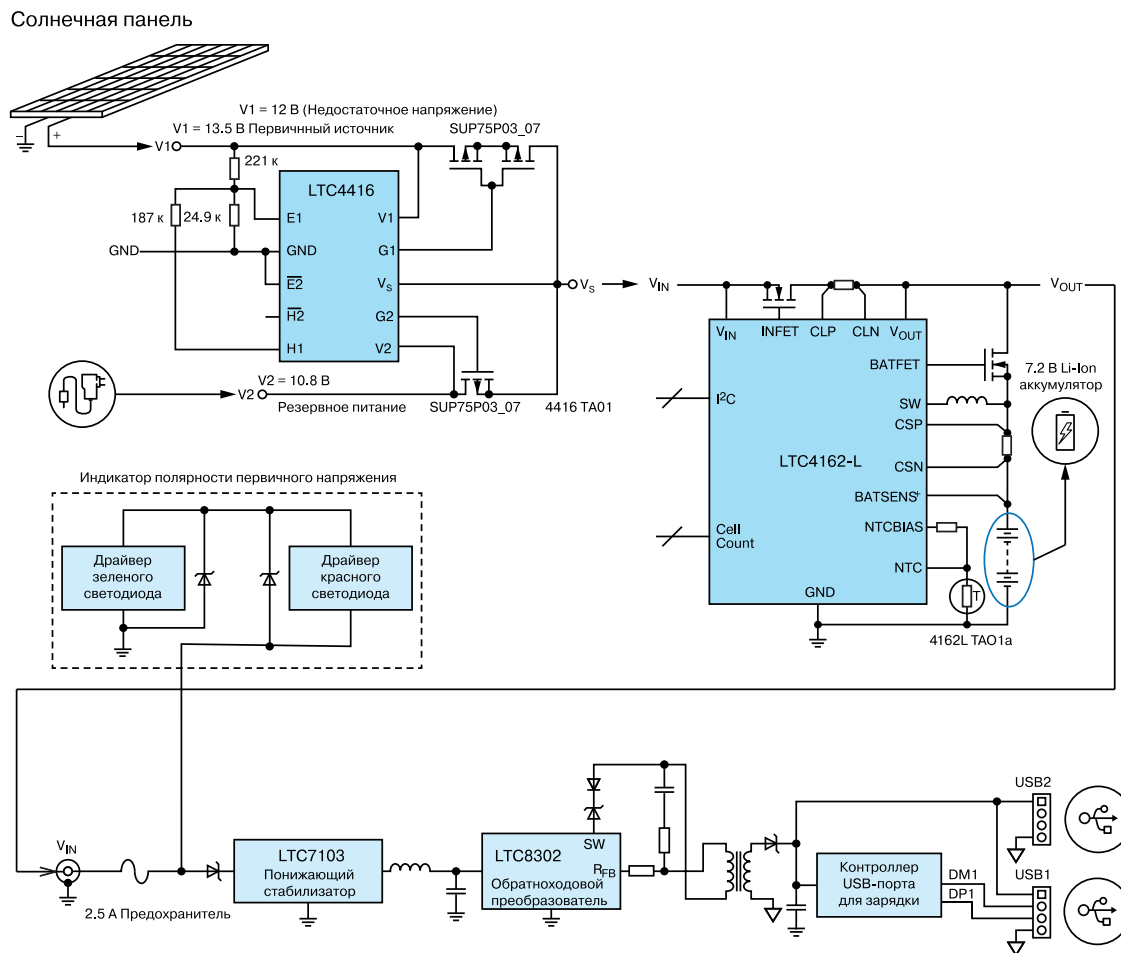
В качестве первичного источника питания выбран преобразователь переменного тока в постоянный напряжением 12 В и мощностью 60 Вт (рис. 5). Он обеспечивает необходимый входной ток для оценочной платы с контроллером LTC4416. Кроме того, к входу этой платы подключена солнечная батарея невысокой мощности, как альтернативный источник первичного напряжения питания. Для проведения тестирования выбран перезаряжаемый ли-

тий-ионный аккумуляторный блок с двумя ячейками, генерирующий номинальное напряжение 7,4 В и имеющий емкость 2600 мАч.

Зарядное устройство на базе уже имеющихся оценочных плат (рис. 6) не требует доработки и модификаций, кроме некоторых настроек пороговых напряжений контроллера LTC4416 для обеспечения требуемого приоритета первичного источника напряжения.

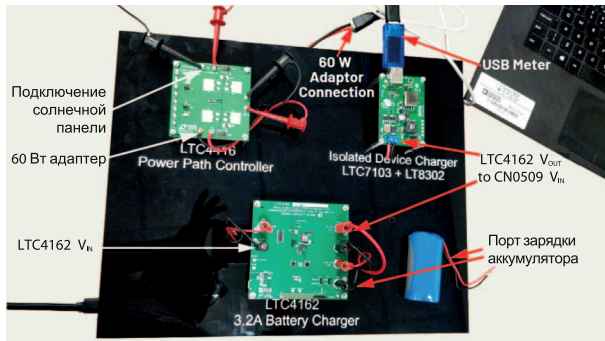


**Рис. 5. Структурная схема зарядного устройства для аккумуляторного источника питания типа Power Bank**



**Рис. 6. Схема прототипа зарядного устройства для аккумуляторного источника питания типа Power Bank на базе ранее разработанных оценочных плат для отдельных функциональных узлов**

При тестировании этого зарядного устройства, рис. 7, установлено, что все заложенные в устройство функции выполнялись в соответствии с требованиями.



**Рис. 7. Внешний вид зарядного устройства для аккумуляторного источника питания типа Power Bank на базе оценочных плат для отдельных функциональных узлов**

Ток заряда через порт USB ограничен возможностями LTC4162 и составляет не более 3,2 А. Если первичный источник отключается, полевой транзистор в тракте питания на оценочной плате LTC4162 обеспечивает перенаправление энергии батареи на выходной порт и, следовательно, поддерживает питание портов CN0509 и USB. Доступный зарядный ток в этом режиме падает в соответствии с графиком на рис. 4, поскольку источником входного сиг-

нала для CN0509 теперь является напряжение батареи, номинальное значение которого составляет 7,4 В.

После того, как зарядное устройство проверено и установлено, что его параметры полностью удовлетворяют требованиям, следующим шагом является разработка законченного изделия. Это значит, что вместо нескольких оценочных плат следует разработать и изготовить одну плату, установив на нее необходимые электронные компоненты. Таким образом, плата CN0509, как показало тестирование, является идеальным прототипом для нового зарядного устройства.

## ВЫВОДЫ

В статье на примере прототипа зарядного устройства для аккумуляторного источника питания типа Power Bank показано, как с помощью уже имеющихся оценочных плат сложных контроллеров и других электронных компонентов можно достаточно быстро изготовить прототип нового изделия, протестировать его, после чего приступить к проектированию конкретного изделия. Такой подход позволяет сократить время на проектирование, разработать прикладное программное обеспечение и получить законченное изделие с оптимальными параметрами.



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

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

Преобразователи RPxx-RW рассчитаны для работы в диапазоне температур от -40 до 85 °C без снижения выходной мощности.

RPxxH-RW



RPxxQ-RW



Преобразователи серий RP75H-RW, RP90Q-FW, RP100H-RW, RP120Q-FW, RP180H-RW и RP240H-RW в корпусах с крепежными отверстиями для применения в оборудовании, которое подвергается значительным вибрациям

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



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

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

# ВВЕДЕНИЕ В СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ: ЧТО ТАКОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ?

Мир искусственного интеллекта (ИИ) быстро развивается. ИИ все чаще позволяет использовать приложения, которые ранее были сложны в реализации. В этой статье рассматриваются сверточные нейронные сети (СНС) и их применение для машинного обучения в системах с ИИ.

О. Дриссен

Сверточные нейронные сети являются мощным инструментом для извлечения характерных признаков из сложных данных. Это задачи распознавания образов в звуковых сигналах или изображениях. В статье обсуждаются преимущества СНС по сравнению с методом классического линейного программирования.

**Что такое сверточные нейронные сети?** Нейронные сети – это системы или структуры нейронов, которые позволяют ИИ лучше распознавать данные, что дает возможность ИИ решать сложные задачи. Основными областями применения СНС являются задачи распознавания образов и классификации объектов, содержащихся во входных данных. СНС — это искусственная нейронная сеть, используемая в глубоком обучении (deep learning). Такие сети состоят из входного слоя, нескольких сверточных слоев и выходного слоя.

Сверточные слои являются наиболее важными компонентами ИИ, поскольку они используют уникальный набор фильтров, которые позволяют сети извлекать признаки из входных данных. Данные могут поступать во многих формах, таких как изображения объектов, аудиоданные и данные в виде текста.

Процесс извлечения признаков позволяет сетям идентифицировать закономерности в полученных данных. Извлекая зависимости из данных, СНС позволяют инженерам создавать более эффективные и надежные приложения. Чтобы лучше понять работу и преимущества СНС, кратко рассмотрим классический метод линейного программирования, который

## INTRODUCTION TO CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS: WHAT IS MACHINE LEARNING?

Abstract – The world of artificial intelligence (AI) is rapidly evolving, and AI is increasingly enabling applications that were previously unattainable or very difficult to implement. This article discusses the advantages of CNNs vs. classic linear programming.

O. Dreessen

используется для решения подобных задач.

**Выполнение линейной программы в классической системе управления.** В системах управления задача, как правило, состоит из считывания данных с одного или нескольких датчиков, последующей их обработки и реакции на полученные данные в виде формирования управляющего воздействия в соответствии с наперед заданными алгоритмами. Например, регулятор температуры измеряет температуру каждую секунду с помощью микроконтроллера, который считывает данные с датчика температуры. Значения, полученные от датчика, служат входными данными для системы управления с обратной связью и сравниваются с заданной температурой в контуре. Это пример линейного управления с помощью микроконтроллера. Такой подход обеспечивает управление на основе набора предварительно запрограммированных, т.е. заранее известных алгоритмов. В отличие от этого детерминированного подхода системы с использованием ИИ, как правило, основаны на применении вероятностного подхода.

**Сложные образы и обработка сигналов.** Известно множество приложений, работающих с входными данными, которые сначала должны быть интерпретированы системой распознавания образов. Распознавание образов может применяться к различным структурам данных. В приведенных примерах мы ограничимся одномерными и двумерными структурами данных. К таким данным относятся звуковые сигналы, электрокардиограммы (ЭКГ), фотоплетизмограммы (ФПГ), вибрации для одномерных

**Dreessen O. Introduction to Convolutional Neural Networks: What Is Machine Learning? Analog Dialogue, N 57, February, 2023. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.**



данных и изображений или тепловые изображения, а также многие другие.

При распознавании образов для таких данных разработка приложения в классическом коде микроконтроллера весьма затруднительна. Примером может служить распознавание объекта (например, кота) на изображении. В этом случае не имеет значения, взято ли анализируемое изображение из более ранней записи или только что считано сенсорами видеокамеры. Программное обеспечение для анализа выполняет поиск на основе правил, которые можно отнести к признакам семейства кошачьих: заостренные уши, треугольный нос, наличие усов.

Если эти особенности можно распознать на изображении, программа сообщает о наличии кота на данном изображении. При этом возникают дополнительные вопросы: что будет делать система распознавания образов, если кота показывают только со спины? Что было бы, если бы у кота не было усов или он потерял лапу в результате несчастного случая? Несмотря на маловероятность этих исключений, алгоритмам распознавания образов пришлось бы проверять во много раз большее количество дополнительных данных, покрывающих все возможные аномалии. Даже в этом, казалось бы, простом примере количество алгоритмов, заложенных в программное обеспечение, будет стремительно возрастать.

**Как машинное обучение заменяет классические методы и алгоритмы.** Идея применения ИИ состоит в том, чтобы имитировать обычное (человеческое) обучение в рамках поставленной задачи. Вместо того, чтобы заранее предусматривать большое количество правил (алгоритмов), моделируется универсальная система распознавания образов. Ключевое различие между двумя подходами заключается в том, что ИИ, в отличие от набора алгоритмов, не дает четкого результата. Вместо сообщения в виде «Я узнал кота на изображении», результатом машинного обучения является некоторая вероятность, когда результат формулируется в виде «С вероятностью 97,5% на изображении кот. Это также может быть леопард (2,1%) или тигр (0,4%)».

В связи с этим разработчик такого приложения должен принять самостоятельное решение в конце процесса распознавания образов. Для этого используется порог принятия единственного решения. Еще одно отличие состоит в том, что система распознавания образов не оснащена заранее фиксированными правилами (алгоритмами). Вместо

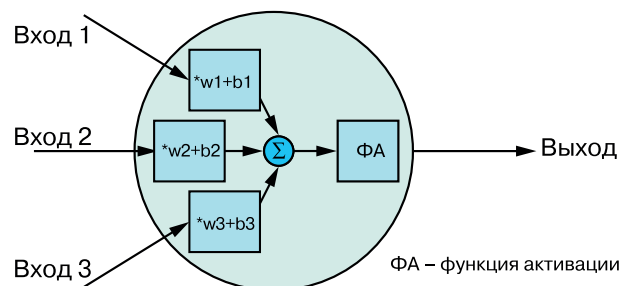
этого она обучается. В этом процессе обучения нейронной сети показывается большое количество изображений котов. В конце концов, эта сеть с некоторой вероятностью способна самостоятельно распознать, есть ли на изображении кот или его нет. Важным моментом такого решения является то, что процесс распознавания не ограничивается известными заранее тренировочными изображениями. Для построения реальной системы распознавания нейронную сеть необходимо встроить в микроконтроллер или микропроцессор.

**Что из себя представляет система для распознавания образов?** Сеть нейронов в ИИ напоминает биологический аналог мозга человека. Нейрон имеет несколько входов и один выход. По сути, такой нейрон представляет собой не что иное, как линейное преобразование входных данных — умножение входных данных на числа (веса,  $w$ ) и добавление константы (смещение,  $b$ ) — за которыми следует фиксированная нелинейная функция, также известная как функция активации. Функция активации, как единственный нелинейный компонент сети, служит для определения диапазона значений, в котором работает искусственный нейрон. Функция нейрона может быть описана математически как

$$Out = f(w \cdot x + b),$$

где  $f$  — функция активации,  $w$  — вес,  $x$  — входные данные и  $b$  — смещение.

Данные могут быть представлены в скалярном или векторном виде, а также в матричной форме. На рис. 1 показан нейрон с тремя входами и функцией активации (ФА). Нейроны в сети всегда располагаются слоями.



**Рис. 1. Нейрон с тремя входами и одним выходом**

Как уже упоминалось, СНС используются для распознавания образов и классификации объектов, содержащихся во входных данных. Сеть включает входной слой, несколько скрытых слоев и один вы-

ходной слой. На рис. 2 показан фрагмент сети с тремя входами, одним скрытым слоем с пятью нейронами и одним выходным слоем с четырьмя выходами. Все выходы нейронов подключены ко всем входам следующего слоя. Сеть на рис. 2 не предназначена для решения сложных задач и используется в качестве примера. Даже в этой несложной сети в уравнении для ее описания содержится 32 смещения и 32 веса.

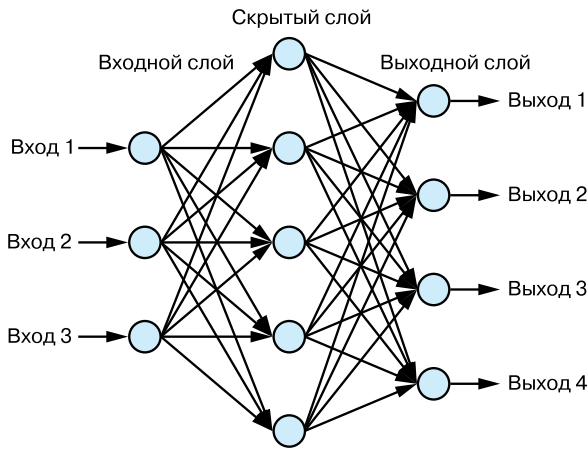


Рис. 2. Простая нейронная сеть

Для обучения нейронных сетей используются специальные наборы данных. Набор CIFAR-10 – один из таких наборов данных (изображений), обычно используемый для обучения нейронных сетей типа CIFAR для распознавания образов. Набор состоит из 60 000 цветных изображений 32x32, разбитых на 10 классов, которые собраны из различных источников, таких как веб-страницы, группы новостей, частные коллекции изображений и т.п. Каждый класс содержит 6000 изображений, поровну разделенных на наборы для обучения, тестирования и

проверки, что делает его идеальным для тестирования новых систем компьютерного зрения и других моделей машинного обучения. Модель обучения СНС на наборе CIFAR-10 приведена на рис. 3.

Основное отличие сверточных нейронных сетей от других типов сетей заключается в обработке данных. С помощью фильтрации входные данные последовательно проверяются на предмет их свойств. По мере увеличения количества сверточных слоев, соединенных последовательно, увеличивается уровень детализации, которую можно распознать. Процесс начинается с простых свойств объекта, таких как ребра или точки, после первой свертки и переходит к детальным структурам, таким как углы, круги, прямоугольники и т. д., после второй свертки. После третьей свертки признаки представляют собой сложные шаблоны (фрагменты изображения), которые напоминают части объектов на изображении и обычно являются уникальными для данного класса распознаваемых объектов. В исходном примере это усы или уши кота. Визуализация карт признаков, которую можно увидеть на рис. 4, не является необходимой для самого приложения, но помогает понять процесс свертки.

Даже у достаточно простой сети типа CIFAR содержатся сотни нейронов в каждом слое и множество последовательно соединенных слоев. Количество необходимых весов и смещений растет с увеличением сложности и размера сети. В примере CIFAR-10 (рис. 3) уже имеется 200 000 параметров, которым соответствует определенный набор характерных признаков в процессе обучения. Карты объектов могут быть дополнительно обработаны путем объединения слоев для уменьшения количества параметров обучения.

Как уже было отмечено, после каждой свертки в СНС часто происходит объединение, называемое в

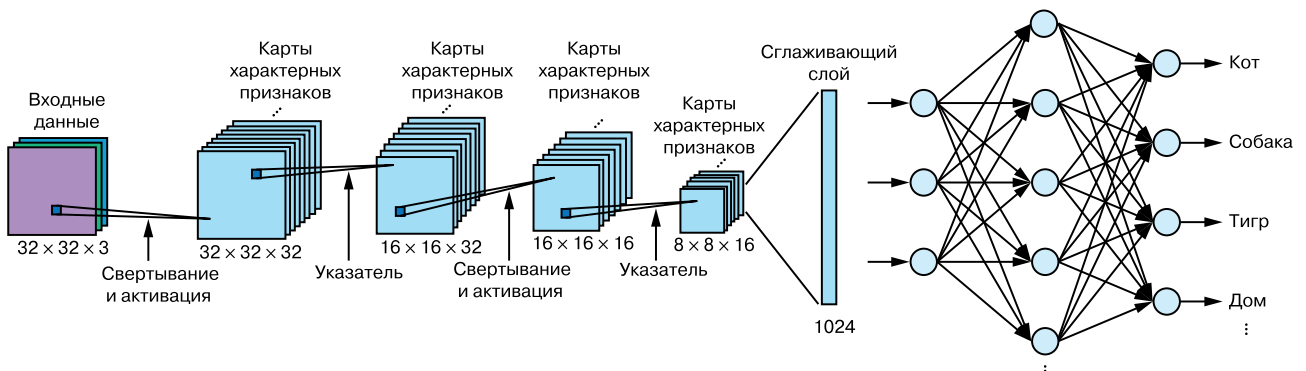
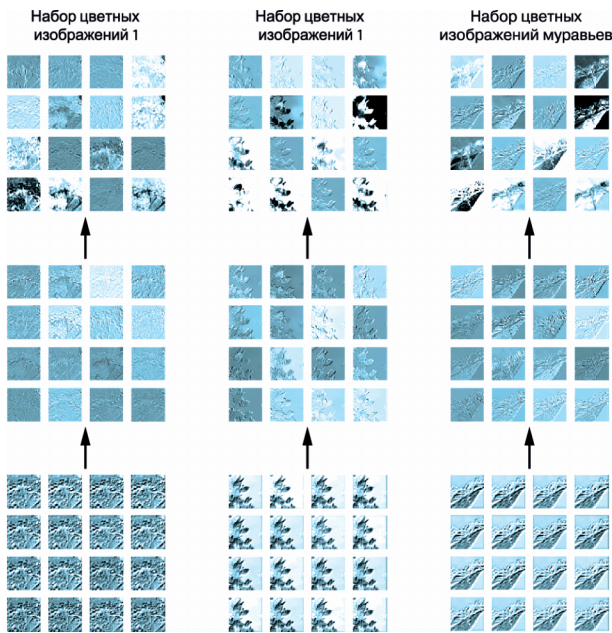


Рис. 3. Модель обучения нейронной сети на наборе CIFAR-10



**Рис 4. Карты характерных признаков**

литературе подвыборкой. Это служит для уменьшения размерности данных. Если посмотреть на наборы (карты) объектов на рис. 4, то можно заметить, что ряд фрагментов содержит малозначимую информацию или вообще ее не содержат. Это связано с тем, что объекты составляют не все изображение, а лишь небольшую его часть. Остальная часть изображения не используется в конкретной карте признаков и, следовательно, не имеет отношения к классификации.

В слое группы указывается как тип группы (максимальный или средний), так и размер матрицы окна. Матрица окна поэтапно перемещается по входным данным в процессе объединения. Например, при максимальном объединении берется наибольшее значение данных в окне. Все остальные значения отбрасываются.

Таким образом, количество данных постоянно уменьшается, и, в конце концов, они формируют вместе со свертками уникальные свойства соответствующего класса объектов. Результатом этих групповых сверток и объединений является большое количество двумерных матриц. Чтобы достичь фактической цели классификации, необходимо преобразовать двумерные данные в один одномерный вектор.

Преобразование выполняется в так называемом выравнивающем или сглаживающем слое, за которым следуют один или два полносвязных слоя. Нейроны последних двух типов слоев аналогичны

структуре, приведенной на рис. 2. Последний слой этой нейронной сети имеет ровно столько выходов, сколько классов нужно различать. Кроме того, в последнем слое данные также нормализуются для получения распределения вероятностей (97,5 % коты, 2,1 % леопарды, 0,4 % тигры и т. д.).

На этом пример моделирования рассмотренной нейронной сети завершен. В последующих статьях на эту тему будет рассмотрена аппаратная реализация сверточной нейронной сети с применением микроконтроллера MAX78000 и аппаратным ускорителем СНС, разработанным компанией Analog Devices.

## ВЫВОДЫ

В вычислительных задачах большой сложности широко применяются элементы искусственного интеллекта, основным инструментом которого являются обучаемые нейронные сети. Особенности построения и обучения таких систем кратко изложены в настоящей публикации. В дальнейших работах автора будет рассмотрена аппаратная реализация таких сетей, выполненная на компонентах компании Analog Devices.

## VD MAIS

### Контрактное производство электроники

(по стандарту IPC-A-610)

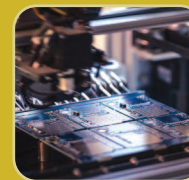


- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 2,5 млн в сутки)
  - автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
  - монтаж прототипов печатных плат
  - 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
  - изготовление опытных образцов изделий
  - мелко- и крупносерийное 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) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

## VD MAIS

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



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

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

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua



# НОСИМЫЕ СМАРТ-СЕНСОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КРОВОПОТЕРЬ ПРИ РАНЕНИЯХ ИЛИ ТРАВМАХ

## WEARABLE SMART-SENSORS FOR ESTIMATING BLOOD LOSS DUE TO BLEEDING CAUSED BY TRAUMA OR INJURY

**В** статье рассмотрен метод оценки кровопотери, вызванных ранением или травмой, с помощью носимых медицинских смарт-сенсоров.

**Abstract** – The application of wearable medical smart-sensors for estimating blood loss due to bleeding caused by trauma or injury is considered in the article.

*В. Романов*

*V. Romanov*

Носимые медицинские смарт-сенсоры и системы на их основе начинают широко применяться в медицинской практике [1]. Они позволяют измерять артериальное давление, частоту дыхания и сердечного ритма, температуру тела, импеданс кожного покрова, ЭКГ, а также другие медицинские параметры, и передавать их при необходимости в удаленный диагностический центр через аналоговый интерфейс и модуль обмена данными.

В ряде случаев для комплексной оценки состояния пациента синхронно измеряется несколько медицинских параметров, например, частота сердечного ритма и параметры движения, или частота сердечного ритма и импеданса кожного покрова. Следует отметить, что если мониторинг медицинских параметров и их передача в диагностический центр выполняются автоматически по заданному алгоритму, то постановка диагноза в этих центрах все еще остается прерогативой врача.

Это ограничивает применение дистанционных систем медицинского мониторинга при необходимости диагностировать состояния пациента в реальном времени. Задержка в постановке диагноза и, как следствие, в оказании необходимой врачебной помощи особенно в чрезвычайных ситуациях может привести к необратимым последствиям, включая гибель пациента.

К подобным ситуациям относятся тяжелые травмы или ранения, сопровождающиеся кровотечениями с большой потерей крови, что может вызвать тяжелый геморрагический шок и привести к летальному исходу. Уровень кровопотери, как правило, выражается через объем циркулирующей крови (ОЦК). Исходя из этого показателя, классификация кровопотерь может быть представлена в следующем виде:

1. Легкая степень кровопотери до 1 л составляет 10 – 20% ОЦК.
2. Средняя степень кровопотери до 1.5 л составляет 20 – 30% ОЦК.
3. Тяжелая степень кровопотери до 2 л составляет 40% ОЦК.
4. Массивная кровопотеря – более 2 л составляет более 40% ОЦК.

Следует обратить внимание на достаточно большой разброс диапазона показателей при оценке тяжести кровопотери, при этом важно знать еще и скорость кровопотери. Отметим, что для более точной оценки кровопотерь необходимо иметь данные о первоначальном объеме циркулирующей крови пострадавшего (до получения им травмы или ранения).

Известно, что ОЦК зависит от таких параметров, как вес, рост, пол, возраст и др. Если величина исходного ОЦК пострадавшего неизвестна, то используют, как правило, среднестатистический показатель, согласно которому ОЦК у взрослого здорового человека составляет 6-8% от массы тела. Таким образом, если руководствоваться приведенными выше допусками в показателях, то погрешность в оценке тяжести кровопотери может колебаться в пределах 10% и более.

В медицине существует достаточно много методов оценки кровопотерь в реальном времени. Их можно условно разделить на две большие группы: прямые и косвенные. К прямой оценке в основном относятся различные биохимические методы, которые применяются при проведении хирургических операций. Вне клиники используют косвенные методы, как правило, под наблюдением медицинского персонала.

Применение в настоящее время носимых смарт-

сенсоров и систем для автоматической оценки тяжести кровопотерь в реальном времени нам неизвестно. В то же время в медицинской практике используется такой достаточно валидный косвенный показатель оценки кровопотери, как индекс Альговера-Брубера (ИАБ):

$$\text{ИАБ} = \text{ЧСС} / \text{АДС},$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений; АДС – артериальное или систолическое давление.

Уровень кровопотери, выраженный через индекс Альговера-Брубера, может быть представлен в следующем виде:

1. ИАБ = 0.8 и меньше – кровопотери составляют 10 – 15% ОЦК.
2. ИАБ = 0.9 – 1.2 – кровопотери составляют 20 – 25% ОЦК.
3. ИАБ = 1.3 – 1.5 – кровопотери составляют 30% ОЦК.
4. ИАБ = 2 – кровопотери составляют 40% ОЦК.

Для вычисления этого индекса могут быть использованы уже имеющиеся в системе медицинского мониторинга сенсоры частоты сердечных сокращений и артериального давления. Учитывая, что в используемых в настоящее время носимых системах медицинского мониторинга кровопотери, вызванные кровотечением, не измеряются, в их состав предлагается включить функцию определения этого показателя. С этой целью, если у пострадавшего в результате ранения или травмы наблюдается кровотечение, то носимая система медицинского мониторинга должна синхронно следить за параметрами артериального давления и частоты сердечных сокращений и с каждым измерением этих параметров вычислять индекс кровопотери Альговера-Брубера.

Следует отметить, что при определении кровопотери, выраженной через индекс Альговера-Брубера, наблюдается достаточно большой разброс вплоть до оценки крайнего случая, когда пострадавшему угрожает летальный исход, особенно, если неизвестен исходный ОЦК и другие медицинские параметры пострадавшего.

Поэтому для повышения точности измерения кровопотери система медицинского мониторинга должна быть персонализирована, т. е. содержать индивидуальные данные об ОЦК, давлении и частоте сердечного ритма пострадавшего в нормальном состоянии (до получения травмы или ранения). Это позволит с большей точностью установить уровень

кровопотери и вовремя принять необходимые меры, включая переливание крови, для оказания экстренной помощи пострадавшему.

Отметим, что скорость кровотока, которая тоже может быть измерена с помощью этого индекса, зависит еще от температуры тела, вязкости крови, ее насыщения кислородом. Влияние этих параметров на скорость кровотока может быть учтено введением поправочных коэффициентов при определении индекса Альговера-Брубера.

## ВЫВОДЫ

Измерение кровопотери в полевых условиях возможно с помощью носимой персонализированной smart-системы медицинского мониторинга, в том числе дистанционной. Для разработки и применения таких систем, могут быть использованы выпускаемые промышленностью носимые медицинские сенсоры, средства обработки и передачи данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Романов В., Галелюка И., Вороненко А. Схематехнические решения для дистанционного мониторинга состояния здоровья хронических больных. ЭКиС, № 1, 2023 г. – с. 14-

**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-610G):
  - автоматизированный монтаж SMD-компонентов
  - автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
  - изготовление опытных образцов изделий
  - мелко- и крупносерийное производство
- многолетний опыт разработки и производства
- гарантия качества

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

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

**VD MAIS**  
Печатные платы



- проектирование печатных плат
- технологическая подготовка производства
- изготовление любого количества плат:
  - по ГОСТ 23752-79
  - по стандарту IPC-A-600J
- 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) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

# СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ХРОНИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ

## INTEGRATED CIRCUITS FOR REMOTE MEDICAL MONITORING OF HEALTH STATE OF UNDER RISK PATIENTS

Современное состояние и развитие средств дистанционного медицинского мониторинга рассмотрено в настоящей публикации.

Abstract – The modern state and developing means of remote medical monitoring are considered in the article.

*В. Романов, И. Галелюка, А. Вороненко*

*V. Romanov, I. Galelyuka, A. Voronenko*

Комплексная цифровизация медицины, использование технологии Интернета вещей, беспроводных медицинских смарт-сенсоров и сенсорных сетей открывают широкие перспективы для поддержки качества жизни хронических больных, людей пожилого возраста, спортсменов, и всех тех, кто подвергается большим физическим и психологическим нагрузкам при выполнении своих служебных обязанностей, а значит, находится в зоне риска.

Реализация индивидуальных средств поддержки высокого качества жизни включает следующие направления: создание новых и использование существующих миниатюрных медицинских сенсоров для измерения в реальном времени медицинских параметров пациента, миниатюрных интерфейсов для сбора и первичной обработки полученных от медицинских сенсоров данных, приемопередатчиков для передачи данных в удаленные медицинские центры мониторинга и диагностики, инжекторов с автоматическим дистанционным управлением ввода медицинских препаратов в критических случаях. Современное состояние и развитие средств такого мониторинга рассмотрено в настоящей публикации.

Как уже было отмечено, цифровизация основных направлений человеческой деятельности привела к появлению такого направления как цифровая медицина. Цифровая медицина в первую очередь ориентирована на предупреждение болезни и обеспечение высокого качества жизни. Исходя из этого, можно выделить следующие базовые направления развития цифровой медицины:

1. Разработка и создание носимых медицинских систем мониторинга на основе смарт-сенсоров для измерения в реальном времени медицинских параметров и объединение их в беспроводную сенсорную сеть (БСС).

2. Разработка и создание носимых средств первичной обработки измеренных медицинских параметров.

3. Разработка и создание носимых средств передачи измеренных в реальном времени медицинских параметров в удаленные диагностические центры.

4. Разработка и создание управляемых дистанционно носимых инжекторов для введения медицинских препаратов в соответствии с поставленным пациенту диагнозом.

Перечисленные средства и технологии на их основе рассчитаны на оказание медицинской помощи тысячам пациентов. Однако, если носимые смарт-сенсоры и БСС на их основе, включая дистанционные инжекторы, уже нашли применение в медицинской практике, то постановка диагноза по результатам анализа переданных в удаленные центры медицинских параметров все еще остается прерогативой врача. Это свидетельствует о том, что современный уровень искусственного интеллекта пока еще не позволяет удаленным центрам самостоятельно без участия врача принимать решение об оказании пациенту необходимой медицинской помощи.

Современный уровень развития микроэлектроники позволил уже сегодня освоить в промышленном производстве недорогие системы носимых медицинских смарт-сенсоров и обеспечить ими не только хронических больных, но и спортсменов, и специалистов, которые при выполнении своих профессиональных обязанностей испытывают большие физические и психологические нагрузки.

В качестве примера рассмотрим ряд схемотехнические решения для построения носимых систем мониторинга медицинских параметров, которые предлагают ведущие компании в области микро-



электроники.

Ко всем носимым системам мониторинга медицинских параметров предъявляются одинаковые требования: они должны быть валидными, миниатюрными и работать продолжительное время без замены элементов питания.

Для обеспечения этих требований используются многоканальные аналоговые интерфейсы в микроэлектронном исполнении, предназначенные для подключения носимых сенсоров, регистрации и первичной обработки в реальном времени измеренных медицинских параметров. К этим параметрам относятся уровень насыщения крови кислородом, ЭКГ, фотоплетизмограмма, артериальное давление, частота сердечного ритма и дыхания, температура тела и многие другие, которые до последнего времени измерялись, как правило, в клинических условиях.

Мониторинг этих параметров важен для пациентов пожилого возраста, в послеоперационный период, для постинсультных и постинфарктных больных, которые продолжают находиться в зоне риска. Кроме того, дистанционный мониторинг медицинских параметров, как уже отмечалось, важен для спортсменов и специалистов, профессии которых связаны с большими физическими и психологическими нагрузками.

Поэтому дистанционный мониторинг медицинских параметров за пределами медицинских учреждений является важной составляющей современной медицинской практики. Следует отметить, что в настоящее время в мире находится в эксплуатации достаточно много носимых медицинских систем

мониторинга, предназначенных для слежения за несколькими медицинскими параметрами.

Это может быть мониторинг частоты сердечного ритма, совмещенный с датчиком движения, или мониторинг частоты сердечного ритма, совмещенный с измерением импеданса кожи, по показаниям которого определяется уровень стресса или состояние пациента во сне. Как правило, в большинстве случаев для измерения разных параметров используются интерфейсы разных типов, что приводит к применению нескольких однотипных модулей или ИМС, каждая из которых содержит АЦП, процессор, вторичный источник питания и другие однотипные узлы.

Все это усложняет систему мониторинга в целом, и что особенно важно, увеличивает потребление и снижает ее надежность при эксплуатации. Отсюда следует вывод о целесообразности применения одного универсального интерфейса для подключения к нему необходимого числа сенсоров.

Рассмотрим особенности такого интерфейса на примере ИМС семейства ADPD4000/ADPD4001 компании Analog Devices, структура которого приведена на рис. 1. Интерфейс дает возможность подключать медицинские сенсоры с симметричным и несимметричным выходом, он содержит 8-канальный мультиплексор, два усилителя с программируемым коэффициентом усиления, два фильтра, два интегратора, 14-разрядный АЦП с частотой выборки 1 МГц, процессор с памятью для первичной обработки данных, драйверы светодиодов и источники сигналов возбуждения.

С помощью этого интерфейса можно измерять

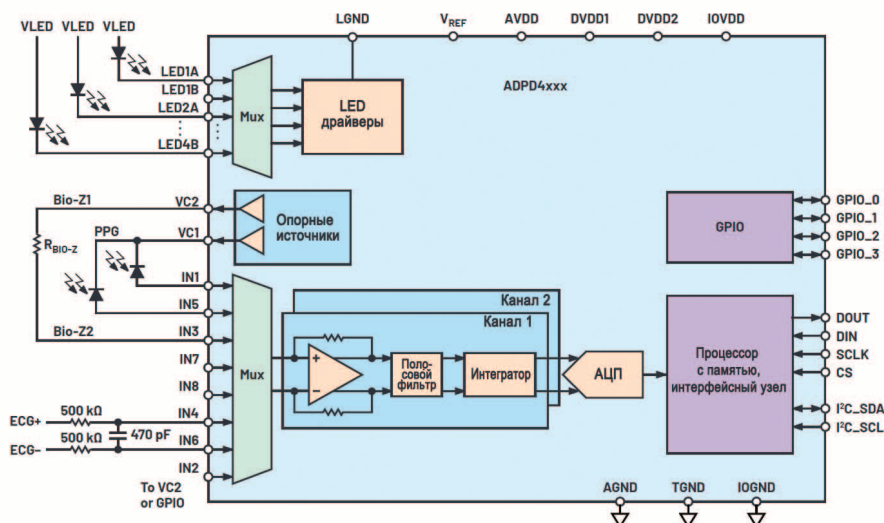


Рис. 1. Структурная схема интерфейса семейства ADPD4xxx

разные медицинские параметры, например, частоту сердечного ритма или уровень насыщения крови кислородом. Он может быть использован для съема и обработки кардиосигналов. Кроме того, этот интерфейс формирует сигналы возбуждения для измерения импеданса кожи, а также опорное напряжение для электродов при измерении биопотенциалов.

ИМС интерфейса не требует дополнительных вычислительных ресурсов для первичной обработки измеренных данных. В интерфейсе предусмотрена синхронизация измерения разных медицинских параметров для определения корреляции между ними. Так на рис. 2 показано, как ЭКГ измеряется синхронно с измерением пульсовых волн. По форме пульсовой волны может быть определено артериальное давление, что важно для пациентов, страдающих гипертонией.

Для оптического измерения пульсовых волн (ПВ) в ИМС ADPD4000 имеется восемь программируемых драйверов светодиодов. Еще одним примером микроэлектронного интерфейса для мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы является ИМС компании Analog Devices ADPD188GG.

Хорошо известно, что оценка состояния сосудистого русла, включая капилляры, дает возможность еще на ранней стадии выявить различные болезни сердечно-сосудистой системы. Одним из методов скрининговой сосудистой диагностики является фотоплетизмография. Этот экспресс-метод основан на определении объема крови в микроциркуляторном русле.

Принцип действия оптической системы монито-

ринга на основе ИМС интерфейса ADPD188GG состоит в следующем. Светодиодный источник света облучает палец пациента, а фотоприемник в зависимости от интенсивности отраженного или поглощенного светового потока формирует пульсовую волну, форма которой зависит от периодического изменения объема крови в облучаемом пальце при каждом сокращении сердечной мышцы. Он также фиксирует частоту и вариабельность сердечного ритма.

По форме нарастания и спада пульсовой волны за время сокращения сердечной мышцы можно диагностировать состояние сердечно-сосудистой системы в целом. Структурная схема оптической системы для съема фотоплетизмограммы приведена на рис. 3.

Таким образом, на основе ИМС интерфейса ADPD188GG может быть построена носимая система слежения за состоянием сердечно-сосудистой системы пациента. В общем случае дистанционная система мониторинга содержит определенное количество носимых сенсоров с аналоговыми интерфейсами, дистанционно управляемые инжекторы и модуль беспроводного обмена данными, как показано на рис. 4.

Носимые сенсоры через аналоговый интерфейс подключены к модулю обмена данными. Кроме передачи данных в удаленный диагностический центр, этот модуль поддерживает управление носимыми инжекторами, которые предназначены для введения необходимых медицинских препаратов.

Следует принять во внимание, что дистанционный медицинский мониторинг заключается не толь-

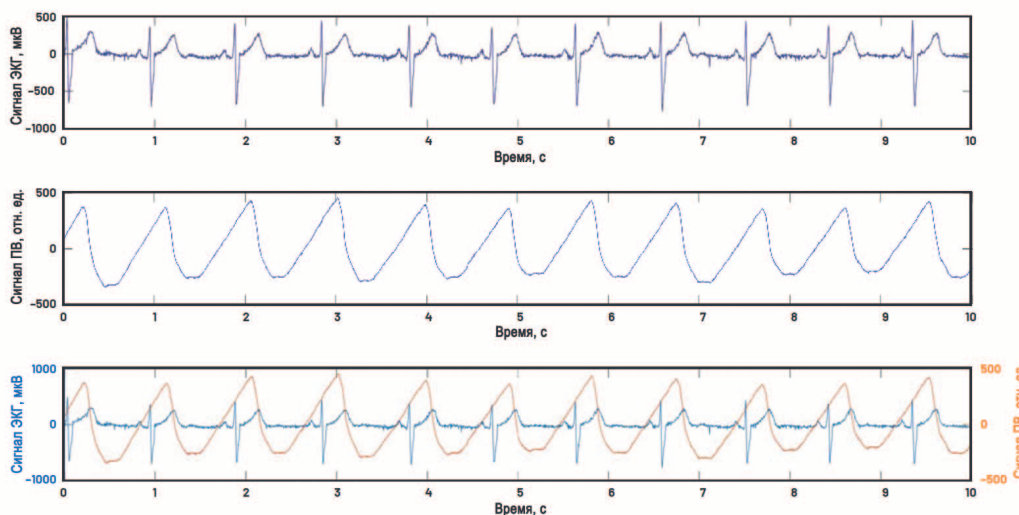


Рис. 2. Диаграммы синхронного измерения ЭКГ и пульсовых волн

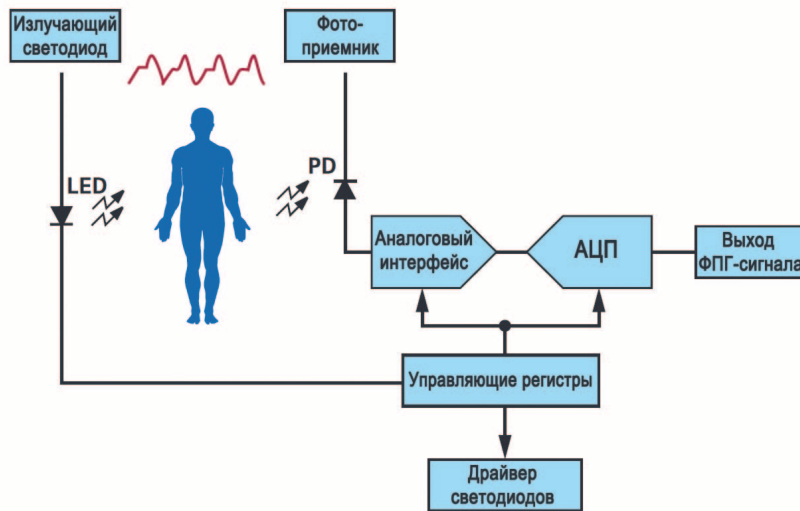


Рис. 3. Структурная схема оптического модуля для съема фотоплетизмограммы

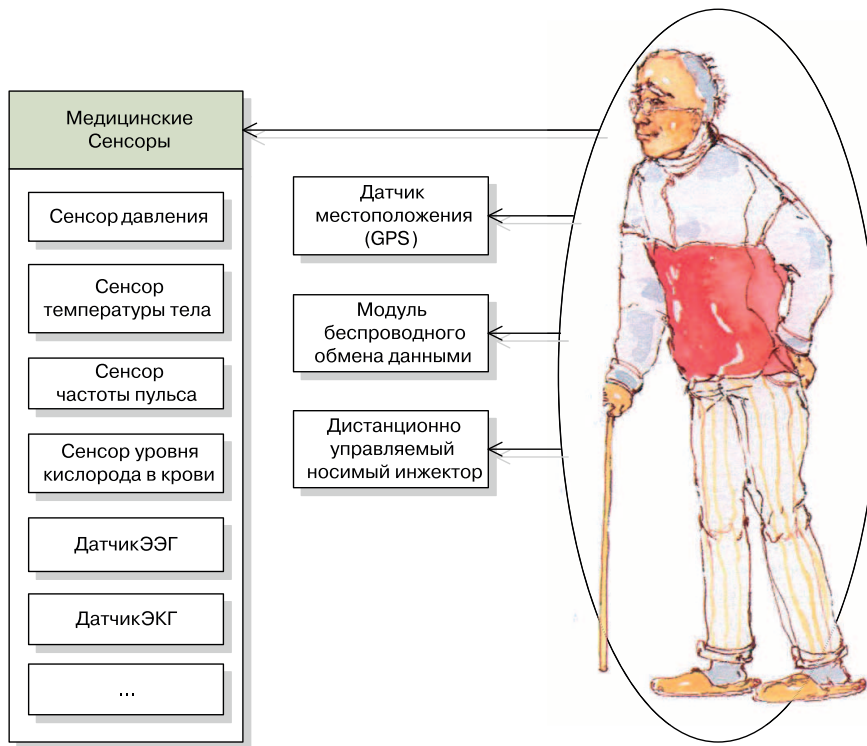


Рис. 4. Дистанционная система мониторинга состояния здоровья пациента

ко в организации беспроводных каналов передачи данных, но и в организации и поддержке инфраструктуры функционирования системы мониторинга в целом. Это предполагает организацию Интернет-сервисов, хранение и защиту данных в удаленном сервере, создание прикладного программного обеспечения, поддержку работы системы мониторинга в реальном времени, обеспечение длительной работы сенсоров без обслуживания и замены элементов питания.

В настоящее время используется много стандартов и протоколов для беспроводных сенсорных сетей, которые могут успешно использоваться в системах медицинского мониторинга. Среди них можно выделить следующие: Bluetooth, BluetoothLE, BluetoothSmart, IEEE 802.15.4, ZigBee, Thread, WirelessHART и другие. Примером smart-системы дистанционного медицинского мониторинга, в которой используется несколько протоколов обмена данными, является разработанная в Институте киберне-

тики НАН Украины система, структура которой приведена на рис. 5.

Для работы сети в пределах клиники может быть использован только один протокол, например, ZigBee. В этом случае все узлы беспроводной сети (мониторы, ретрансляторы, координатор сети) могут быть выполнены на базе микроконтроллера JN5168 компании NXP, который содержит 32-разрядный RISC-процессор с тактовой частотой 32 МГц и беспроводной модуль для передачи данных в соответствии со стандартом IEEE 802.15.4. Для реализации этой сети использован стек ZigBee Pro.

Основным узлом управления БСС является узел

координатора сети. Кроме того, разработанный координатор предназначен для сбора, первичной обработки, визуализации и передачи данных в удаленный диагностический центр для постановки диагноза. В случае необходимости координатор может обеспечивать связь с сетью Интернет или облачной средой.

Рабочим местом врача в такой сети является ПК с адаптером ZigBee/USB. Если пациенты с носимыми медицинскими сенсорами находятся вне клиники, целесообразно дополнить протокол ZigBee протоколом Bluetooth 5.0, который обладает высокой энергоэффективностью, что особенно важно для

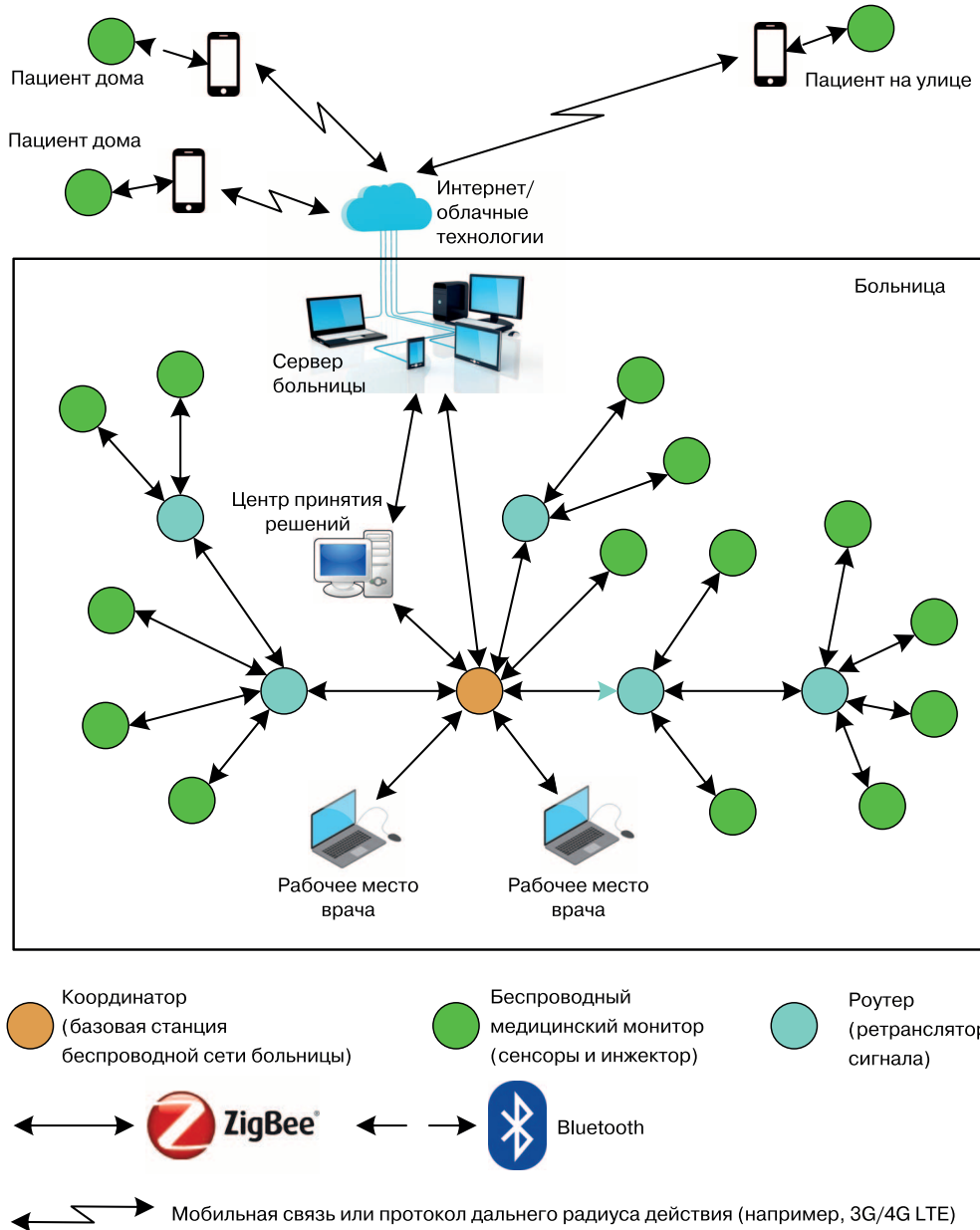
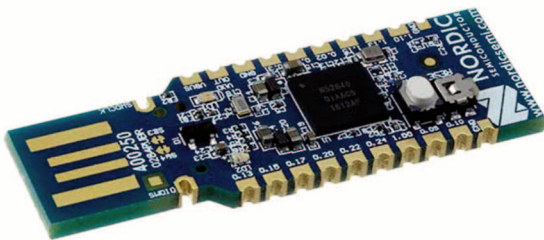


Рис. 5. Структура многопротокольной smart-системы дистанционного медицинского мониторинга



носимых средств передачи данных с батарейным питанием.

Если число носимых медицинских сенсоров достаточно велико, протокол Bluetooth 5.0 позволяет развернуть сеть типа Bluetooth Mesh, которая может одновременно поддерживать слежение за состоянием здоровья большого числа пациентов. Для реализации такой сети предлагается использовать беспроводной микроконтроллер типа nRF52840 фирмы Nordic Semiconductor (рис. 6) который поддерживает работу сети под управлением протоколами Bluetooth, Thread, ZigBee, 802.15.4 и др.



**Рис. 6. Беспроводной микроконтроллер nRF52840**

Микроконтроллер с тактовой частотой 64 МГц выполнен на базе 32-разрядного процессора с ядром ARM Cortex-M4. Он включает интерфейсы типа SPI и QSPI, а также USB-порт и встроенное зарядное устройство для подзарядки аккумуляторной батареи.

Как следует из вышеизложенного, дистанционные смарт-системы медицинского мониторинга благодаря развитию информационных технологий и микроэлектронной элементной базы уже сегодня являются предметом инженерных разработок и практического применения, что нельзя сказать о когнитивных удаленных центрах диагностики с применением искусственного интеллекта.

Принятие решения по-прежнему остается за врачом. Это означает, что слежение за медицинскими параметрами с помощью носимых медицинских сенсоров, практически, не решает проблему поддержки состояния пациента на необходимом уровне. С ростом числа медицинских параметров, передаваемых в диагностический центр, увеличивается и вероятность ошибочного диагноза.

Кроме того, до настоящего времени отсутствуют международные стандарты для аппаратно-программных средств медицинского мониторинга, что затрудняет обеспечение их совместимости в систе-

мах мониторинга разных производителей. По этим причинам могут возникать проблемы как валидности данных, поступающих в удаленные центры диагностики, так и достоверности диагноза на основе этих данных.

## ВЫВОДЫ

1. Новая технология Интернета вещей (IoT), которая опирается на искусственный интеллект и пока находится в начальной стадии своего применения в медицинской практике, по нашему мнению, сможет решить перечисленные проблемы. Благодаря внедрению этой технологии сенсорные сети могут стать надежными помощниками врачей в задачах дистанционного контроля состояния здоровья большого числа пациентов в реальном времени.

2. Еще одна проблемой дистанционного медицинского мониторинга, которая подлежит решению, заключается в дополнении сети смарт-сенсоров сетью исполнительных механизмов (дистанционных инжекторов) под управлением искусственного интеллекта. Решение этой проблемы связано с разработкой и созданием новой технологии для применения в здравоохранении – технологии интеллектуального Интернета вещей.

### VD MAIS

Электро-механические 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) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

### VD MAIS

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



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

Дистрибуция и прямые поставки:

AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LDKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

We make it *possible*

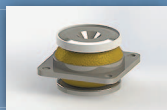
- диапазон рабочих температур от  $-90^{\circ}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$
- срок службы 30 лет



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  $+400^{\circ}\text{C}$ . Срок службы не менее 30 лет.

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

VD MAIS – авторизованный торговый представитель фирмы Hutchinson Stop-Choc GmbH & Co. KG (Германия) в Украине  
 тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 283-8246,  
 (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua



# ДАТЧИКИ TE CONNECTIVITY ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

## TE CONNECTIVITY SENSORS FOR INDUSTRIAL IOT SYSTEMS

**В** статье приведена краткая информация о акселерометрах компании TE Connectivity, предназначенных для применения в системах промышленного Интернета вещей. Все акселерометры характеризуются широким динамическим диапазоном и высокой стабильностью характеристик во всем рабочем диапазоне температур.

**Abstract** – The article provides a brief introduction to TE Connectivity's accelerometers for industrial IoT applications. All accelerometers are characterized by a wide dynamic range and high stability of characteristics over the entire operating temperature range.

В. Макаренко

V. Makarenko

Индустрия 4.0 или промышленный Интернет вещей (IIoT) предполагает использование традиционных производственных и промышленных методов в сочетании с современными технологическими достижениями в области робототехники и цифровых систем управления.

Для автоматизации любых процессов необходимо использовать датчики [1]. В TE Connectivity (TE) считают, что по мере роста потребности в автоматизации промышленных роботов датчики будут по-прежнему составлять основу для систем сбора данных, которые позволяют превратить производственные цеха в автоматизированные заводы будущего.

Фактически, TE готов к будущему в робототехнике. Последние поколения промышленных роботов могут решать сложные задачи в автомобилестроении и авиастроении, фармацевтической промышленности, металлообработке, логистике и во многих других отраслях.

Компания TE предлагает большое число самых разнообразных датчиков для измерения силы, температуры, давления, ускорения и положения, которые обеспечивают измерения с высокой точностью для систем управления движением и точного позиционирования компонентов систем, как при производстве, так при профилактическом обслуживании оборудования.

По мере того, как революция в робототехнике набирает силу, большинству производителей требуются все более точные датчики для встраивания в роботизированное оборудование.

Например, для производств, где одновременно работают люди и роботы, системы датчиков должны не только обнаруживать, находится ли рядом че-

ловек, но и предотвращать любое возможное столкновение между роботом и находящимися поблизости работниками. В большинстве случаев требуются датчики с переменным диапазоном и разрешением измерений. Кроме того, производственная среда может быть агрессивной (сильное запыление, наличие водяного пара и других неблагоприятных факторов), что затрудняет определение различий между людьми и роботами, работающими на той же площадке.

### Технологии, используемые TE для построения датчиков

Для контроля температуры поверхности промышленного оборудования используются компактные дискретные термисторы с отрицательным температурным коэффициентом (NTC), обеспечивающие измерения с высокой точностью и отличную долговременную стабильность. В температурных датчиках TE используется зависимость сопротивления керамики и металлических композитов от температуры. Для высокотемпературных процессов, когда необходимо контролировать температуру на расстоянии, используются инфракрасные (ИК) датчики.

В датчиках положения используется анизотропная магниторезистивная технология (AMR). Датчики положения КМХР выпускаются в различных факторах и обеспечивают высокую точность и надежность измерений в экстремальных условиях, включая высокие температуры. Эти датчики играют все более важную роль во многих промышленных робототехнических приложениях. Для сложных приложений в тяжелых условиях эксплуатации требуются датчики, которые хорошо работают даже при воздействии масла, грязи и пыли. Эти датчики

предлагаются в двух различных корпусах для различных вариантов ориентации. Эти корпуса легко интегрируются практически в любой автоматизированный процесс сборки.

Для датчиков силы TE использует пьезорезистивные тензодатчики. Подобно тому, как цифровые весы могут измерять массу, пьезорезистивные тензодатчики могут измерять силу в зависимости от нагрузки, прикладываемой к датчику. В заводских условиях эти датчики могут быть встроены в заводские напольные коврики, чтобы определять, находится ли человек в непосредственной близости от опасного заводского оборудования, что помогает предотвратить травмы.

Тензодатчики также используются в некотором транспортном оборудовании для обеспечения безопасного перемещения компонентов и сборок по заводу. В этом случае тензодатчики смогут определить массу нагрузки и смогут предотвратить неисправность или состояние ошибки, если нагрузка будет иметь массу больше допустимой или будет несбалансированной.

Датчики давления TE предназначены для широкого спектра промышленных применений, включая те, которые могут использоваться в опасных зонах. Компания TE выпускает датчики давления, монтируемые на плате и изолированные от среды, с аналоговыми или цифровыми выходными сигналами для встраиваемых систем и OEM-приложений.

#### **Переход к цифровой инфраструктуре с поддержкой Интернета вещей**

Промышленный интернет вещей (IIoT) представляет огромный потенциал производительности, но полностью реализовать преимущества IIoT достаточно сложно. Многие компании начинают осознавать важность датчиков и изменений подходов к приложениям IIoT, особенно когда происходит слияния традиционных областей деятельности и информационных технологий.

Некоторые крупные производители автомобилей используют на своих заводах тысячи подключенных датчиков для сбора данных о процессах на производстве. Автомобильная промышленность – не единственная отрасль, которая первой внедрила этот подход, поскольку роботизированные технологии могут быть полезны в других промышленных приложениях, таких как промышленная печать и упаковка, а также в медицине, общественном питании и правоохранительных органах.

#### **Технология IoT Start**

Чтобы помочь компаниям внедрить новые про-

дукты, TE разработала аппаратно-программный комплекс, который дает производителям возможность рассчитать экономию затрат и окупаемости инвестиций за счет повышения эффективности и производительности при использовании датчиков, выпускаемых компанией. Набор инструментов IoT Start представляет собой комплексное решение, включающее датчики, систему обработки сигналов датчиков, интерфейсы проводной и беспроводной связи, объединенные в простом в использовании модуле. Этот модуль позволяет экспериментировать с приложениями IIoT при тестировании и оценке создаваемых систем, а также ускорить разработку приложений IIoT.

#### **Безопасность персонала при работе с роботизированным оборудованием**

Безопасность является главным приоритетом для разработчиков роботизированных систем автоматизации. Поскольку промышленные роботы могут создать много новых угроз безопасности на рабочем месте, подход "не навреди" стал одним из наиболее важных, поскольку роботы все чаще используются для подъема тяжестей на автомобильных сборочных линиях и других промышленных производственных площадках. Существуют строгие правила, связанные с безопасностью роботов. Производители должны подготовиться к этому до того, как роботы будут установлены, чтобы обеспечить соблюдение требований безопасности и создать безопасную среду для работников.

Обучение производственного персонала также необходимо для обеспечения безопасности сотрудников. При внедрении роботизированного оборудования от работников требуется новый уровень знаний. Многим придется пройти обучение по управлению новым роботизированным оборудованием.

TE Connectivity предлагает решения, которые могут помочь получить необходимые данные с точными измерениями в режиме реального времени от датчиков: давления, влажности, силы, вибрации, температуры, положения и т. д.

#### **Датчики вибраций**

С ростом числа систем автоматизации растет спрос на датчики для небольших систем и отдельных устройств, таких как шпиндели, конвейерные ленты, сортировочные столы или машинные инструменты, требующие регулярного профилактического обслуживания. Время простоя машины в этих приложениях является критическим. Раньше акселерометры использовали в основном для монито-



ринга состояния тяжелого оборудования, такого как ветряные мельницы, промышленные насосы, турбины, компрессоры и системы вентиляции и кондиционирования (рис. 1). Однако в настоящее время значительно вырос спрос на датчики для малых машин, порождая цифровой промышленной трансформацией [2].

#### Пьезоэлектрические датчики вибраций

Пьезоэлектрические акселерометры (ПЭ) содержат пьезоэлектрические кристаллы, которые генерируют сигнал при воздействии внешнего механического возбуждения, например, вибрации механизмов.

Большинство пьезоэлектрических датчиков основаны на керамике титаната цирконата свинца (PZT), которая поляризована для выравнивания диполей. Кристаллы PZT идеально подходят для приложений мониторинга состояния, поскольку они работают в широком диапазоне температур, широком динамическом диапазоне и широкой полосе частот

(можно использовать до частот немного выше 20 кГц).

При реализации датчиков вибраций используются чаще всего два основных режима работы чувствительных элементов (соответственно, и два типа конструкций):

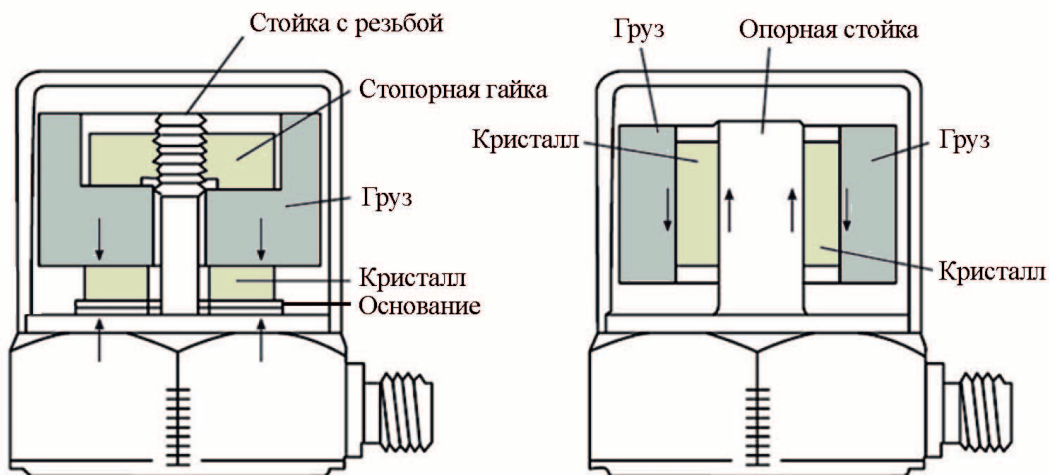
- режим сжатия
- режим сдвига (режим изгиба является редко используемой альтернативой).

В датчиках, работающих в режиме сжатия, для сжатия пьезоэлектрического кристалла поверхность кристалла располагают груз, который и создает предварительное сжатие (рис. 2,а). Датчики с такой конструкцией становятся менее популярными из-за подверженности деформациям основания при монтаже. Кроме того они имеют худшую температурную стабильность по сравнению с датчиками, работающими в режиме сдвига.

Датчики, работающие в режиме сдвига, обычно имеют кристалл кольцевой формы и грузик в форме



**Рис. 1. Мониторинга состояния тяжелого оборудования с помощью датчиков вибраций**



**Рис. 2. Акселерометр, работающий в режиме сжатия (а), и в режиме сдвига (б)**

кольца, прикрепленный к опорной стойке (рис. 2,б).

Эта конструкция имеет значительно лучшие характеристики по сравнению с конструкциями, работающими в режиме сжатия, поскольку она изолирована от основания и гораздо менее чувствительна к тепловым напряжениям, что обеспечивает повышенную стабильность параметров. Большинство конструкций акселерометров для мониторинга состояния, предлагаемых сегодня, работают в сдвиговом режиме, и их следует выбирать для большинства установок мониторинга состояния.

**Емкостные датчики вибраций**

Емкостные датчики измеряют ускорение, используя изменения емкости сейсмического датчика – массы, движущейся между двумя параллельными пластинами конденсатора. Изменение емкости прямо пропорционально приложенному ускорению. Для акселерометров требуется, чтобы устройство обработки располагалось как можно ближе к чувствительному элементу для преобразования малых изменений емкости в выходное напряжение. Такой процесс преобразования часто приводит к малому соотношению сигнал/шум и, как следствие, к ограниченному динамическому диапазону. Такие датчики чаще всего изготавливают по технологии МЭМС.

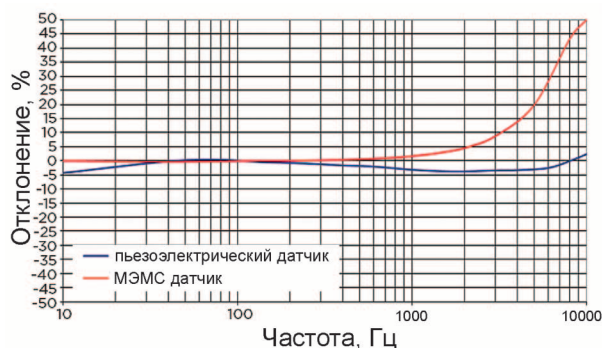
Для промышленного мониторинга состояния и профилактического обслуживания оборудования, обеспечения долгосрочной надежной, стабильной и точной работы датчиков считаются критически важными следующие параметры:

- частотный диапазон
- разрешающая способность датчика и его динамический диапазон

- долгосрочная стабильность параметров с минимальным дрейфом
- диапазон рабочих температур
- варианты исполнения и простота установки
- варианты выходного сигнала датчика (аналоговый или цифровой).

Компания ТЕ провела тестирование рабочих характеристик типового пьезоэлектрического акселерометра мониторинга состояния и широкополосного емкостного акселерометра (VC MEMS) с диапазоном полной шкалы ±50 g.

Результаты тестирования иллюстрирует рис. 3. В качестве полосы пропускания принимается диапазон частот в котором максимальное отклонение амплитуды сигнала не превышает ±1 дБ (часто используется более жесткое отклонение ±5% для определения полосы пропускания).



**Рис. 3. Типовые амплитудно-частотные характеристики пьезоэлектрических и емкостных акселерометров**

Данные показывают, что датчик VC MEMS имеет полезную полосу пропускания до 3 кГц, в то время как пьезоэлектрический датчик имеет полезную по-

лосу пропускания больше 10 кГц (конкретный ПЭ-датчик в тестировании по спецификации имеет полосу пропускания до 14 кГц). Стоит отметить, что нижняя частота полосы пропускания ПЭ-датчика равна 2 Гц, в то время как датчик MEMS имеет линейную АЧХ вплоть до 0 Гц.

На рис. 3 приведены типовые амплитудно-частотные характеристики пьезоэлектрических и емкостных акселерометров.

#### **Разрешающая способность и динамический диапазон**

Как показали испытания, проведенные компанией TE, динамический диапазон пьезоэлектрических датчиков в среднем на 20 дБ шире, чем у MEMS-датчиков, а разрешающая способность в 8 раз выше (3 двоичных разряда).

#### **Долгосрочная стабильность с минимальным дрейфом**

Долговременная стабильность ПЭ-датчиков хорошо известна благодаря более чем 30-летнему опыту эксплуатации в полевых условиях. Пьезоэлектрические кристаллы по своей природе стабильны и показали превосходную стабильность с течением времени. Параметры долговременного дрейфа также будут зависеть от состава используемого кристалла, поэтому представить фактическое значение сложно. Кварц обладает наилучшей долговременной стабильностью, но он редко используется в приложениях для мониторинга состояния из-за узкой полосы частот и высокой стоимости. Датчики на основе PZT (титаната цирконата свинца) являются наиболее распространенными для большинства приложений.

Емкостные МЭМС-акселерометры также имеют значительные отличия характеристик в зависимости от конструкции МЭМС.

Объемные микромеханические МЭМС-датчики имеют лучший долгосрочный дрейф по сравнению с ПЭ-датчиками с поверхностной микрообработкой, но значительно дороже и обычно используется только в инерциальных приложениях. Для мониторинга состояния производители МЭМС предлагают датчики с поверхностной микрообработкой, которые дешевле ПЭ-датчиков на основе титаната цирконата свинца. Однако такие датчики имеют меньшую разрешающую способность и худшую долговременную стабильность.

#### **Диапазон рабочих температур**

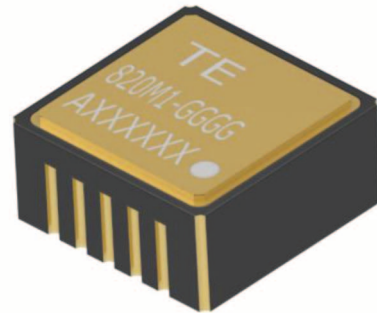
Диапазоны рабочих температур акселерометров ПЭ и MEMS сопоставимы. Как те, так и другие, пригодны для работы в диапазоне от -40 до 125 °С.

В экстремальных условиях может использоваться пьезоэлектрический датчик в зарядном режиме, который может работать при температурах, превышающих +700 °С.

Рассмотрим характеристики некоторых датчиков TE.

#### **Одноосевые SMT-акселерометры серии 820M1 [3, 4]**

В серии выпускается 6 модификаций одноосных акселерометров (рис. 4).



**Рис. 4. Акселерометр серии 820M1**

Основные параметры пьезоэлектрических акселерометров серии 820M1:

- динамический диапазон от  $\pm 25$  до  $\pm 6000$  g
- максимально допустимое ускорение 10000 g
- поперечная чувствительность 8%
- температурная чувствительность 8% в рабочем диапазоне температур
- полоса пропускания от 6 до 10 000 Гц при неравномерности АЧХ не более  $\pm 1$  дБ
- полоса пропускания от 2 до 15 000 Гц при неравномерности АЧХ не более  $\pm 3$  дБ
- резонансная частота 30 кГц
- амплитуда выходного сигнала  $\pm 1,25$  В
- напряжение питания от 3 до 5.5 В постоянного тока
- ток потребления не более 62 мкА
- защита от электростатических разрядов до 2 кВ
- выходное сопротивление 100 Ом
- время прогрева не более 1 с
- герметичный корпус LCC, соответствует IP68
- габаритные размеры 8.89 8.89 4.2 мм
- пьезокерамический кристалл, работающий в режиме сдвига
- диапазон рабочих температур от -40 до 125 °С
- монтаж на печатную плату, возможность пайки оплавлением
- низкая стоимость.

В табл. 1 приведены рабочие диапазоны измерений и шум акселерометров серии 820M1.



**Таблица 1. Рабочие диапазоны измерений и шум акселерометров серии 820M1**

Диапазон измерений, g	Чувствительность, мВ/g ( $\pm 30\%$ )	Нелинейность, % от полной шкалы	Остаточный шум, мг с.к.з.	Спектральная плотность шума, мг/ $\sqrt{\text{Гц}}$			
				10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц
$\pm 25$	50.0	$\pm 2$	2.9	0.15	0.07	0.03	0.02
$\pm 50$	25.0	$\pm 2$	5.9	0.29	0.13	0.05	0.05
$\pm 100$	12.5	$\pm 2$	11.7	0.58	0.27	0.09	0.09
$\pm 200$	5.00	$\pm 2$	23.2	1.16	0.53	0.18	0.18
$\pm 500$	2.50	$\pm 2$	58.8	2.92	1.34	0.52	0.45
$\pm 6000$	0.21	$\pm 2$	705	35.0	16.1	6.24	5.40

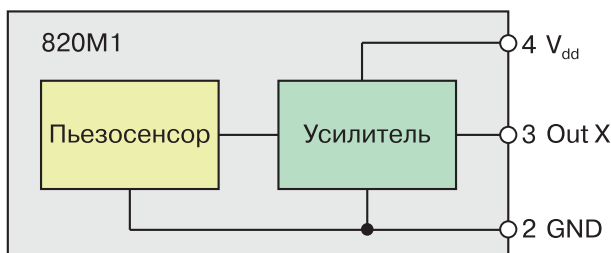
На рис. 5 приведен перечень модификаций и маркировка акселерометров серии 820M1.

**820M1-xxxx**

Диапазон измерений	Индекс
25 g	0025
50 g	0050
100 g	0100
200 g	0200
500 g	0500
6000 g	6000

**Рис. 5. Модификации и маркировка акселерометров серии 820M1**

Структура акселерометров 820M1 приведена на рис. 6.

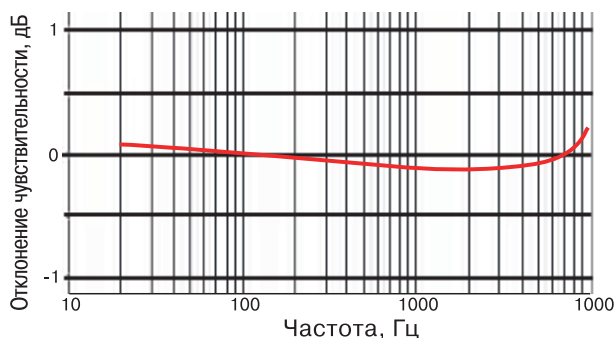


**Рис. 6. Структура акселерометров 820M1**

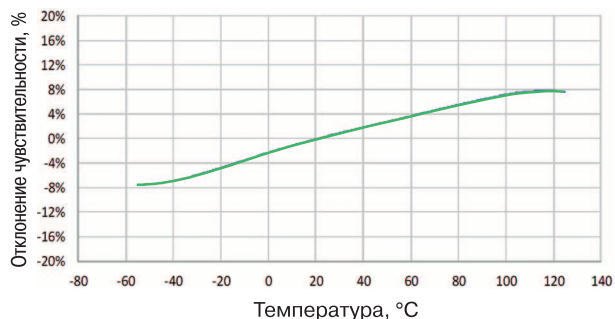
На рис. 7 и 8 приведены типовые характеристики зависимости чувствительности от частоты и от температуры, соответственно.

**Трехосные SMT-акселерометры серии 830M1 [5]**

В серии выпускается 7 модификаций трехосных



**Рис. 7. Типовая частотная характеристика акселерометра 820M1**



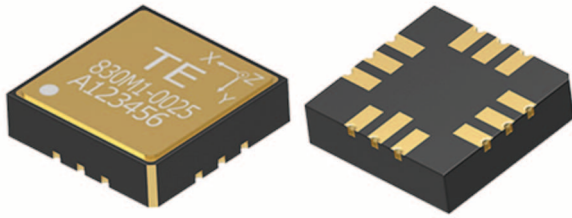
**Рис. 8. Типовый изменение чувствительности акселерометра 820M1 в зависимости от температуры окружающей среды**

акселерометров (рис. 9).

Основные параметры пьезоэлектрических акселерометров серии 830M1:

- динамический диапазон от  $\pm 25$  до  $\pm 2000$  g
- максимально допустимое ускорение 5000 g
- полоса пропускания от 6 до 10 000 Гц при неравномерности АЧХ не более  $\pm 1$  дБ
- полоса пропускания от 2 до 15 000 Гц при неравномерности АЧХ не более  $\pm 3$  дБ





**Рис. 9. Трехосный акселерометр серии 830M1**

- резонансная частота 30 кГц
- амплитуда выходного сигнала  $\pm 1.25$  В
- напряжение питания от 1.5 до 5.5 В постоянно-го тока
- ток потребления не более 200 мкА
- защита от электростатических разрядов до 2 кВ
- выходное сопротивление 100 Ом
- время прогрева не более 1 с
- встроенный датчик температуры на основе термистора
- герметичный корпус LCC, соответствует IP68

- габаритные размеры 15.2x5.2x4.2 мм
- масса не более 1 г
- пьезокерамический кристалл, работающий в режиме сдвига
- диапазон рабочих температур от -40 до 125 °С
- монтаж на печатную плату, возможность пайки оплавлением
- низкая стоимость.

В табл. 2 приведены рабочие диапазоны измерений и шум акселерометров серии 830M1.

На рис. 10 приведен перечень модификаций и маркировка акселерометров серии 830M1.

Структура акселерометров 830M1 приведена на рис. 11.

На рис. 7 и 8 приведены типовые характеристики зависимости чувствительности акселерометров 830M1 от частоты и от температуры, соответственно.

Акселерометры 830M1 сохраняют работоспособность при напряжении питания 1.5 В, но при этом сужается эффективный диапазон измерений,

**Таблица 2. Рабочие диапазоны измерений и шум трехосных акселерометров серии 830M1**

Диапазон измерений, g	Спектральная плотность шума, мг/ Гц	Нелинейность, % от полной шкалы	Остаточный шум, мг с.к.з.	Спектральная плотность шума, мг/ $\sqrt{\text{Гц}}$			
				10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц
$\pm 25$	50.0	$\pm 2$	2.9	0.15	0.07	0.03	0.02
$\pm 50$	25.0	$\pm 2$	5.9	0.29	0.13	0.05	0.05
$\pm 100$	12.5	$\pm 2$	11.7	0.58	0.27	0.09	0.09
$\pm 200$	5.00	$\pm 2$	23.2	1.16	0.53	0.18	0.18
$\pm 500$	2.50	$\pm 2$	58.8	2.92	1.34	0.52	0.45
$\pm 1000$	1.25	$\pm 2$	117	5.84	2.68	1.04	0.90
$\pm 2000$	0.63	$\pm 2$	234	11.7	5.36	2.08	1.80

## 830M1-xxxx

Суффикс	Диапазон изм.	Номер для заказа	
		На катушке (150 шт)	В упаковке (50 шт)
0025	25 g	20011422-00	20011422-01
0050	50 g	20011423-00	20011423-01
0100	100 g	20011424-00	20011424-01
0200	200 g	20011425-00	20011425-01
0500	500 g	20011426-00	20011426-01
1000	1000 g	20018122-00	20018122-01
2000	2000 g	20019427-00	20019427-01

**Рис. 10. Модификации и маркировка акселерометров серии 830M1**

как показано в табл. 3. Поэтому не рекомендуется использовать напряжение питания ниже 2.8 В (номинальное значение напряжения питания 3.3 В).

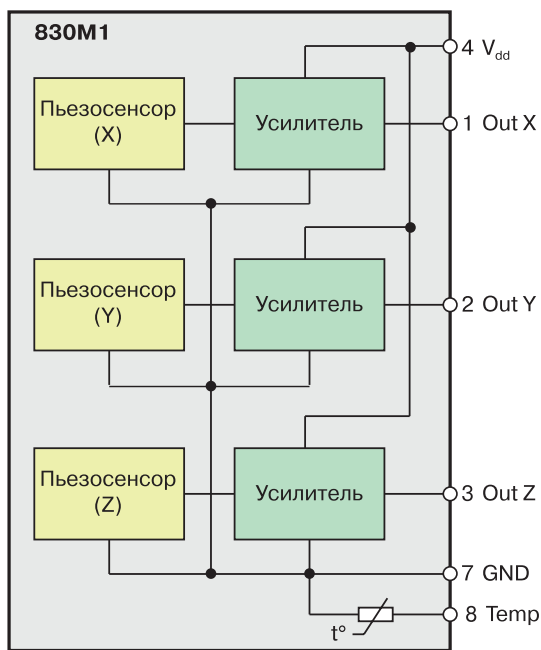


Рис. 11. Структура акселерометров 830M1

Таблица 3. Зависимость диапазона измерений от напряжения питания

Диапазон измерений, g (при Vdd >2.8 В)	Эффективный диапазон измерений, g (при Vdd = 1.5 В)
±25	±15
±50	±30
±100	±60
±200	±120
±500	±300
±1000	±600
±2000	±1200

Схемы подключения термистора для формирования сигналов датчика температуры приведены на рис. 12.

Зависимости выходного напряжения датчиков с разными схемами включения термистора приведены на рис. 13.

Зависимость сопротивления термистора, встроенного в акселерометры 830M1, от температуры приведена на рис. 14.

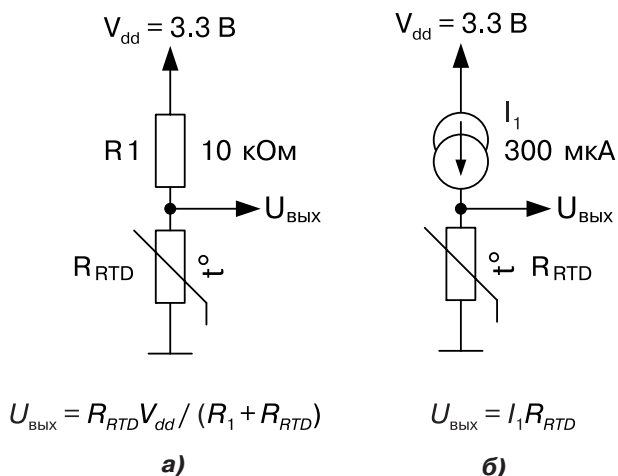


Рис. 12. Схемы подключения термистора с использованием резистора (а) и источника тока (б)

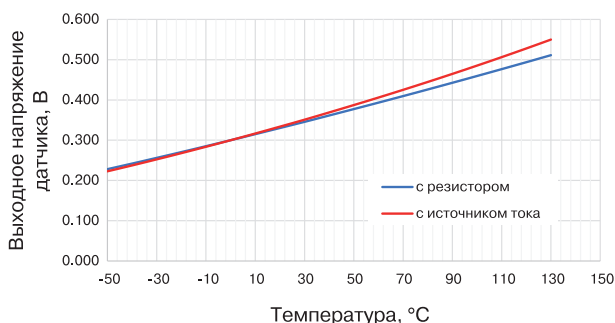


Рис. 13. Зависимости выходного напряжения датчиков с разными схемами включения термистора

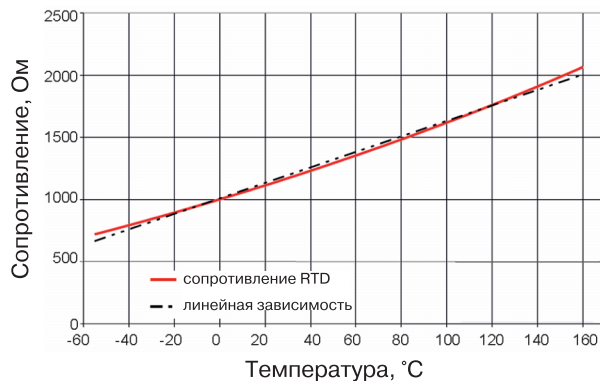


Рис. 14. Зависимость сопротивления термистора, встроенного в акселерометры 830M1, от температуры

**Трехпроводные одноосевые акселерометры 805M1 в корпусе TO-5 [6]**

В серии выпускается 7 модификаций одноосных акселерометров (рис. 15).

Основные параметры пьезоэлектрических аксе-



**Рис. 15. Трехпроводные одноосевые акселерометры 805М1 в корпусе ТО-5**

акселерометров серии 830М1:

- динамический диапазон от  $\pm 20$  до  $\pm 500$  г
  - полоса пропускания от 1 до 8 000 Гц при неравномерности АЧХ не более  $\pm 1$  дБ
  - полоса пропускания от 0.4 до 10 000 Гц при неравномерности АЧХ не более  $\pm 3$  дБ
  - резонансная частота 34 кГц
  - амплитуда выходного сигнала  $\pm 2$  В
  - напряжение питания от 3 до 5.5 В постоянного тока
  - ток потребления не более 800 мкА
  - выходное сопротивление 100 Ом
  - габаритные размеры  $\varnothing 8.89 \times 11.5$  мм
  - масса не более 5 г
  - возможна поставка с дополнительной изолирующей оболочкой
  - пьезокерамический кристалл, работающий в режиме сдвига
  - диапазон рабочих температур от  $-40$  до  $100$  °С
  - монтаж в отверстия.
- В табл. 4 приведены рабочие диапазоны изме-

рений и шум акселерометров серии 805М1.

Маркировка акселерометров серии 805М1 аналогична маркировке 830М1 – цифры суффикса показывают диапазон измерения ускорений.

#### **Беспроводной акселерометр 8911 [7]**

Внешний вид акселерометра приведен на рис. 16.



**Рис. 16. Беспроводной акселерометр 8911**

Акселерометр предназначен для работы в сетях LoRaWAN™ 868/915 МГц.

Беспроводной акселерометр TE модели 8911 для ПОС содержит датчики для измерения вибраций и температуры, цифровой сигнальный процессор и приемопередатчик в одном корпусе. Питание акселерометра осуществляется от встроенной батареи.

Беспроводной акселерометр модели 8911 использует протокол связи LoRaWAN™, предлагаю-

**Таблица 4. Рабочие диапазоны измерений и шум акселерометров серии 805М1**

Диапазон измерений, г	$\pm 20$	$\pm 50$	$\pm 100$	$\pm 200$	$\pm 500$	Примечания
Чувствительность, мВ/г	100	40	20	10	4	$\pm 10\%$
Диапазон частот, Гц	1-8000	1-8000	1-8000	1-8000	1-8000	$\pm 1$ дБ
Диапазон частот, Гц	0.4-10000	0.4-10000	0.4-12000	0.4-12000	0.4-12000	$\pm 3$ дБ
Частота резонанса, Гц	34000	34000	34000	34000	34000	–
Нелинейность, % от полной шкалы	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	–
Поперечная чувствительность, %	5	5	5	5	5	–
Максимально допустимое ускорение, г	5000	5000	5000	5000	5000	–
Остаточный шум, г (с.к.з.)	0.001	0.001	0.003	0.003	0.005	в диапазоне 1-10000 Гц

щий простой, надежный и безопасный способ контроля состояния промышленного оборудования и предназначен для установки в таких местах, где стоимость установки проводных систем является непомерно высокой.

Датчик 8911 включает пьезоэлектрический акселерометр, с полосой пропускания до 10 кГц, высоким разрешением и высокой долговременной стабильностью. Благодаря встроенному цифровому процессору датчик формирует и передает по радиоканалу следующие данные:

- центральную частоту в спектре вибраций
- пиковое значение вибраций
- полосу частот измеренных вибраций
- спектральный состав вибраций в восьми полосах.

Основные параметры датчика 8911:

- динамический диапазон от 0.001 до ±40 g
- разрешающая способность 12 бит при измерении вибраций и температуры
  - полоса пропускания от 1 до 10 000 Гц при неравномерности АЧХ не более ±1 дБ
  - полоса пропускания от 1 до 15 000 Гц при неравномерности АЧХ не более ±3 дБ
  - максимально допустимое ускорения 2000 g
  - резонансная частота 30 кГц
  - поперечная чувствительность 5%
  - температурная чувствительность от -10 до 5% в рабочем диапазоне частот
    - нелинейность не более ±1% от полной шкалы
    - остаточный шум не более 0.06 g (среднеквадратическое значение)
      - погрешность измерения температуры не более ±1.5 °C
      - напряжение питания не более 3.5 В постоянно-го тока
        - среднее значение тока потребления 35 мкА
        - пиковый ток потребления в режиме передачи 50 мА
          - срок автономной работы без замены батарей не менее 5 лет
          - защита от электростатических разрядов до 2 кВ
          - мощность передатчика 14 дБм
          - чувствительность приемника -137 дБм
          - пьезокерамический кристалл, работающий в режиме сдвига
            - диапазон рабочих температур от -20 до 60 °C
            - относительная влажность не более 95%
            - габаритные размеры Ø31.75×78 мм
            - масса не более 5 г
            - монтаж (в зависимости от модификации) на

клеякую монтажную шпильку (AC-D04210), шпильку М6 с наружной резьбой (AC-D03665), шпильку М5 с наружной резьбой (AC-D03664), магнитную монтажную шпильку (AC-A04209).

На рис. 17 приведен пример спектра, измеренного датчиком, а в табл. 5 – пример передаваемых данных.

**Таблица 5. Пример данных, передаваемых беспроводным датчиком 8911**

Частота пикового выброса, Гц	Амплитуда пикового выброса	% от общей энергии
2056	168	23
2882	46	10
694	25	5
8	23	3
4122	20	5
5994	15	2
3805	12	4
1713	10	2
Общая энергия		2.605 g

На рис. 18 показан беспроводной датчик 8911 без защитной крышки.

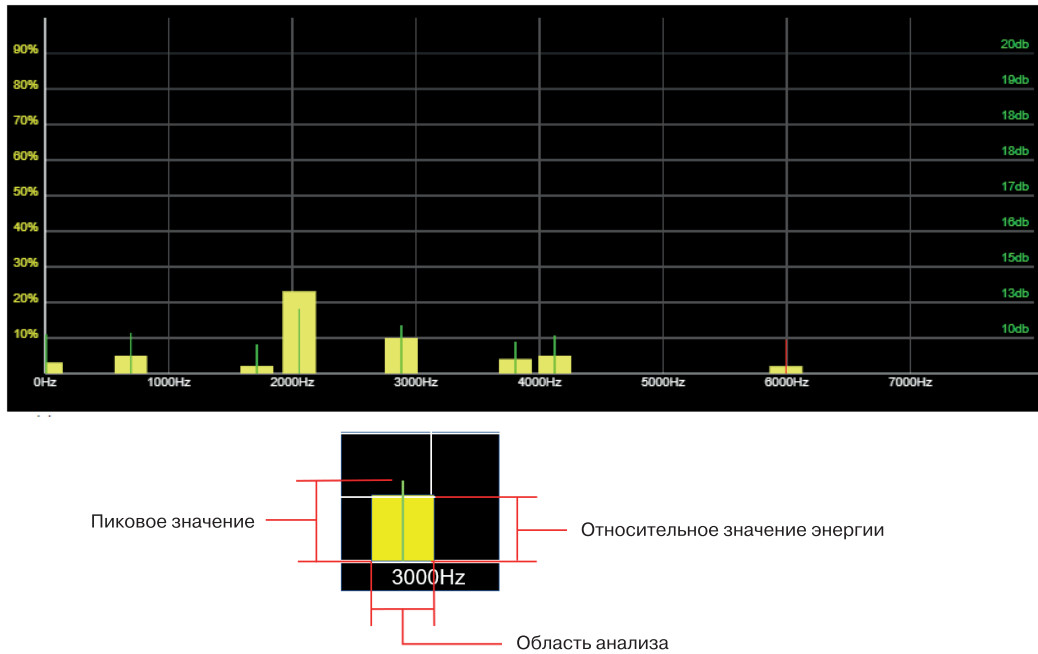
Для индикации режимов работы на плате датчика размещено 2 светодиода:

- синий светодиод:
  - ◆ загорается на две секунды, когда датчик запрашивает подключение к сети LoRaWAN™ и присоединяется к ней
    - ◆ загорается на короткое время, когда датчик производит выборку данных, передает данные, получает подтверждение
- красный светодиод:
  - ◆ загорается на две секунды, если запрос на подключение к сети LoRaWAN™ не принят
    - ◆ загорается на короткое время, если передаваемые данные не подтверждены

Свечение цветных светодиодов можно увидеть через полупрозрачную крышку, когда она прикреплена. Чтобы получить доступ к кнопке сброса и начальной инициализации, необходимо отвинтить верхнюю крышку.

Из приведенного краткого обзора акселерометров компании TE Connectivity можно сделать вывод,





**Рис. 17. Спектр, формируемый в результате БПФ анализа беспроводным датчиком 8911**



**Рис. 18. Беспроводной датчик 8911 без защитной крышки**

что их применение может обеспечить контроль вибраций различных механизмов в очень широком диапазоне значений, в широкой полосе частот и широком диапазоне температур, сохраняя при этом высокую стабильность параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The Role of Sensors in the Evolution of Robotics // <https://www.te.com/content/dam/te-com/docu->

[ments/sensors/global/te-sensor-solutions-evolution-of-robotics-trend-paper.pdf](https://www.te.com/content/dam/te-com/docu-ments/sensors/global/te-sensor-solutions-evolution-of-robotics-trend-paper.pdf)

2. Predictive maintenance with vibration sensors // <https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/sensors/global/vibration-condition-monitoring-whitepaper.pdf>

3. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-EAC0021.html>

4. 820M1 single axis condition monitoring accelerometer // [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F820M1\\_Accelerometer%7FA4%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_820M1\\_Accelerometer\\_A4.pdf%7FCAT-EAC0021](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F820M1_Accelerometer%7FA4%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_820M1_Accelerometer_A4.pdf%7FCAT-EAC0021)

5. Model 830M1 Triaxial SMT Accelerometers // <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-EAC0023.datasheet.pdf>

6. Model 805M1 TO-5 3-Wire Accelerometer // [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F805M1\\_Accelerometer%7FA3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_805M1\\_Accelerometer\\_A3.pdf%7FCAT-EAC0009](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F805M1_Accelerometer%7FA3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_805M1_Accelerometer_A3.pdf%7FCAT-EAC0009)

7. 8911 Wireless Accelerometer for Proof of Concept // [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F8911\\_Wireless\\_Accelerometer%7FA3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_8911\\_Wireless\\_Accelerometer\\_A3.pdf%7FCAT-PPA0123](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F8911_Wireless_Accelerometer%7FA3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_8911_Wireless_Accelerometer_A3.pdf%7FCAT-PPA0123)



## Датчики TE Connectivity для систем промышленного Интернета вещей

Датчики выпускаются в различных форм-факторах и обеспечивают высокую точность и надежность измерений в экстремальных условиях, при высоких температурах, при воздействии масла, грязи и пыли

### Датчики:

- положения
- влажности воздуха
- контроля температуры
- скорости потока воздуха
- давления и контроля уровня воды
- пьезорезистивные тензодатчики силы и массы
- пьезоэлектрические и емкостные датчики вибраций
- систем отопления, вентиляции, кондиционирования и охлаждения.



<https://www.te.com>



**VD MAIS** – официальный дистрибьютор компании TE Connectivity в Украине  
тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,  
(048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua

# ВЫБОР КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ В УСИЛИТЕЛЯХ ЗВУКА

## SELECTING CAPACITOR TO MINIMIZE DISTORTION IN AUDIO AMPLIFIERS

**В** статье проведен анализ влияния разделительных цепей в усилителях звуковой частоты на величину нелинейных искажений, вносимых усилителями. Результаты моделирования в программе Multisim позволяют сделать вывод о необходимости устанавливать значение входного сопротивления не менее 100 кОм в первых каскадах усилителей, что позволяет обеспечить низкий уровень нелинейных искажения на нижних частотах рабочего диапазона.

V. Макаренко

**Abstract** - The article analyzes the influence of separation circuits in audio frequency amplifiers on the magnitude of nonlinear distortions introduced by amplifiers. The simulation results in the Multisim program allow us to conclude that it is necessary to set the input resistance value of at least 100 kOhm in the first amplifier stages, which makes it possible to ensure a low level of non-linear distortion at the lower frequencies of the operating range.

V. Makarenko

Многослойные керамические конденсаторы (MLCC) чрезвычайно популярны во многих приложениях из-за их малых габаритных размеров и относительно низкой стоимости. Конденсаторы MLCC подразделяются на разные классы в первую очередь от их температурной стабильности. Керамику II класса часто называют "с высоким k", где k – относительная диэлектрическая проницаемость (диэлектрическая постоянная) диэлектрического материала между пластинами конденсатора. Диэлектрическая постоянная конденсаторов этого класса колеблется от 3000 (X7R) до 18 000 (Z5U) [1].

Конденсаторы 1 класса C0G (NP0) имеют относительную диэлектрическую проницаемость в диапазоне от 6 до 200, что обеспечивает высокую температурную стабильность емкости.

В табл. 1 приведены значения относительной диэлектрической проницаемости некоторых распространенных диэлектрических материалов, используемые в конденсаторах [1].

В портативных устройствах заманчиво использовать MLCC с высоким k из-за их небольшого размера и стоимости. Однако важно помнить, что их относительная диэлектрическая проницаемость очень высока и емкость изменяется в зависимости от приложенного напряжения и температуры довольно значительно. Это изменение емкости в первую очередь связано с использованием большие концентрации титаната бария в диэлектрике [1].

Титанат бария по своей природе является сегнетоэлектриком, у которого при увеличении напряженности электрического поля внутри материала

**Таблица 1. Относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрических материалов**

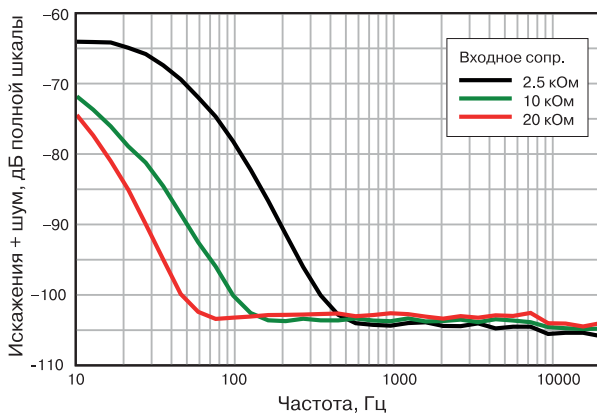
Материал	Относительная диэлектрическая проницаемость
Вакуум	1
Полиэтилен сульфид	3
Полиэтилентерефталат	3.3
Полипропилен	2.2
Пропитанная бумага	2... 6
Полиэтилентерефталат (майлар, лавсан)	3.1
Слюда	6.8
Оксид алюминия	8.5
Пятиокись тантала	27.7
Параэлектрическая керамика (класс I)	5... 90
Титанат стронция	310
Титанат бария (класс II)	3000...8000

уменьшается его относительная диэлектрическая проницаемость, что в свою очередь приводит к уменьшению емкости. Изменение емкости под действием переменного напряжения приводит к искажению тока, протекающего через конденсатор.

Изменение емкости в зависимости от приложенного напряжения может быть доминирующим источником искажений в области низких частот, где импеданс конденсатора относительно высок. На высоких частотах искажения менее заметны из-за

более низкого импеданса конденсатора, что приводит к незначительному падению напряжения на конденсаторе.

В [1] рекомендуется уменьшать искажения путем минимизации падения напряжения на разделительных конденсаторах. Один из способов сделать это – увеличить сопротивление цепи, подключенной после конденсатора. Там же приводятся результаты измерения искажений плюс шум (THD+N), полученные с помощью оценочного модуля АЦП TLV320ADC5140 компании Texas Instruments с разделительным конденсатором X7R 0805 емкостью 4.7 мкФ. Этот АЦП имеет программируемый входной импеданс, который можно установить равным 2,5, 10 или 20 кОм. На рис. 1 показаны результаты измерений с этим конденсатором при изменении входного импеданса АЦП и уровне входного сигнала 1 В с.к.з.

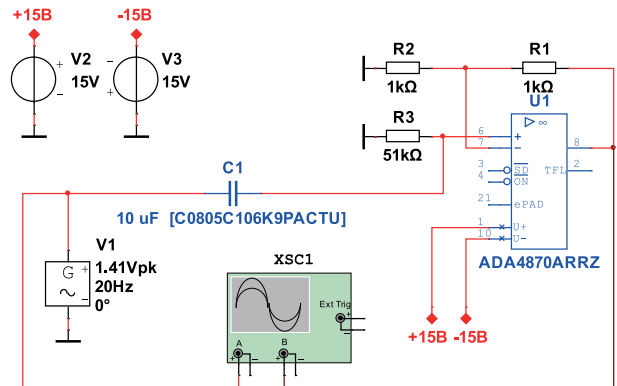


**Рис. 1. Зависимость искажений от входного сопротивления АЦП для разделительного конденсатора X7R 0805 емкостью 4.7 мкФ**

Следует заметить, что данные на рис. 1 для частоты 10 Гц не совсем корректны, так как при входном сопротивлении 2.5 кОм, частотная характеристика в области НЧ линейна выше 30 Гц, а на частоте 10 Гц спад АЧХ составляет 5 дБ.

Проверим эти зависимости с помощью моделирования в программе Multisim. На рис. 2 приведена простейшая модель повторителя напряжения с одним разделительным конденсатором на входе для исследования зависимости искажений от сопротивления нагрузки, включенной после разделительного конденсатора.

Искажения операционного усилителя при отсутствии разделительного конденсатора, измеренные с помощью преобразования Фурье на частоте 20 Гц, составляют  $2.64 \cdot 10^{-11}\%$ . Искажения ОУ настолько малы, что их можно не учитывать при анализе иска-



**Рис. 2. Модель для анализа искажений, вносимых разделительным конденсатором**

жений, вносимых разделительным конденсатором.

Однако, при увеличении сопротивления резистора R1 следует учесть, что входной ток (типичное значение) равен примерно 10 мкА. Т.е. максимальное значение входного сопротивления не должно превышать 1.2 МОм, чтобы ОУ работал на линейном участке амплитудной характеристики.

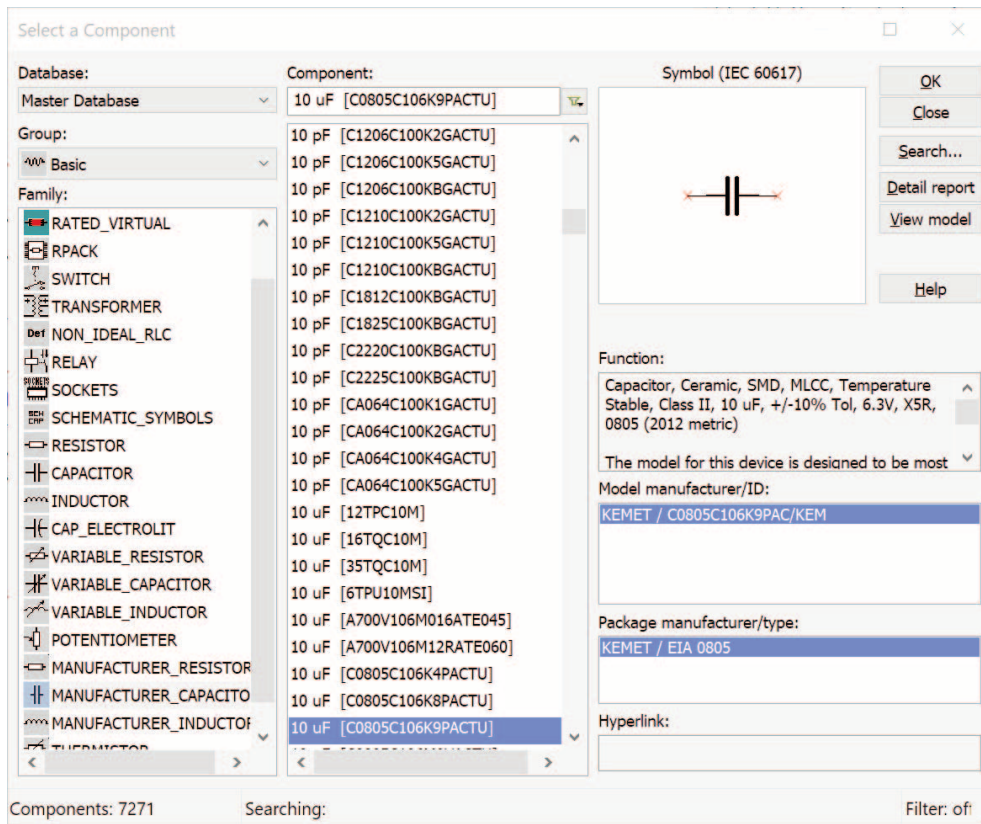
Для проверки использован керамический конденсатор MLCC компании KEMET, класс II, 10 мкФ, 6.3 В, X5R из библиотеки MANUFACTURER CAPASITOR (рис. 3), в которой представлены модели с реальными параметрами.

В табл. 2 приведена зависимость искажений на выходе усилителя от значения сопротивления R3.

**Таблица 2. Зависимость искажений, вносимых разделительным конденсатором, от сопротивления нагрузки на частоте 10 Гц**

R1, кОм	Кг, %	Кг, дБ
10	0.504	-5.951
20	0.19	-14.425
30	0.098	-20.175
51	0.039	-28.179
75	0.019	-34.425
100	0.011	-39.172
150	0.0054	-45.352
200	0.0033	-49.63
510	0.00067	-63.479
1000	0.00025	-72.041

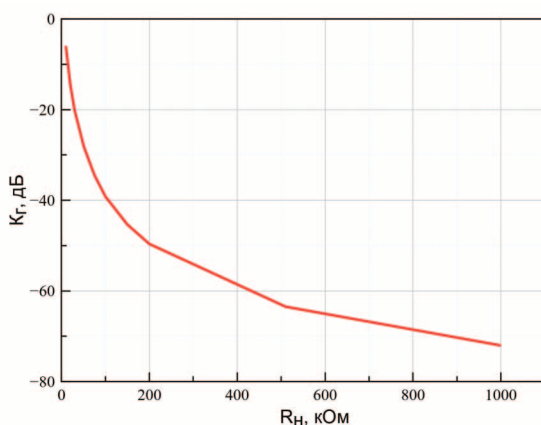




**Рис. 3. Выбор конденсатора из библиотеки MANUFACTURER CAPASITOR**

На рис. 4 приведен график зависимости коэффициента нелинейных искажений от величины сопротивления резистора нагрузки, включенного после разделительного конденсатора.

Из полученных результатов можно сделать вы-



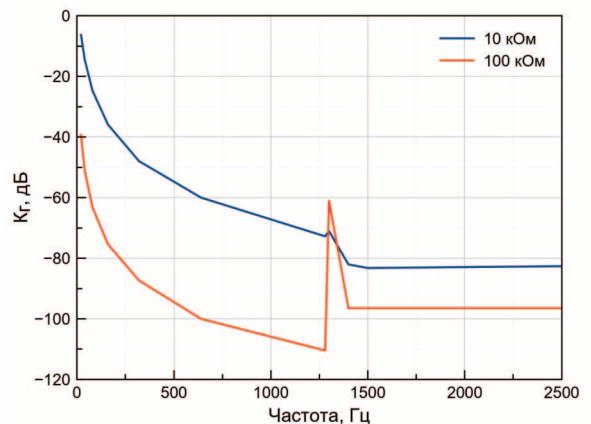
**Рис. 4. График зависимости коэффициента нелинейных искажений от величины сопротивления резистора нагрузки**

вод о том, что наблюдается нелинейная зависимость искажений от сопротивления нагрузки. При этом, чем больше сопротивление резистора нагруз-

ки, тем меньше вносимые конденсатором нелинейные искажения.

При анализе искажений, вносимых другими типами конденсаторов, закономерность сохраняется, а величина искажений отличается незначительно.

На рис. 5 приведены графики зависимости величины нелинейных искажений от частоты для конденсатора MLCC емкостью 10 мкФ при сопро-



**Рис. 5. Графики зависимости величины нелинейных искажений от частоты для конденсатора MLCC емкостью 10 мкФ при сопротивлениях резистора нагрузки 10 и 100 кОм**



**Таблица 3. Зависимость искажений, вносимых разделительным конденсатором MLCC емкостью 10 мкФ, от частоты сигнала при сопротивлениях нагрузки 10 и 100 кОм**

f, Гц	K <sub>r</sub> , %	K <sub>r</sub> , дБ	K <sub>r</sub> , %	K <sub>r</sub> , дБ
	C <sub>1</sub> =10 мкФ, R <sub>1</sub> =10 кОм		C <sub>1</sub> =10 мкФ, R <sub>1</sub> =100 кОм	
20	0.504	-5.951	0.0113	-38.938
40	0.189	-14.471	0.0028	-51.057
80	0.058	-24.731	0.00069	-63.223
160	0.016	-35.918	0.00017	-75.391
320	0.004	-47.959	0.000043	-87.331
640	0.001	-60	0.00001	-100
1280	0.00023	-72.765	0.000003	-110.458
1300	0.00028	-71.057	0.00089	-61.012
1400	0.000079	-82.047	0.000015	-96.478
1500	0.000069	-83.223	0.000015	-96.478
2500	0.000055	-82.615	0.000015	-96.478

тивлениях резистора нагрузки 10 и 100 кОм.

Влияет ли величина емкости на зависимость K<sub>r</sub> от частоты при разных сопротивлениях нагрузки?

Проведем исследование зависимости от частоты величины нелинейных искажений, вносимых конденсатором MLCC емкостью 4.7 мкФ. КЕМЕТ, класс II, 4.7 мкФ, 10 В, X5R, 0603.

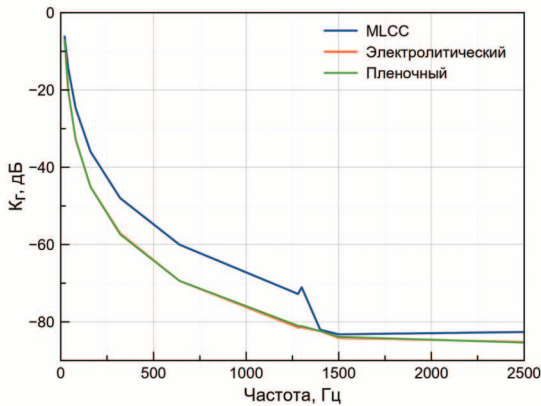
На рис. 6 приведены графики зависимости величины нелинейных искажений от частоты для кон-

денсатора емкостью 4.7 мкФ при сопротивлениях резистора нагрузки 10 и 100 кОм.

Как на рис. 5, так и на рис. 6 наблюдается рост величины нелинейных искажений вблизи частот 1300 Гц, причем при увеличении емкости разделительного конденсатора это выброс значительно больше. Природа такого выброса непонятна. А так как измерения нелинейных искажений чаще всего проводят на частоте 1000 Гц, то это явление в из-

**Таблица 4. Зависимость искажений, вносимых разделительным конденсатором MLCC емкостью 4.7 мкФ, от частоты сигнала при сопротивлениях нагрузки 10 и 100 кОм**

f, Гц	K <sub>r</sub> , %	K <sub>r</sub> , дБ	K <sub>r</sub> , %	K <sub>r</sub> , дБ
	C <sub>1</sub> =4.7 мкФ, R <sub>1</sub> =10 кОм		C <sub>1</sub> =4.7 мкФ, R <sub>1</sub> =100 кОм	
20	0.929	-0.64	0.0467	-26.614
40	0.167	-15.546	0.011	-39.172
80	0.036	-28.874	0.0028	-51.057
160	0.0083	-41.618	0.00069	-63.223
320	0.002	-53.979	0.00017	-75.391
640	0.00048	-66.375	0.000043	-87.331
1280	0.0001	-80	0.00001	-100
1300	0.0026	-51.701	0.0000092	-100.724
1320	0.0001	-80	0.000016	-95.918
1350	0.0001	-80	0.000019	-94.425
1370	0.0001	-80	0.0000089	-101.012
1400	0.0001	-80	0.000016	-95.918
1500	0.000088	-81.11	0.000052	-85.68
2500	0.000039	-88.179	0.00001	-100



**Рис. 6. Графики зависимости величины нелинейных искажений от частоты для конденсатора емкостью 4.7 мкФ при сопротивлениях резистора нагрузки 10 и 100 кОм**

вестных автору источниках не зафиксировано. В остальном закономерности зависимости величины нелинейных искажений от частоты схожи с данными, приведенными в [1]. Различаются только абсолютные значения величины нелинейных искажений.

Фактически на уровень нелинейных искажений на разных частотах влияет постоянная времени разделительной цепи  $\tau = R_1 C_1$ . Это легко проверить путем моделирования. Для примера проведем анализ величины нелинейных искажений на частоте 1000 Гц для цепи с постоянной времени  $\tau = 47$  мс при двух значениях емкости разделительного конденсатора – 4.7 и 10 мкФ при сопротивлении резистора

нагрузки 10 и 4.7 кОм, соответственно.

Анализ показал, что искажения для таких значений параметров разделительной цепи составляют -73.765 и -73.473 дБ, соответственно. Т.е. различия настолько незначительны, что ими можно пренебречь. Причем эти различия вызваны отличием параметров конденсаторов 4.7 и 10 мкФ, хоть они и незначительны.

В [1] приведены зависимости величины нелинейных искажений от амплитуды входного сигнала. Такая зависимость отсутствует в пределах линейной части амплитудной характеристики усилителя. Для модели на рис. 2 при амплитуде входного сигнала 10 мВ и 3 В искажения на выходе ОУ не отличались.

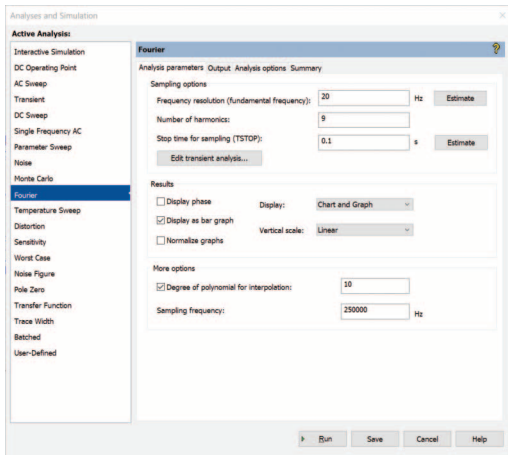
Для выяснения вопроса, влияет ли тип используемого конденсатора на зависимость величины нелинейных искажений от частоты, проведем моделирование с использованием различных типов конденсаторов.

На рис. 7. приведены графики зависимости величины нелинейных искажений от частоты для конденсатора емкостью 10 мкФ различных типов при сопротивлениях резистора нагрузки 10 кОм.

Как следует из рис. 7, независимо от типа конденсатора наблюдается зависимость величины нелинейных искажений от постоянной времени входной цепи. При постоянной времени 100 мс (соответствует емкости разделительного конденсатора 10 мкФ и сопротивлению резистора нагрузки 10 кОм) получить нелинейные искажения при использова-

**Таблица 5. Зависимость искажений, вносимых разделительным конденсатором емкостью 10 мкФ и сопротивлении нагрузки 10 кОм, от частоты входного сигнала для конденсаторов различных типов**

f, Гц	K <sub>г</sub> , %	K <sub>г</sub> , дБ	K <sub>г</sub> , %	K <sub>г</sub> , дБ	K <sub>г</sub> , %	K <sub>г</sub> , дБ
	MLCC, 10V, X5R, 0805		Электролитический, 16 В		Пленочный, SMD, полиэстер, 100 В	
20	0.504	-5.951	0.4488	-6.959	0.4492	-6.951
40	0.189	-14.471	0.098	-20.175	0.098	-20.175
80	0.058	-24.731	0.0229	-32.803	0.0229	-32.803
160	0.016	-35.918	0.0056	-45.036	0.0056	-45.036
320	0.004	-47.959	0.0014	-57.077	0.00136	-57.329
640	0.001	-60	0.00034	-69.37	0.00034	-69.37
1280	0.00023	-72.765	0.000085	-81.412	0.000089	-81.012
1300	0.00028	-71.057	0.000085	-81.412	0.000088	-81.11
1400	0.000079	-82.047	0.000076	-82.384	0.000076	-82.384
1500	0.000069	-83.223	0.000062	-84.152	0.000064	-83.876
2500	0.000055	-82.615	0.000055	-85.193	0.000054	-85.352



**Рис. 7. Графики зависимости величины нелинейных искажений от частоты для конденсатора емкостью 10 мкФ различных типов при сопротивлениях резистора нагрузки 10 кОм**

нии одного разделительного конденсатора менее - 85 дБ невозможно. Необходимо либо увеличивать емкость конденсатора, либо сопротивление резистора для снижения уровня нелинейных искажений.

Следует помнить, что при измерении нелинейных искажений на разных частотах, необходимо задавать не только частоту генератора входного сигнала, но и в параметрах Фурье-анализа устанавливать такое же значение частоты (Frequency resolu-

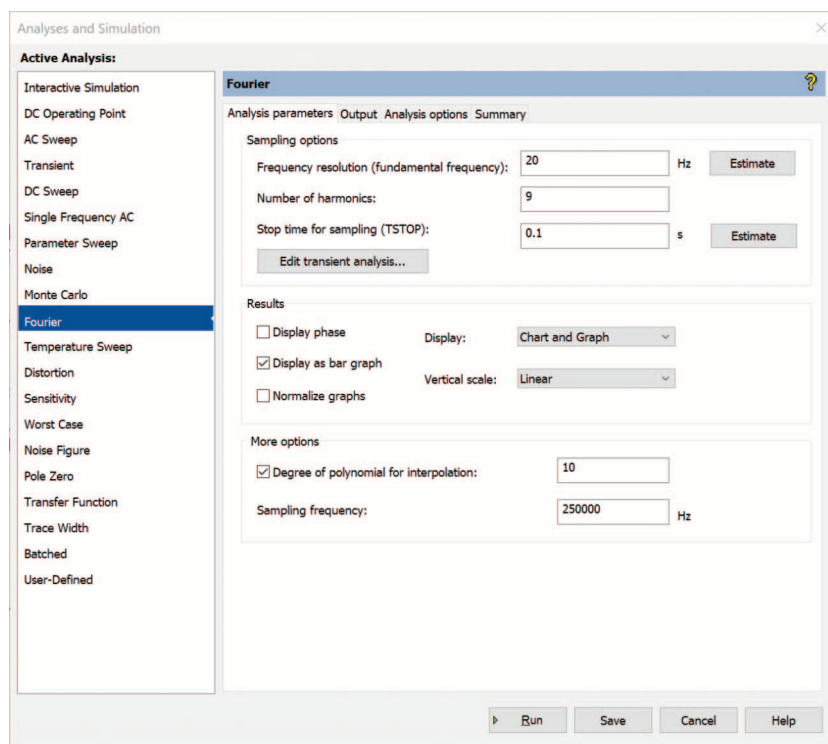
tion). Кроме того необходимо увеличить время анализа (Stop time for sampling) до 0.1 с для анализа искажений на низких частотах, как показано на рис. 8.

В усилителях звуковой частоты, как правило, используется не один разделительный конденсатор. Поэтому представляет интерес исследовать усилитель с несколькими разделительными конденсаторами. На рис. 9 приведена модель маломощного микрофонного усилителя, который содержит 4 разделительных конденсатора.

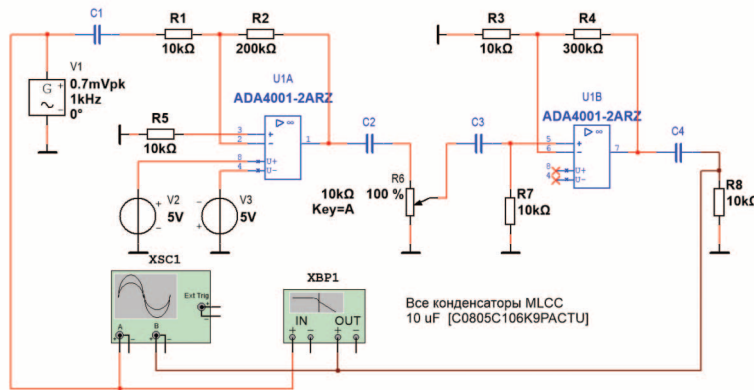
Усилитель имеет линейную АЧХ в диапазоне от 5 Гц до 218 кГц и вносит на частоте 1 кГц искажения 0.0061%, а на частоте 50 Гц – 1.15%. АЧХ усилителя приведена на рис. 10.

После замены всех резисторов, подключенных к правым выводам конденсаторов (рис. 11), на резисторы с сопротивлением 100 кОм и конденсаторов 10 мкФ на конденсаторы с емкостью 1 мкФ величина нелинейных искажений составила на частоте 1 кГц 0.0033%, а на частоте 50 Гц – 0.083%. Т.е. искажения на частоте 50 Гц уменьшились в 14 раз, что весьма существенно.

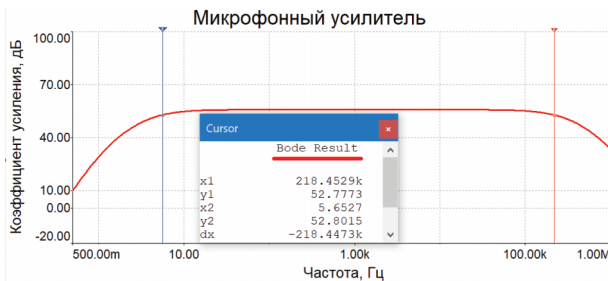
Однако, при проверке величины искажений при изменении сопротивлений резисторов R7 и R8 обнаружен странный эффект. При замене сопротивления резистора R7 на 10 кОм вместо 100 кОм получено значение нелинейных искажений на частоте 50 Гц



**Рис. 8. Окно настройки Фурье-анализа при частоте входного сигнала 20 Гц**



**Рис. 9. Модель малошумящего микрофонного усилителя**



**Рис. 10. АЧХ микрофонного усилителя**

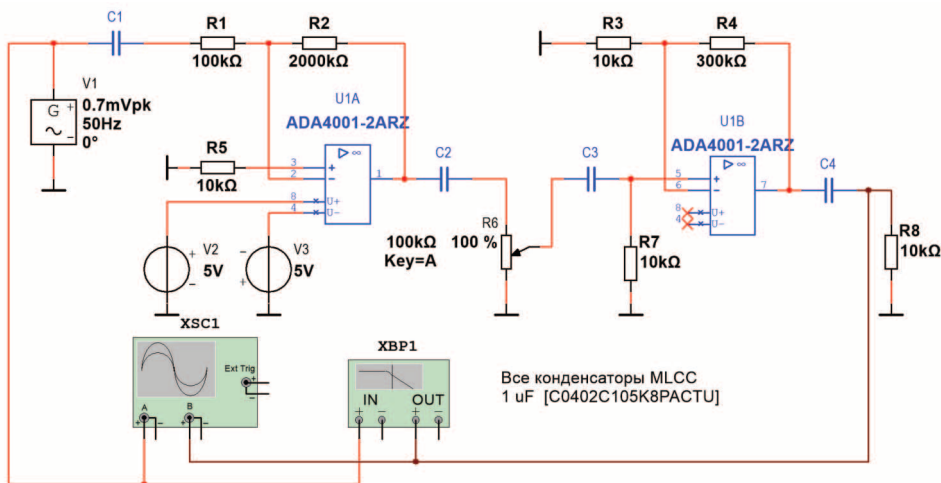
равное 0.018%, а при аналогичной замене сопротивления R8 – 0.059%. После замены сопротивлений двух этих резисторов одновременно уровень искажений составил 0.004%. Линейность АЧХ со-

храняется в этом случае от 42 Гц в области низких частот.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для уменьшения нелинейных искажений в области низких частот необходимо в разделительных цепях первого каскада устанавливать (по возможности) резисторы с как можно большим значением номинального сопротивления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zak Kaye Selecting capacitors to minimize distortion in audio applications. – Analog Design Journal, 3Q, 2020. pp. 1-5. // <https://www.ti.com/lit/pdf/slyt796>



**Рис. 11. Модель усилителя с разделительными конденсаторами 1 мкФ и резисторами нагрузки 100 кОм**





## LED-драйверы мощностью от 6 до 600 Вт

Высокий IP  
рейтинг

Совместимость  
с системами  
диминга

Высокая  
эффективность

Высокая  
надежность

Длительный  
жизненный  
цикл

- широкий выбор диапазона мощностей
- драйверы мощностью 40...600 Вт в металлических корпусах
- встроенные корректоры коэффициента мощности
- широкий диапазон входных напряжений: 90...305 (528) В (AC)
- IP65/67
- три варианта регулирования яркости светодиодов
- возможность работы в режиме с постоянной выходной мощностью
- пригодны для использования в системах внутреннего и внешнего светодиодного освещения
- высокое значение КПД (до 96%)
- защита от короткого замыкания, перегрева и превышения напряжения
- гарантия от 5 до 7 лет



**VD MAIS – официальный дистрибьютор компании MEAN WELL в Украине**

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua



# МИКРОМОЩНЫЙ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С МАКСИМАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ 150 °С

## MICRO POWER OPERATIONAL AMPLIFIER WITH A MAXIMUM OPERATING TEMPERATURE OF 150 °C

**В** статье приведена краткая информация о характеристиках микромощного операционного усилителя, предназначенного для работы в тяжелых условиях эксплуатации при температуре до 150 °С.

**Abstract -** This article provides a summary of the characteristics of a micro-power op amp designed for heavy-duty operation at temperatures up to 150 °C.

*В. Макаренко*

*V. Makarenko*

Микромощный операционный усилитель STMicroelectronics, сертифицированный для использования в автомобильной промышленности, предназначен для работы в широком диапазоне рабочих температур в тяжелых условиях эксплуатации. Усилитель, отличающийся малым потреблением тока и максимальной рабочей температурой 150 °С, сочетает в себе свойства, которые редко встречаются в одном устройстве.

TSU111H соответствует температурному классу 0 AEC-Q100 (от -40 до 150 °С), выдерживает воздействие экстремально высоких температур, например, в тормозных системах, выхлопных системах двигателей внутреннего сгорания и генераторах на топливных элементах. Высокая максимальная температура позволяет использовать датчики внутри блоков управления, расположенных рядом с датчиками, установленными в самых горячих зонах, для обеспечения высокой точности измерений.

В менее экстремальных условиях TSU111H с его расширенным температурным диапазоном позволяет работать в три раза дольше, чем эквивалентное устройство Grade-1, сертифицированное для работы при 125 °С. Будучи устройством класса 0, новый операционный усилитель может непрерывно работать при температуре 65 °С в течение более 25 лет, то есть служить в течение всего срока службы автомобиля, в то время как устройства класса 1 рассчитаны на восемь лет безотказной работы. Это идеально подходит для таких приложений, как система управления батареями (BMS) гибридных и электрических транспортных средств, которая никогда не выключается и должна потреблять как можно меньше энергии.

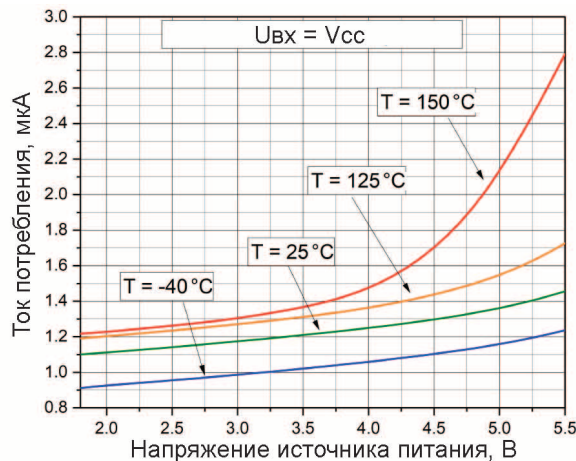
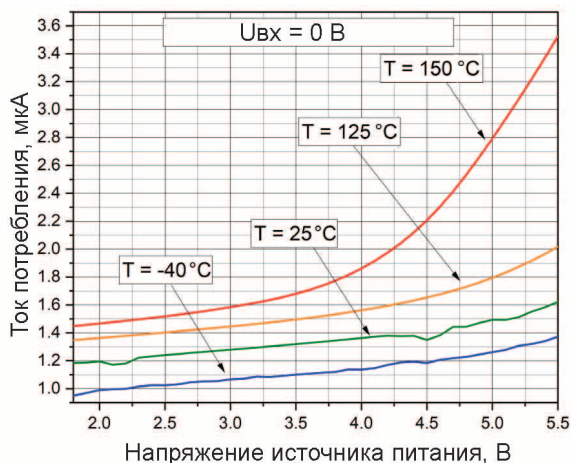
Операционный усилитель TSU111H обеспечивает сверхнизкое энергопотребление 1,7 мкА типич-

ное и 2,4 мкА максимум при питании от источника 1,8 В.

Сверхнизкое энергопотребление, малое напряжение смещения (250 мкВ макс.) и полоса пропускания 23 кГц делает TSU111H идеальным для использования в преобразователях сигналов датчиков, системах управления аккумуляторами, бортовых и беспроводных зарядных устройствах.

Основные характеристики TSU111H:

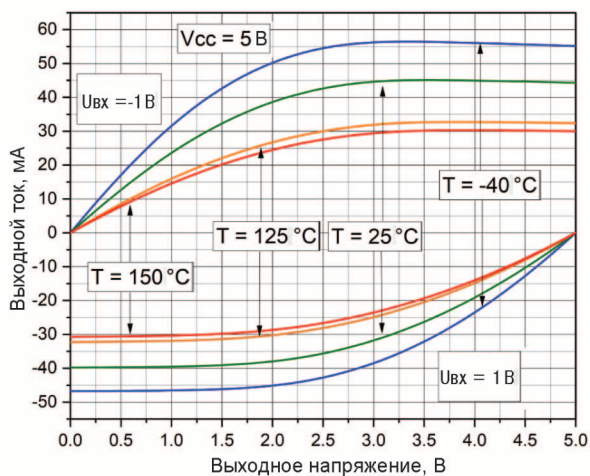
- соответствует стандарту AEC-Q100
- длительный срок безотказной работы
- потребляемый ток  $I_{cc} = 1.7$  мкА (типичное значение) при 25 °С
- напряжение смещения не более 250 мкВ при температуре 25 °С, 600 мкВ выше 150 °С
- диапазон рабочих температур от -40 до 150 °С
- низкий уровень шума в диапазоне от 0.1 до 10 Гц – 3,9 мкВ (пик-пик)
- спектральная плотность шума, приведенного ко входу, 200 нВ/√Гц
- напряжение питания: от 1.5 В до 5.5 В.
- rail-to-rail вход и выход
- полоса пропускания 23 кГц (типичное значение) при коэффициенте усиления 24 дБ, сопротивлении нагрузки 100 кОм и емкости нагрузки 60 пФ
- низкий входной ток смещения, не более 1 пА при 25 °С
- скорость нарастания выходного напряжения 5.5 В/мс
- высокая устойчивость к электростатическому разряду – 4 кВ (HBM – human body model)
- коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС) 102 дБ (типичное значение) при температуре 25 °С
- коэффициент усиления в режиме большого сигнала 126 дБ



**Рис. 1. Графики зависимости тока потребления ОУ от напряжения питания**

- высокая точность без калибровки
- устойчивость к кратковременным перепадам напряжения в сети питания
- корпус SOT23-5.

На рис. 1 приведены графики зависимости тока потребления ОУ от напряжения питания, а на рис. 2 – зависимости выходного тока от значения выходного напряжения.

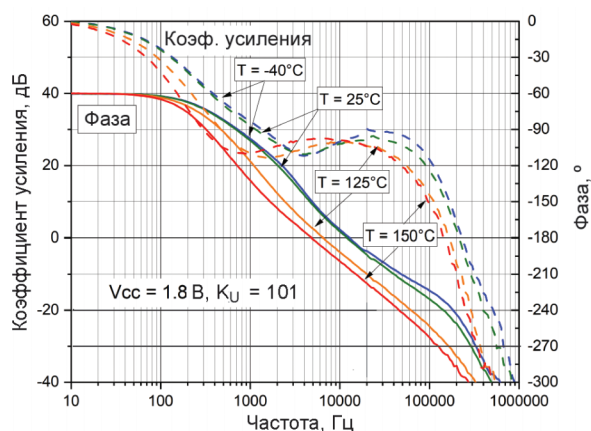


**Рис. 2. Графики зависимости выходного тока от величины выходного напряжения**

Амплитудно-частотные (АЧХ) и фазо-частотные (ФЧХ) характеристики при различных значениях температуры приведены на рис. 3.

При других значениях напряжения питания АЧХ практически не отличаются от приведенных на рис. 3.

Чтобы воспользоваться всеми преимуществами TSU111Y, импедансы всех цепей, как внутренних, так и внешних, следует выбирать как можно большими, чтобы не потерять преимуществ усилителя в



**Рис. 3. АЧХ и ФЧХ усилителя при коэффициенте усиления 101 м напряжении питания 1.8 В**

микropотреблении. Например, алюминиевые электролитические конденсаторы могут иметь значительный ток утечки, который может превышать ток потребления ОУ. По этой причине предпочтительно использовать керамические конденсаторы.

По той же причине в цепи обратной связи следует использовать резисторы больших номиналов. Однако есть два основных ограничения, которые следует учитывать при выборе сопротивления резисторов:

1. Генерируемый резистором 100 кОм шум соответствует величине 40 нВ/√Гц. Соответственно, резисторы с большими значениями сопротивлений будут генерировать превышающий указанное значение шум.

2. Утечка на печатной плате может быть вызвана повышенной влажностью. Для устранения этого яв-

ления необходимо наносить на плату защитное покрытие.

Для корректной работы усилителя рекомендуется добавить развязывающий конденсатор 10 нФ как можно ближе к источнику питания (рис. 4).

Сведение к минимуму утечки из чувствительных высокоимпедансных узлов на входы TSU111H может быть выполнено применением защитных контуров с низким импедансом на печатной плате (рис. 4). Этот метод состоит в том, что дорожки выводов ОУ с высоким импедансом окружены дорожками, соединенными с выводами ОУ с низким импедансом. Защитный контур возле инвертирующего входа имеет тот же электрический потенциал, что и узел неинвертирующего входа с высоким импедансом (на рис. 4 это неинвертирующий вход усилителя). Следовательно, даже если между дорожками существует некоторый паразитный импеданс, через него не будет протекать ток утечки поскольку они имеют одинаковый потенциал с защитным контуром.

TSU111H содержит две взаимодополняющие входные дифференциальные пары на PMOS и NMOS транзисторах. Таким образом, устройство обеспечивает работу со входным сигналом rail-to-rail, а диапазон входного синфазного сигнала расширен со значения  $(V_{CC-}) - 0.1$  В до  $(V_{CC+}) + 0.1$  В.

Поскольку на входах TSU111H установлены полевые транзисторы с изолированным затвором, то входные токи смещения не превышают 10 пА во всем рабочем диапазоне температур. Этот параметр ОУ позволяет использовать его с датчиками с высоким внутренним сопротивлением и в качестве трансимпедансного усилителя, преобразующего входной ток в напряжение на выходе.

Когда TSU111H переходит в режим насыщения, для восстановления рабочего режима требуется не более 500 мкс.

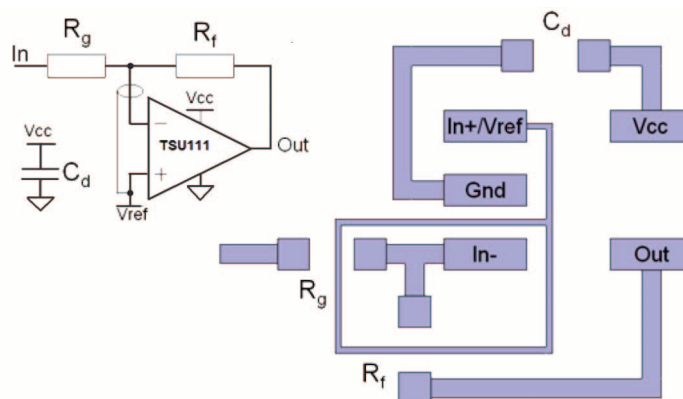


Рис. 4. Рекомендуемая конфигурация печатной платы для реализации инвертирующего усилителя

Входы и выход TSU111H защищены от электростатических разрядов (ESD) диодными ограничителями (рис. 5). Ток через диоды должен быть ограничен максимальным значением 10 мА. Для ограничения тока последовательно со входами необходимо включать резисторы.

Для увеличения степени защиты от электромаг-

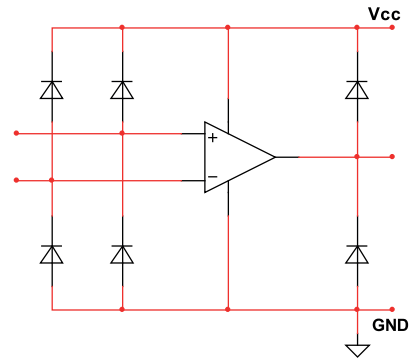


Рис. 5. Диодные ограничители для защиты от электростатических разрядов

нитных помех (ЭМП), учитывая высокое входное сопротивление усилителя, производитель рекомендует включить конденсаторы емкостью 22 пФ между входами ОУ и между каждым из входов и общим проводом. Эти конденсаторы снижают импеданс входа на высоких частотах и, следовательно, уменьшают воздействие ЭМП на режим работы усилителя.

Более подробную информацию о характеристиках TSU111H можно найти на сайте производителя [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. High temperature (150 °C) and long mission profile automotive grade, high accuracy (250  $\mu$ V) 5 V CMOS operational amplifier // <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tsu111h.pdf>

# МНОГООБОРОТНЫЙ ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ \*

## MULTITURN POSITION SENSOR PROVIDES TRUE POWER-ON CAPABILITIES WITH ZERO POWER

**В** статье рассмотрены многооборотные датчики положения, предназначенные для работы в условиях аварийного отключения напряжения питания.

*С. Брэдшоу, К. Нау, Э. Николл*

**Abstract** – This article outlines the current methods used to enable true power-on multiturn sensing capabilities.

*S. Bradshaw, C. Nau, E. Nicholl*

Датчики положения широко используются в промышленности для определения положения управляемого транспортного или других подвижных устройств и систем, например, робототехнических комплексов. Однако существующие датчики положения, как правило, измеряют положение системы в пределах одного оборота или 360°.

Системы, в которых необходимо измерять положение управляемого объекта при нескольких оборотах, обычно содержат резервный источник питания для отслеживания и запоминания нескольких оборотов после внезапной потери электропитания или для мониторинга вращательного движения. В качестве альтернативы в такую систему включают редуктор, чтобы уменьшить число измеряемых оборотов до одного, и в сочетании с датчиком одиночного оборота получают информацию о положении после многооборотного вращения. Следует отметить, что это сложное и дорогое решение, которое требует дополнительного технического обслуживания.

Вращательные и линейные энкодеры являются ключевыми устройствами в механических системах, положение которых должно быть известно даже при потере электропитания. Задача разработчика такой системы или устройства состоит в том, чтобы обеспечить доступность данных об их положении, в том числе, и при отключении питания. Если информация о положении системы при аварийном отключении питания утрачена, то требуется длительная и зачастую сложная процедура для возврата системы в исходное состояние.

В современном промышленном производстве

все чаще используются роботы и коботы для сокращения временных затрат, а также для повышения эффективности и производительности труда. Потеря эффективности такого производства связана с вынужденными простоями оборудования, в частности, роботов и других средств автоматизации, вызванная необходимостью перенастройки и инициализации оборудования после внезапного отключения питания. В результате вынужденные, незапланированные простои снижают эффективность автоматизированных производств. Эту проблему частично можно решить резервированием питания памяти и применением однооборотных датчиков с редуктором, но такой подход имеет свои недостатки. Резервные аккумуляторные блоки имеют ограниченный срок службы и требуют специального технического обслуживания.

Альтернативой резервному питанию от аккумуляторных батарей является использование датчиков на основе эффекта Виганда (Wiegand). Эффект Виганда – физическое явление, открытое в 1970-х годах Джоном Вигандом. Этот эффект проявляется в том, что если ферромагнитную проволоку, имеющую специальный химический состав и физическую структуру, внести в магнитное поле, то происходит спонтанное изменение ее магнитной поляризации, как только напряженность поля превысит некоторое пороговое значение, называемое порогом зажигания.

Изменение состояния проволоки можно регистрировать при помощи обмотки вокруг проволоки или размещенной рядом с ней. Датчик Виганда представляет собой двухполюсник, реагирующий

\* Bradshaw S., Nau C., Nicholl E. Multiturn Position Sensor Provides True Power-On Capabilities with Zero Power. *Analog Dialogue*, Vol. 56, N 3, 2022.

Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



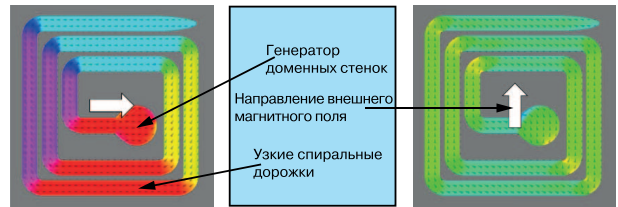
на изменение внешнего магнитного поля и вырабатывающий сигналы до нескольких вольт при условии, что напряженность управляющего магнитного поля превышает величину напряженности порога зажигания.

Датчики на основе эффекта Виганда позволяют измерять количество оборотов подвижного тела без применения источника питания, их выходной сигнал практически не зависит от частоты изменения поля, и их можно использовать в широком диапазоне рабочих температур от -196...+175 °С. Разработанные компанией Analog Devices датчики на основе эффекта Виганда так же, как и магнитная многооборотная память, не требуют использования напряжения питания для регистрации числа оборотов внешнего магнитного поля и соответственно подвижного объекта, генерирующего это поле. Более подробно с эффектом Виганда можно ознакомиться на сайте: [www.analog.com/magnetics](http://www.analog.com/magnetics).

В основе конструкции нового магнитного многооборотного датчика лежит спираль из ферромагнитного материала с сверхбольшим магнитным сопротивлением. Принцип действия датчика основан на генерации доменных стенок в под воздействием внешнего магнитного поля. При вращении внешнего магнитного поля доменные стенки распространяются по узким спиральным дорожкам (нанопроволокам), прикрепленным к генератору доменных

стенок, как показано на рис. 1.

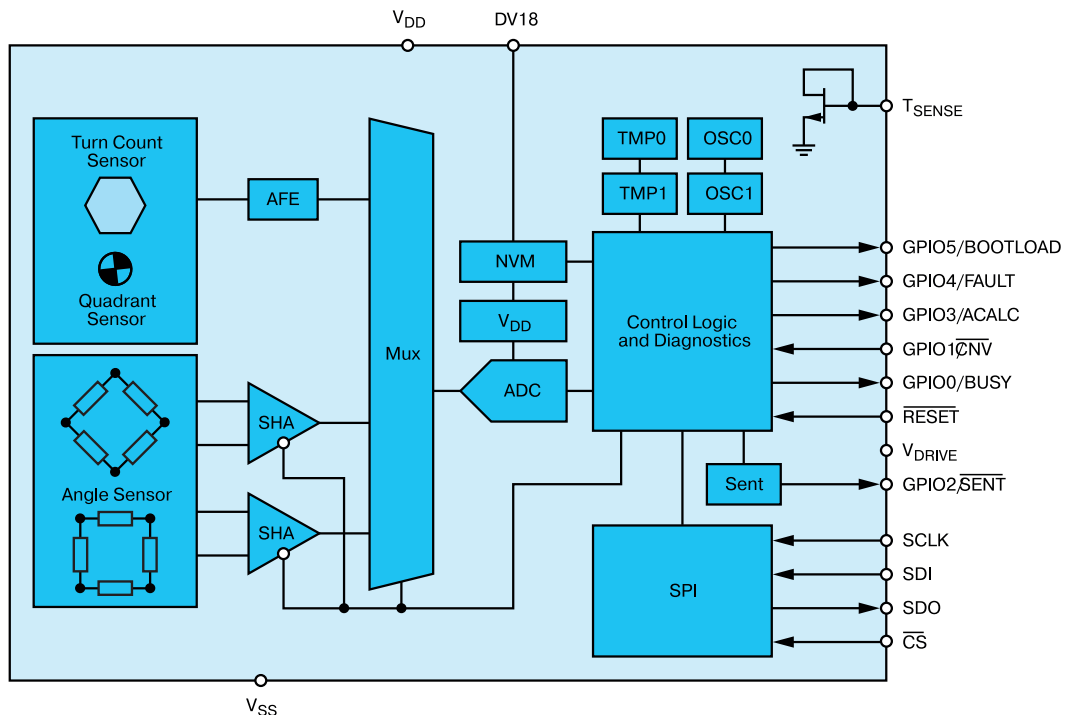
По мере того как доменные стенки перемещают-



**Рис. 1. Принцип действия магнитного многооборотного датчика на основе эффекта Виганда**

ся по структурам спиральных дорожек, состояние каждого элемента спиральной дорожки изменяется. Поскольку элементы датчика изготовлены из материала с сверхбольшим магнитным сопротивлением, состояние каждого из них можно определить, измерив их сопротивление. Датчик реагирует на изменение внешнего магнитного поля, т.е. для подсчета числа оборотов не требуется дополнительного резервного питания. Когда напряжение питания в подвижной системе восстанавливается и снова подается на датчик, показания числа оборотов в счетчике оборотов считываются оператором оборудования без перезагрузки и возврата системы в исходное состояние.

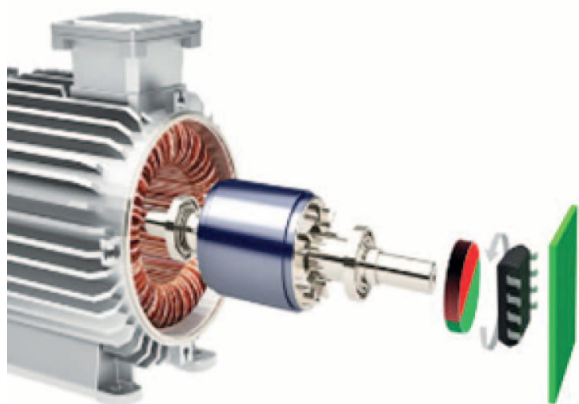
Структурная схема многооборотного датчика ADMT4000 приведена на рис. 2 и содержит собст-



**Рис. 2. Многооборотный датчик ADMT4000 компании Analog Devices**

венно многооборотный сенсор и микросхему для преобразования выходных сигналов сенсора в число оборотов подвижного объекта, на котором установлен этот датчик. ИМС ADMT4000 позволяет регистрировать до 46 оборотов или 16 560° при потере питания с погрешностью не более  $\pm 0,25^\circ$ .

Встроенный в ИМС узел преобразования, кроме того, обеспечивает калибровку устройства в целом, необходимую для уменьшения влияния внешних паразитных магнитных полей и механических нагрузок, вызванных расположенным в непосредственной близости оборудованием. Датчик ADMT4000 устанавливается против дипольного магнита, расположенного на вращающемся валу, как показано на рис. 3.



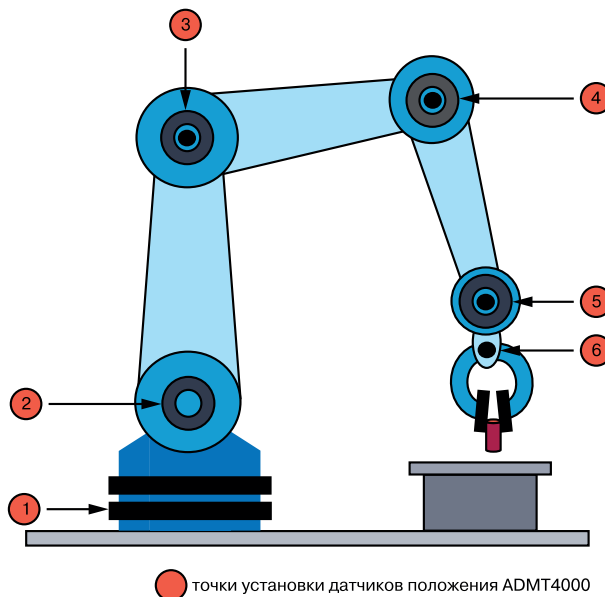
**Рис. 3. Типовая схема установки датчика ADMT4000 на вращающемся оборудовании**

Компания Analog Devices разработала прототип датчика, который позволяет разработчикам протестировать датчик ADMT4000, установленный в проектируемом изделии. Прототип устойчив к паразитным магнитным полям, что позволит разработчикам использовать этот датчик в условиях электромагнитных помех, в частности, в непосредственной близости от электродвигателей или исполнительных механизмов.

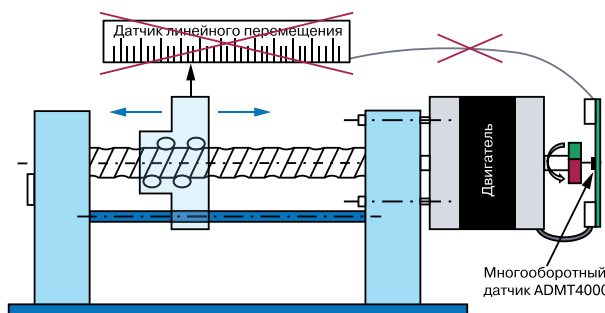
Датчик ADMT4000 предназначен для использования во многих приложениях, включая мониторинг положения роботов или коботов манипуляторов в случае аварийного отключения электропитания (рис. 4).

Промышленные приложения, для которых предназначен многооборотный датчик ADMT4000, включают мониторинг подвижных объектов в составе станков или медицинского оборудования (рис. 5).

В других приложениях обеспечивается подсчет оборотов катушек и барабанов подъемных механизмов, лебедок и т.п. (рис. 6, 7, 8) при мониторинге



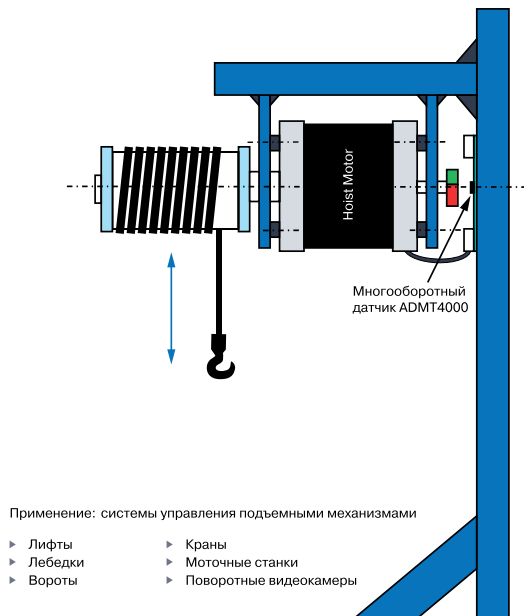
**Рис. 4. Установка многооборотных датчиков положения ADMT4000 в работе манипулятора**



**Рис. 5. Установка многооборотного датчика положения ADMT4000 во вращающемся исполнительном механизме промышленного или медицинского оборудования**

оборотов в условиях аварийного отключения питания или перебоев в подаче электроэнергии.

Малые габариты, невысокая стоимость, широкий диапазон рабочих температур многооборотного датчика ADMT4000 позволяют использовать его во многих приложениях, в том числе критически важных с точки зрения обеспечения безопасности приложения, включая современные транспортные средства, робототехнические линии и т.п., в соответствии с требованиями стандартов по безопасно-

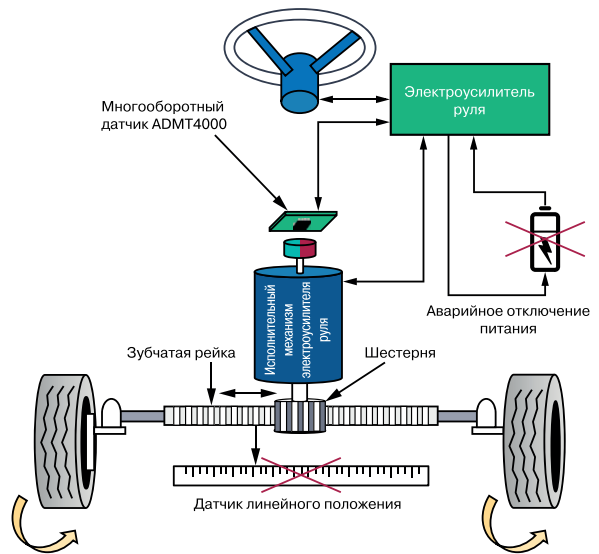


**Рис. 6. Установка многооборотного датчика положения ADMT4000 в подъемном механизме**

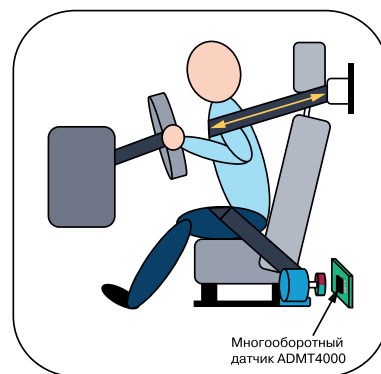
сти эксплуатации оборудования ISO 26262.

### Выводы

ИМС ADMT4000 – первый встроенный многооборотный датчик положения, предназначенный для применения в подвижных механизмах для определения положения при аварийных отключениях питания. Использование этого датчика повышает надежность, эффективность и увеличивает безопасность эксплуатации сложного промышленного оборудования.



**Рис. 7. Установка многооборотного датчика положения ADMT4000 в электроусилителе руля автомобиля**



**Рис. 8. Втягивающийся ремень безопасности автомобиля**

## ОФИСНЫЙ ЦЕНТР VD MAIS

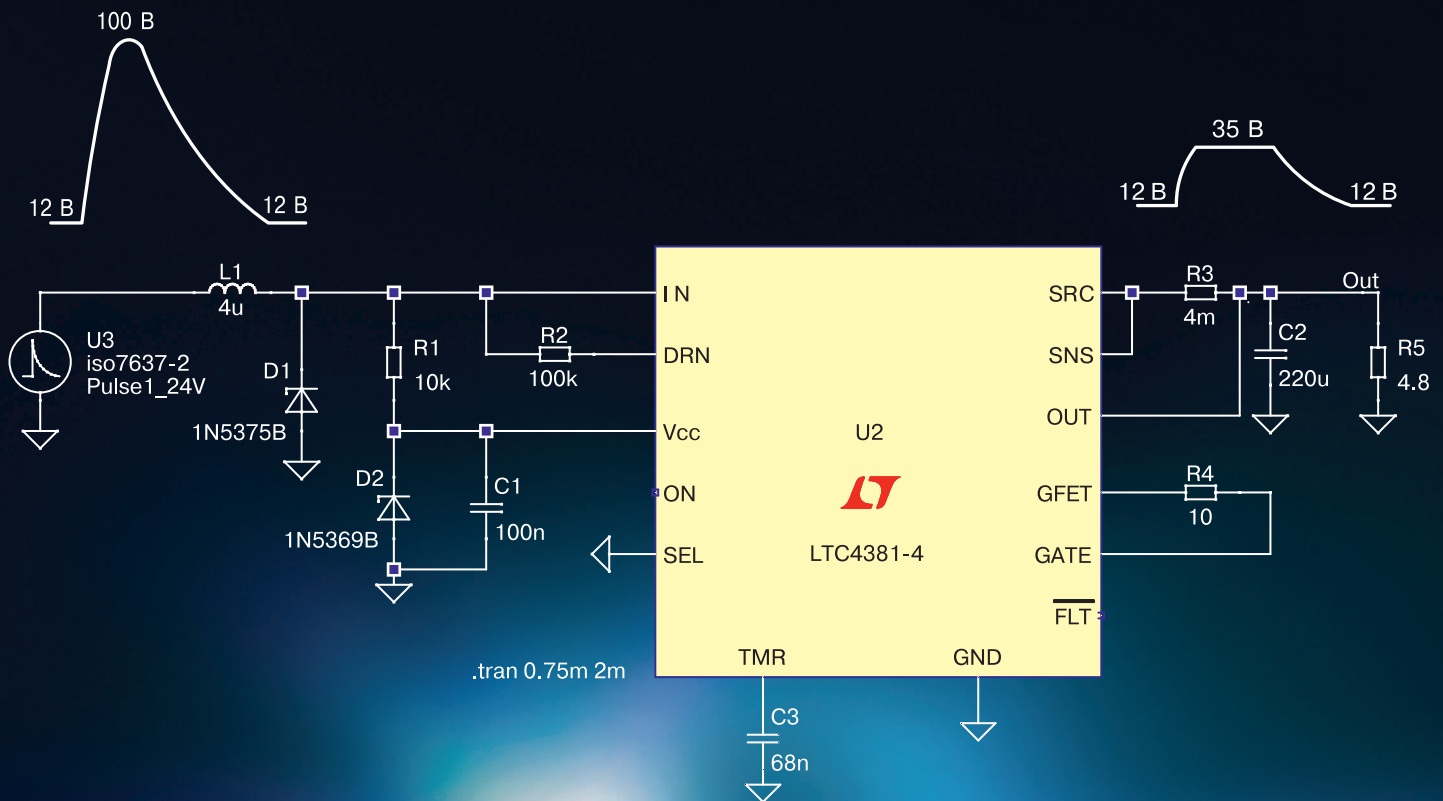
**Если Вам необходимо провести семинар, тренинг или презентацию, добро пожаловать в офисный центр НПФ VD MAIS!**

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".



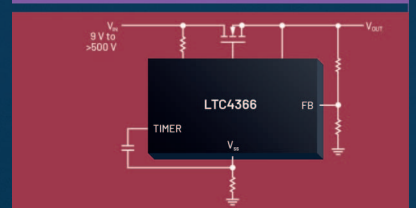
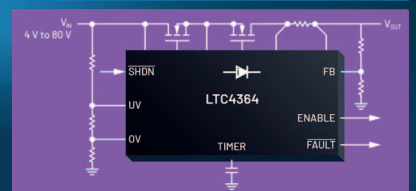
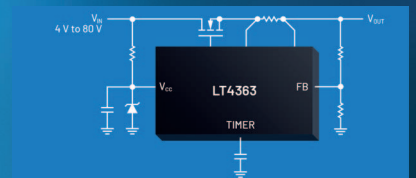
Обращаться по адресу: г. Киев, ул. М. Донца 6  
 info@vdmajs.ua  
 тел.: +38 (044) 277-22-00 (администратор ресторана)  
 +38 (044) 201-02-02 (многоканальный телефон, секретариат бизнес-центра)

# ЭЛЕКТРОННЫЕ предохранители



## Электронные предохранители LTC4381 с внутренним силовым МОП-транзистором:

- защита от перенапряжения на входе
- защита от пониженного напряжения
- защита от короткого замыкания на выходе
- защита от обратного напряжения на входе
- высокая надежность
- диапазон входных напряжений от 4 до 72 В
- максимальный ток нагрузки 10 А
- ток потребления без нагрузки не более 6 мкА
- время срабатывания не более 20 мс
- диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$
- автоматическое восстановление после устранения неисправности





## ИМС ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕСТ-СИСТЕМ \*

**В**недрение в медицинскую практику методов и средств экспресс-диагностики в местах оказания медицинской помощи (Point-of-Care – PoC) значительно увеличило количество индивидуальных диагностических тестов, выполняемых вне клинической биохимической лаборатории. В этой статье рассматриваются проблемы безопасности таких тестов, связанные с ошибочным использованием образцов пациентов, и методы снижения рисков с помощью безопасной электронной аутентификации.

Ч. Лю, К. Панаро, Э. Клири

### HOW SECURE ELECTRONIC AUTHENTICATION MITIGATES RISK AT THE POINT-OF-CARE

**Abstract –** The growing adoption of rapid point-of-care (PoC) testing has significantly increased the number of in vitro diagnostic (IVD) tests being performed outside of the automated laboratory environment. This article explores the security challenges associated with PoC diagnostics tests, the impact of reuse and misuse of patient samples, and how testing manufacturers can mitigate risk through secure electronic authentication.

C. Liu, K. Panaro, A. Cleary

Диагностические исследования человеческих образцов до последнего времени, как правило, проводились в клинических биохимических лабораториях. Получившее в медицинской практике в последнее время широкое применение тестирования пациентов за пределами лабораторий или PoC-тестирование существенно изменило ситуацию, перенесло обработку образцов в кабинет врача или даже на дом. Более быстрое PoC-тестирование дает явное преимущество в сокращении времени постановки диагноза за счет исключения транспортировки образца пациента в диагностическую биохимическую лабораторию.

Такой метод диагностики, кроме того, удобен и пациентам. Необходимость надежного индивидуального PoC-тестирования стала очевидной во время пандемии COVID-19, когда задержки с тестированием способствовали ускорению распространения вирусной инфекции, особенно в первые месяцы пандемии. В настоящее время тенденция диагностики вне пределов биохимических лабораторий получила дальнейшее развитие, в частности, уже тестируются с помощью индивидуальных тест-систем разные виды инфекции, передающейся половым путем, и многие другие. Это приводит к быстрому росту числа образцов пациентов, обрабатываемых вне лабораторий, причем такие образцы могут обрабатываться не только профессиональными лаборантами в строго контролируемых лабораториях, но и врачами в медицинских кабинетах, и

самими пациентами у себя дома, что увеличивает риск неправильного их использования.

Чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами PoC-тестирования, индивидуальные тест-системы должны давать надежный результат, которому могли бы доверять как пациенты, так и врачи. Точность измерения является критически важным параметром тестирования, так как при невысокой точности теста может быть поставлен ошибочный диагноз. Кроме того, даже самая точная тест-система может выдать ошибочный диагноз, если образец пациента обрабатывается с нарушением правил. Таким образом, наличие средств, обеспечивающих надежную обработку образцов пациентов, необходимо для получения надежных результатов и снижения риска ошибки в диагнозе.

Одним из основных факторов риска при тестировании пациентов является повторное использование теста. Это может произойти, когда мазок или картридж ошибочно несколько раз пропускают через устройство тестирования. При массовом скрининге такая ситуация может произойти и в клинике, если лаборанты для проведения диагностических тестов плохо подготовлены или невнимательны.

Еще одним фактором риска при проведении тестирования вне лаборатории является преднамеренно неправильное использование образцов пациентов. Для некоторых тестов, таких как выявление наличия наркотиков или алкоголя в крови пациента, имеется мотивация к фальсификации резуль-

\* Liu C., Panaro K., Cleary A. *How Secure Electronic Authentication Mitigates Risk at the Point-of-Care. Analog Dialogue*, vol. 57, N 1, March, [www.analog.com](http://www.analog.com).  
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

тата. Замена картриджа с пробой перед обработкой является одним из способов достижения этой цели. Кроме того, большой спрос на индивидуальные тест-системы способствует появлению на рынке большого числа поддельных картриджей.

В клинических лабораториях закупки материалов осуществляются через защищенные каналы. Для домашнего тестирования пациенты часто покупают тест-системы непосредственно в интернет-магазинах. Это открывает путь для поставки контрафактных тестов с невысоким качеством, что может привести к ошибочным результатам тестирования. Следует отметить, что использованные наборы образцов должны утилизироваться как медицинские отходы. Однако существует риск того, что подлежащие утилизации наборы могут быть восстановлены и вновь направлены потребителям. Это будет способствовать ложным результатам теста, что может привести к неправильному лечению пациента.

Пациенты могут столкнуться с ошибочным диагнозом, например, с ложноположительным тестом, что может привести к бесполезному лечению. Ложноотрицательный результат, наоборот, приведет к запоздалой диагностике и, в конечном итоге, к задержке или отсутствию своевременного лечения.

В настоящее время применяется два традиционных метода обеспечения подлинности образцов пациентов. Одним из методов заключается в применении специальной маркировке, например, в применении одномерного или двумерного штрих-кодирования (рис. 1).

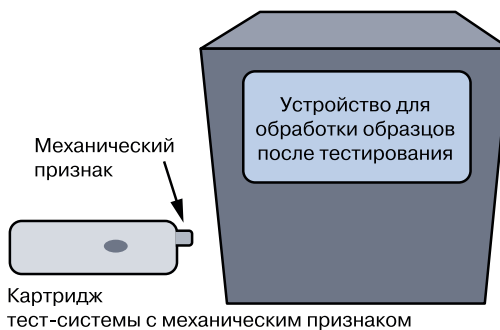
При другом методе используются специальные механические приспособления, препятствующие повторной установке картриджа (рис. 2). Использование одномерных и двумерных штрих-кодов является предпочтительным методом отслеживания образцов в лабораторных условиях.

Информация о партии, серийные номера и уникальная идентификация устройства могут использоваться для подтверждения подлинности картриджа. Кроме того, перед обработкой образцов можно просмотреть в памяти штрих-коды, чтобы исключить их повторное использование. Несмотря на то, что штрих-коды являются надежным средством подтверждения подлинности образца пациента, они не исключают ошибки тестирования.

Во-первых, для этикеток со штрих-кодом требуется сканер штрих-кода, что усложняет конструкцию диагностического устройства. Штрих-коды также требуют значительной памяти для хранения достаточного количества серийных номеров, чтобы



**Рис. 1. Устройство для обработки образцов после тестирования с встроенным сканером штрих-кодов**



**Рис. 2. Устройство для обработки образцов после тестирования с встроенным механическим признаком на тестовой системе**

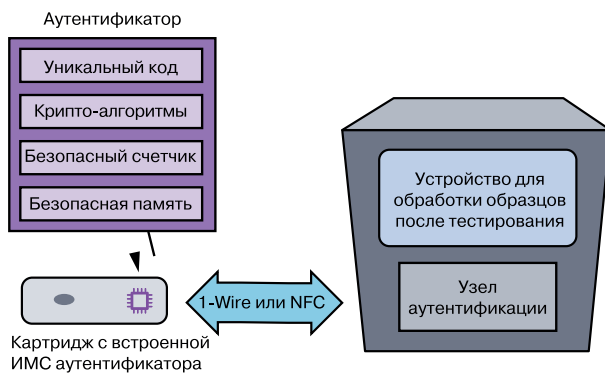
предотвратить повторное использование картриджа с образцом. При большом количестве тестируемых образцов дополнительное считывание штрих-кодов приводит к потере производительности тестирования.

Второй традиционный метод заключается в использовании простого механического элемента, такого как специальная выемка на картридже тест-системы, которая меняет форму или положение при установке в устройство для обработки образцов. Такие механические приспособления обеспечивают предотвращение повторного использования образца. Однако образцы с выемкой идентичны от картриджа к картриджу и не позволяют отличить образец одного пациента от образца другого пациента. Кроме того, по мере того, как тест-системы уменьшаются в размерах, добавление механических эле-

ментов к картриджу создает дополнительные трудности при их изготовлении.

Чтобы найти идеальное решение для обширного рынка индивидуальных тест-систем, необходимо выйти за рамки традиционных методов идентификации, заменив их электронной аутентификацией. Это можно сделать на основе встроенного в картридж специального интегрального идентификатора (рис. 3). Такой аутентификатор в виде ИМС является надежным средством защиты от неправильного или повторного использования картриджа тест-системы.

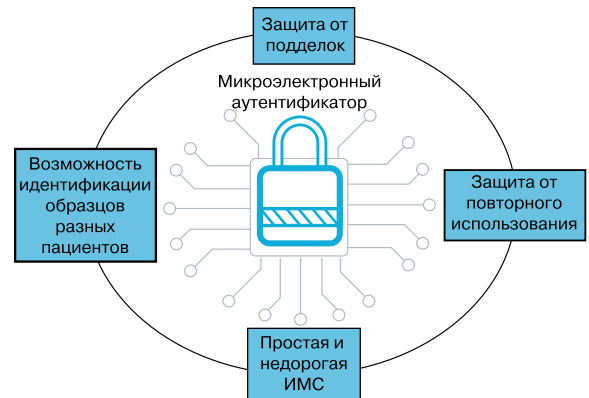
Для решения проблемы повторного использования электронный аутентификатор содержит счетчик, который регистрирует использованный одно-



**Рис. 3. Устройство для обработки образцов после тестирования с встроенным электронным аутентификатором**

разовый картридж и таким образом гарантирует одноразовую обработку образца. Встроенный аутентификатор различает образцы пациентов. Возможность неправомерного использования картриджа обеспечивается за счет встроенного криптографического алгоритма, который надежно распознает поддельные картриджи. Электронный аутентификатор, кроме того, имеет дополнительную функцию записи метки времени. Это может быть полезно, если тестирование пациентов выполняется периодически в определенные моменты времени. Основные функции электронного аутентификатора приведены на рис. 4.

В отличие от штрих-кодов и механических защитных элементов, решения для электронной проверки подлинности встроены в картридж, что делает защитный узел невидимым как для пользователей, так и для потенциальных злоумышленников. Применение электронного аутентификатора значительно снижает риск повторного и неправильного использования картриджей с образцами и надежно



**Рис. 4. Функции микроэлектронного аутентификатора DS28E16 компании Analog Devices**

гарантирует подлинность результатов тестирования. ИМС электронных аутентификаторов компании Analog Devices представляют законченное решение, которое можно легко интегрировать в картридж индивидуальных тест-систем, причем для использования таких картриджей не требуется подготовка в области криптографических технологий.

Каждая ИМС безопасного аутентификатора имеет уникальный 64-разрядный серийный номер для идентификации и отслеживания конкретного картриджа. Встроенная в ИМС память обеспечивает надежную защиту конфиденциальных данных от несанкционированного доступа. Аутентификация использует стандартный симметричный ключ SHA-2/SHA-3 или алгоритмы шифрования ECDSA с асимметричным ключом для гарантии подлинности картриджа и защиты от использования подделок. Интегрированный счетчик безопасности предотвращает повторное использование одноразового картриджа.

## ВЫВОДЫ

Широкое применение в медицинской практике индивидуальных диагностических тест-систем особенно в условиях пандемии требует их защиты от неправильного или повторного применения, подделок и, кроме того, обеспечения идентификации образцов тестирования, полученных от разных пациентов. ИМС аутентификатора DS28E16 компании Analog Devices позволяет упростить решение этой проблемы и заменить используемые в настоящее время в индивидуальных тест-системах штрих-коды или механические защитные устройства на электроны средства защиты.



По мотивам картины  
В.А. Тропинина  
"Кружевница"



[ От ремесла к искусству ]

# ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- проектирование
- 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**

ДИСТРИБЬЮЦИЯ+  
КОНТРАКТНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО

**VD MAIS**

PCB Professionally

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 283-8246, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua

## Импульсные регуляторы Rescom серий R78xx – эффективная замена линейных стабилизаторов

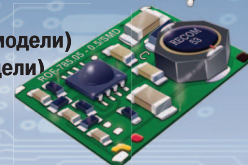
**RECOM**

- КПД до 96%, не требуют тепловодов
- постоянный выходной ток от 0.5 до 2 А
- входное напряжение от 4.5 до 42 В (в зависимости от модели)
- выходное напряжение 1.2...15 В (в зависимости от модели)
- диапазон рабочих температур от -40 до 70 °С
- защита от перегрева
- защита от короткого замыкания на выходе
- выводы для монтажа в отверстия, гибкие и жесткие
- выводы на торце или с изгибом на 90°
- ряд моделей для поверхностного монтажа
- совместимость по выводам с линейными стабилизаторами в корпусе TO220
- положительное и отрицательное выходное напряжение

**VD MAIS**  
ДИСТРИБЬЮЦИЯ+  
КОНТРАКТНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО

VD MAIS – официальный дистрибьютор  
компании Rescom в Україні

тел.: (044) 201-0202, info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua





# АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОГО К ВХОДУ ШУМА В ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ \*

## PRACTICAL INPUT-REFERRED CALCULATIONS IN PRECISION SYSTEMS

**В** статье рассмотрен альтернативный способ расчета приведенного к входу шума прецизионной измерительной системы, позволяющий более точно вычислить ее ключевые параметры.

**T**his article gives an overview of input-referred calculations and simulations in precision systems and how to get the most insight from them.

С. Хант

S. Hunt

При проектировании измерительных систем с аналоговыми узлами погрешности и шумы от различных компонентов измерительного канала необходимо суммировать и использовать для определения обобщенной погрешности. Характеристики в технической документации могут быть выражены в процентах или в абсолютных единицах, шумы и погрешности могут быть приведены к выходу или к входу. Вычисление суммарной погрешности на основе приведенных к входу шумов и погрешностей отдельных узлов измерительной системы дает важную информацию об оценке точности системы в целом.

На рис. 1 приведена обобщенная структурная схема измерительного канала.

Каждый узел может иметь несколько компонентов для выполнения измерительных операций. Каждый аналоговый каскад от датчика до АЦП вносит аналоговый шум и погрешность, искажающие измеряемый сигнал. Данные на выходе АЦП содержат оцифрованный сигнал вместе с шумом и погреш-

ностью. Некоторые шумы и погрешности можно уменьшить с помощью калибровки, компенсации или обработки сигналов. Но те погрешности, которые устранить не удастся, приводят к некоторой неопределенности истинного значения измеряемой величины на выходе. Анализ этой неопределенности позволяет установить ключевые характеристики измерительного канала, такие как точность и погрешность.

Отнесение шума и погрешности измерительного канала к входу позволяет оценить уровень внесенной измерительным каналом погрешности. Например, вычисление общего шума, отнесенного к входу (Referred to Input или RTI), дает возможность определить минимальный входной сигнал, который можно выделить из шума на выходе.

Следует отметить, что данные, полученные на выходе АЦП в результате кодирования, часто программно масштабируются для приведения кода на выходе АЦП к значению измеряемой физической величины. Если исходные данные до масштабиро-

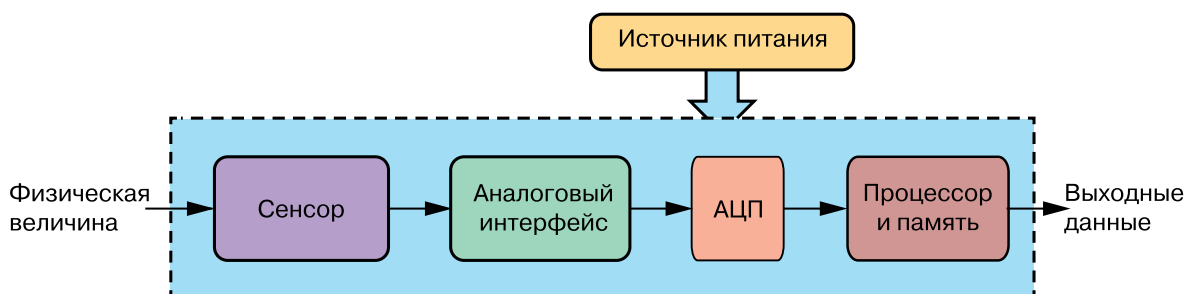


Рис. 1. Обобщенная структура измерительного канала

\* Hunt S. Practical Input-Referred Calculations in Precision Systems. Dialogue, vol. 57, N 1, February, 2023. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

вания включали погрешность и шум, то, следовательно, и масштабируемая величина будет включать соответствующую погрешность и шум.

Для расчета общего шума измерительной системы шумы всех источников в измерительном канале должны быть приведены к входу или к выходу с использованием промежуточных коэффициентов преобразования или масштабирования. Расчет шума, приведенного к входу (RTI) или приведенного к выходу (Referred to Output или RTO), является наиболее надежным при определении точности измерительной системы.

Необходимо предварительно установить, какую точку схемы измерительного канала следует считать входом, а какую – выходом, и какие единицы измерения целесообразно использовать. Например, входными данными могут быть физические величины, выраженные, в градусах Цельсия, тогда шум RTI может быть рассчитан тоже в градусах Цельсия. Шум RTI может быть выражен в электрических единицах, таких как вольты или амперы. Точно так же выходной шум может быть определен в единицах младшего разряда АЦП или битах.

Источник шума RTI – это виртуальный источник шума, размещенный на входе, который вносит тот же шум в результат измерения, что и реальные источники шума измерительного канала. Значение шума RTI от каждого источника шума определяется путем деления величины фактического шума от этого источника на коэффициент усиления цепи от входа до выхода этого источника.

Спектральные плотности шума RTI суммируются для определения общей спектральной плотности шума измерительной системы. Точно так же шум RTO является виртуальным источником шума на вы-

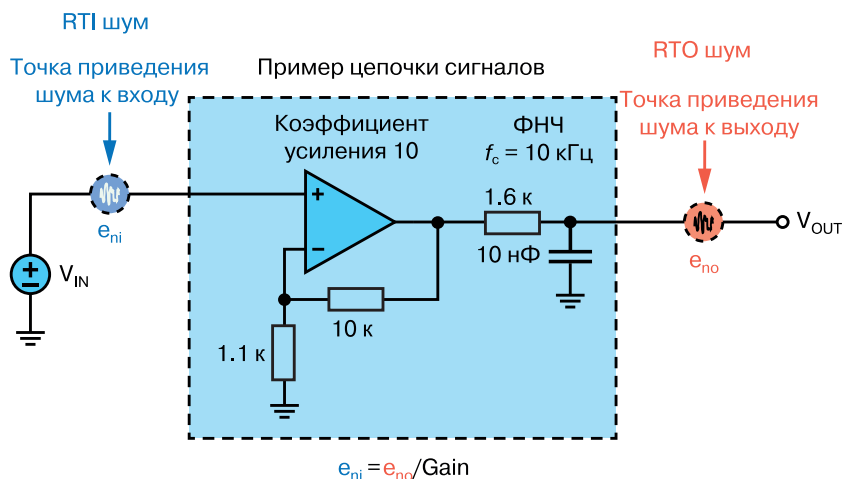
ходе. Для определения шума RTO необходимо шум каждого источника умножить на коэффициент усиления цепи от входа до выхода. На рис. 2 приведены модели шумов RTI и RTO для простой измерительной цепи, состоящей из неинвертирующего усилительного каскада и фильтра нижних частот.

Между шумами, приведенными к входу и выходу (RTI и RTO), существует дисбаланс. Шум RTO – это шум после прохождения сигнала по измерительному каналу, а шум RTI – это шум на входе, который не ограничен полосой пропускания узлов сигнальной цепи. Внеполосный шум, отфильтрованный сигнальной цепочкой, в конечном итоге не влияет на результат измерения, но он проявляется в спектре приведенного к входу шума RTI. Это не означает, что шум RTI неверен.

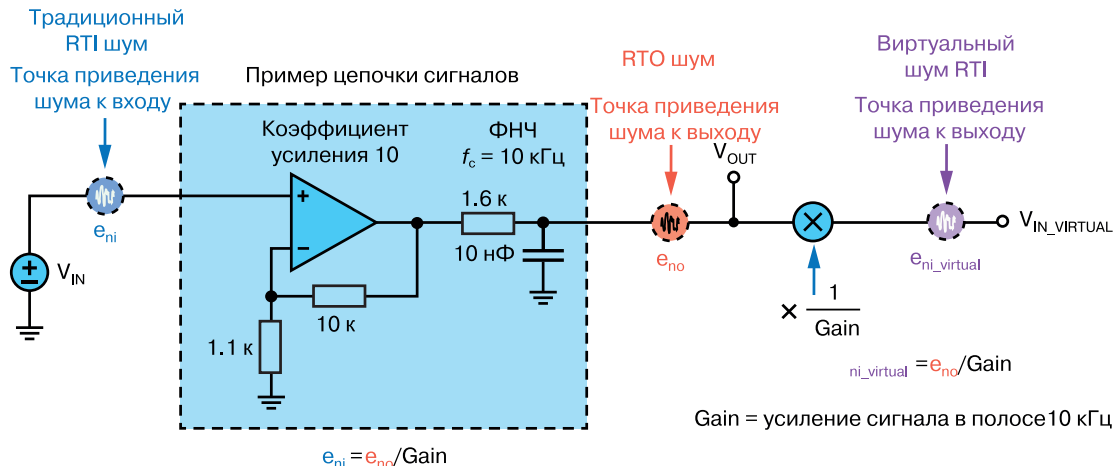
Если его значение умножить на нелинейный коэффициент усиления, зависящий от частоты конкретной сигнальной цепи, можно получить значение шума RTO. Однако цель определения шума RTI состоит в том, чтобы сравнить величину этого шума с входным сигналом. Включение внеполосного шума, который не влияет на результат измерения, не упрощает сравнение RTI шума с величиной входного сигнала.

**Альтернативный подход для решения этой проблемы**

Попробуем подойти к решению этой проблемы иначе. Выходной сигнал можно сравнивать с шумом RTO напрямую, поскольку этот шум учитывает шумы всей сигнальной цепи с учетом полосы пропускания каждого узла. Отсюда можно попытаться определить шум RTI так, чтобы его можно было легко сравнить с входным сигналом. Это значит, что величину шума RTO следует разделить на коэффициент уси-



**Рис. 2. Измерительная цепь, состоящая из неинвертирующего усилительного каскада и ФНЧ**



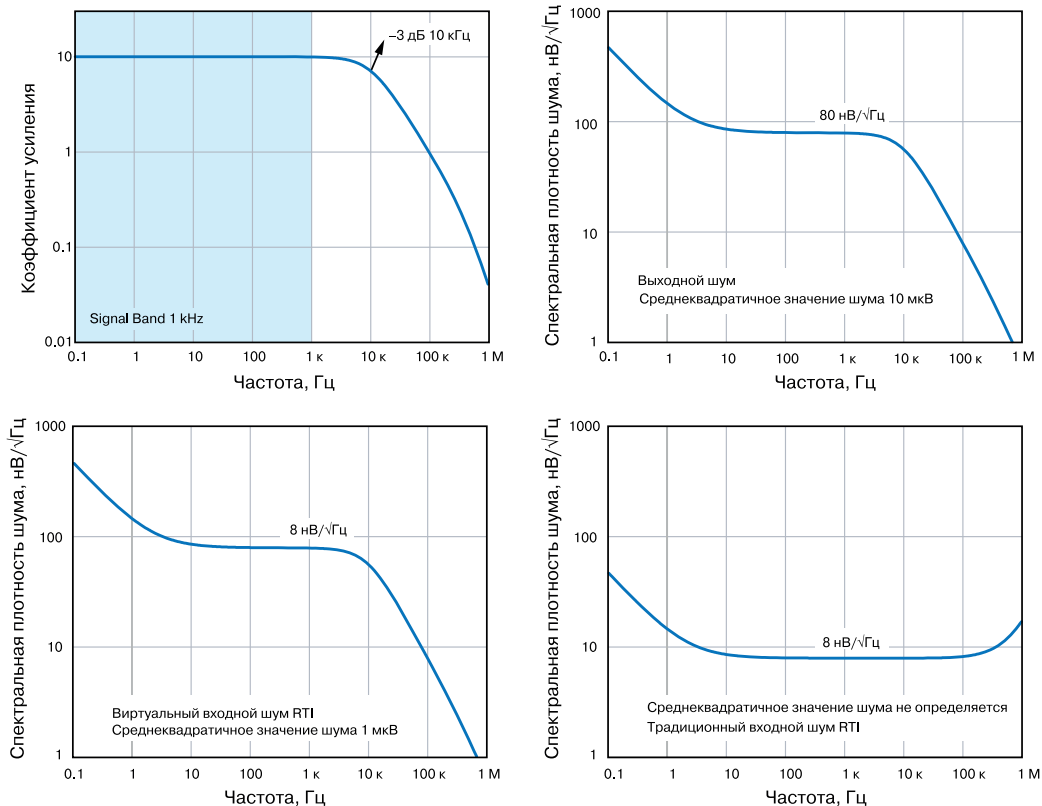
**Рис. 3. Модифицированная модель шума RTI**

ления сигнала всей цепи. Однако вопрос заключается в том, как определить этот коэффициент усиления.

Независимо от связей по постоянному или переменному току в большинстве линейных схем коэффициент усиления, как правило, принимается постоянным в заданной полосе пропускания. В этой полосе пропускания измеряемый сигнал содержит всю необходимую информацию, которую требуется получить на выходе. Если коэффициент усиления

задается для полосы пропускания, в которой он имеет постоянное значение, то шум RTO путем деления на этот коэффициент усиления можно легко преобразовать в шум RTI. Разница между данной и предыдущей моделью шума показана на рис. 3.

В альтернативной модели шум RTI влияет на величину выходного сигнала, включая спад внеполосного шума. На рис. 4 показаны промоделированные графики, показывающие различия между двумя методами определения шума RTI.



**Рис. 3. Модифицированная модель шума RTI**

Графики входного шума RTI одинаковы для обеих моделей на низких частотах, но отличаются при спаде коэффициента усиления на высоких частотах. Традиционный шум RTI нельзя интегрировать для нахождения общего шума, тогда как виртуальный шум RTI позволяет это сделать. Коэффициент усиления сигнала можно использовать для вычисления виртуального шума RTI и обобщенного среднеквадратичного значения шума, а также для вычисления спектральной плотности шума.

## ВЫВОДЫ

Предлагаемый метод определения приведенного к входу виртуального шума, позволяющий уточнить реальную точность прецизионной измерительной системы в заданной полосе пропускания, полученную традиционными методами расчета. Для анализа сложных схем альтернативным методом могут быть использованы такие инструменты моделирования, как LTSpice и Signal Chain Noise Tool.



# 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**  
ДИСТРИБЬЮЦИЯ+  
КОНТРАКТНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 283-8246, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

**VD MAIS**  
PCB Professionally



# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ В ОНЛАЙН РЕЖИМЕ С ПОМОЩЬЮ SiC MPLAB®

## ONLINE SWITCHING POWER SUPPLY DESIGN WITH SiC MPLAB®

**В** статье приведена краткая информация о новой бесплатной онлайн программе проектирования импульсных источников питания с использованием SiC полупроводниковых приборов MPLAB SiC Power Simulator. Проведен пример расчета DC/DC-преобразователя мощностью 2 кВт с помощью этой программы.

*В. Макаренко*

Цифровая электроника идет по пути постоянной миниатюризации и уменьшения потребляемой энергии. Но для устройств с большим потреблением энергии, таких как электромобили, электровозы и многие другие, основной задачей является снижение потерь энергии, а не уменьшение мощности самих устройств. А для достижения таких целей необходимо снижать потери в проводах, соединяющих силовые приводы и источники питания, а также потери на переключение в самих преобразователях энергии. Чем меньше ток в силовых цепях, тем меньше потери. Но для обеспечения достаточной мощности приходится увеличивать рабочее напряжение. Например, в легковых электромобилях повышают рабочее напряжение бортовой сети с 12 до 48 В и до 400-800 В в силовой части.

Электрификация всего и вся стимулирует рост использования полупроводников SiC (на основе карбида кремния) для крупных сегментов рынка, таких как электромобили и другой электротранспорт. Промышленный переход к силовым решениям SiC происходит по причине более высокой скорости переключения (а значит снижения потерь мощности) и возможности работы при более высоких температурах у этих полупроводниковых приборов.

Чтобы помочь инженерам сократить время для перехода на силовые решения SiC, компания Microchip Technology 20 марта 2023 г. выпустила онлайн симулятор MPLAB® SiC Power Simulator, который позволяет в течении нескольких минут спроектировать мощный преобразователь энергии с заданными характеристиками и получить информацию о КПД спроектированного устройства и полный перечень элементов, необходимых для его реализации [1, 2].

**Abstract** – *The article provides brief information about the new free online design program for switching power supplies using SiC semiconductor devices MPLAB SiC Power Simulator. An example of calculating a DC / DC converter with a power of 2 kW was carried out using this program.*

*V. Makarenko*

MPLAB SiC Power Simulator – это программная среда на основе PLECS, разработанная в сотрудничестве с компанией Plexim для предоставления бесплатного онлайн-инструмента, который устраняет необходимость приобретения лицензии на моделирование. MPLAB SiC Power Simulator ускоряет процесс проектирования различных топологий питания на основе SiC. Клиенты могут уверенно тестировать и оценивать решения SiC на этапе проектирования.

Программа позволяет существенно сократить не только время разработки, предоставляя возможность провести сравнительный анализ различных решений, но и сокращает время выбора компонентов. Разработчик силовой электроники, выбирая между транзисторами с сопротивлением открытого канала 25 мОм или 40 мОм SiC MOSFET (например, для трехфазного активного входного преобразователя), может сразу получить результаты моделирования, такие как средняя рассеиваемая мощность и пиковая температура перехода проектируемого устройства.

Ассортимент изделий SiC компании Microchip включает лучшие в отрасли корпуса силовых модулей с самой низкой паразитной индуктивностью (<2.9 нГн), а также лучшие в отрасли дискретные полевые МОП-транзисторы и диоды с номинальным рабочим напряжением до 3.3 кВ, а также модули на 700, 1200 и 1700 В и настраиваемые драйверы цифровых затворов AgileSwitch®.

Эти устройства SiC обладают высокой надежностью, обеспечивающей срок службы оксида затвора не менее 100 лет (прогнозные данные), а SiC-диоды не подвержены деградации. Технология SiC обеспечивает более высокую эффективность системы, удельную мощность и температурную ста-

бильность по сравнению с кремниевыми биполярными транзисторами с изолированным затвором (IGBT) в приложениях высокой мощности.

Рассмотрим пример работы с программой MPLAB SiC Power Simulator на примере проектирования DC/DC-преобразователя мощностью 2 кВт.

Для начала работы с программой переходим по ссылке, указанной в [2]. В открывшемся окне следует нажать кнопку Go to MPLAB SiC Power Simulator

(рис. 1). После этого открывается страница с выбором типа преобразователя, показанная на рис. 2.

Для примера выберем проектирование понижающего обратноходового DC/DC-преобразователя – Flyback Converter. Как только будет помечен этот пункт, открывается страница с топологией преобразователя (рис. 3)

Нажав стрелку в правом нижнем углу экрана, переходим на страницу установки параметров пре-

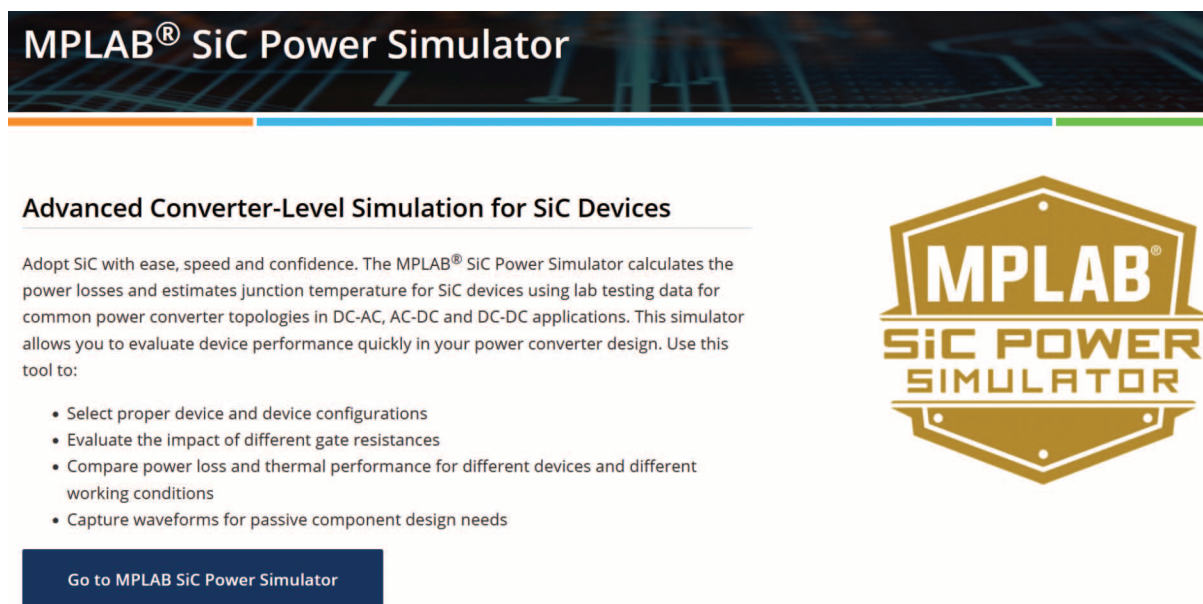


Рис. 1. Титульная страница MPLAB SiC Power Simulator

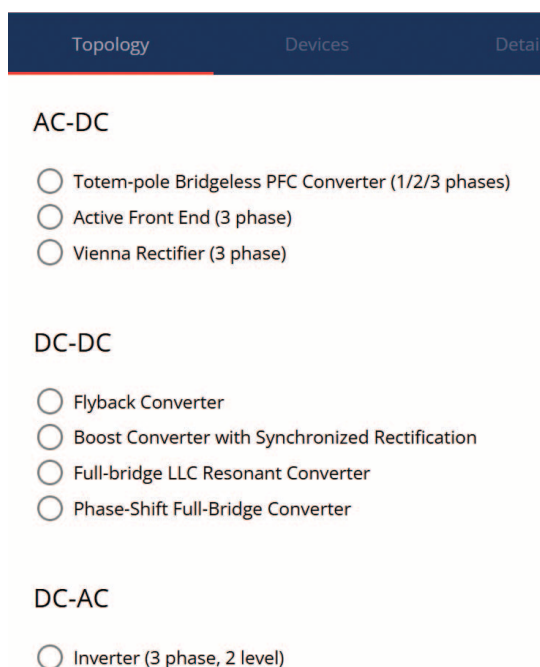


Рис. 2. Страница выбора типа преобразователя

образователя и выбора силового транзистора, как показано на рис. 4.

В нижней части экрана выводятся требования к параметрам силового транзистора и перечень доступных для использования транзисторов с указанием основных параметров. В перечне доступен 21 транзистор (на рис. 4 показан фрагмент перечня). В параметрах указаны:

- допустимое обратное напряжение
- сопротивление открытого канала при температуре 25 °C
- максимальный допустимый ток при температуре 25 °C
- тип корпуса и ссылка на даташит.

Выберем для расчета транзистор MSC015SMA070B. Как только он будет помечен открывается страница с топологией и параметрами преобразователя и изображением корпуса транзистора (рис. 5).

Если нажать кнопку Change, то вновь откроется список доступных транзисторов и можно выбрать другой прибор. Если нажать стрелку в правом ниж-

Topology Devices Details Circuit Cooling Simulation Report

### AC-DC

- Totem-pole Bridgeless PFC Converter (1/2/3 phases)
- Active Front End (3 phase)
- Vienna Rectifier (3 phase)

### DC-DC

- Flyback Converter
- Boost Converter with Synchronized Rectification
- Full-bridge LLC Resonant Converter
- Phase-Shift Full-Bridge Converter

### DC-AC

- Inverter (3 phase, 2 level)

## Flyback Converter

Рис. 3. Топология понижающего DC/DC-преобразователя

Topology Devices Details Circuit Cooling Simulation Report

### Voltage and power rating

Input voltage  $V_{in}$

400 Vdc

Output voltage  $V_{out}$

48 Vdc

Turns ratio n:1

1

Rated power  $P_{out}$

2000 W

#### Select MOSFET

Please select a device.

Calculated Parameter	Value	Unit
Blocking Voltage	448	V
Average Current	5	A

Device	$V_{DS}$	$R_{DS(on)}$ ( $T_c=25^\circ\text{C}$ )	$I_D$ ( $T_c=25^\circ\text{C}$ )	Package	Data Sheet
<input type="radio"/> MSC015SMA070B	700	15	140	TO-247	
<input type="radio"/> MSC035SMA070B	700	35	77	TO-247	
<input type="radio"/> MSC035SMA070B4	700	35	77	TO-247-4	

Рис. 4. Страница установки параметров преобразователя и выбора силового транзистора

Topology
Devices
Details
Circuit
Cooling
Simulation
Report

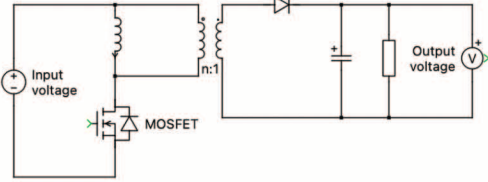
### Voltage and power rating


Input voltage  $V_{in}$   
 Vdc

Output voltage  $V_{out}$   
 Vdc

Turns ratio n:1

Rated power  $P_{out}$   
 W



MOSFET: MSC015SMA070B  Change

←
→

**Рис. 5. Страница с изображением корпуса выбранного транзистора, топологией и параметрами преобразователя**


нем углу экрана, то осуществляется переход на страницу с конфигурацией силового транзистора (рис. 6).


На странице указано число параллельно включенных транзисторов, сопротивление резистора в цепи затвора и предлагается выбор сопротивления открытого канала – номинальное или максимальное значение. Для выбранного типа транзистора номинальное значение сопротивления открытого канала [3] составляет 15 мОм, максимальное значение 19 мОм. Выбираем максимальное значение, нажимаем кнопку перехода на следующую страницу в правой нижней части страницы. На открывшейся странице (рис. 7) можно изменить значение теплового сопротивления  $R_{th,ch}$  и выбрать режим работы – при фиксированной температуре или при фиксированной температуре окружающей среды. В нижней части страницы указано фиксированное значение температуры.

Если выбрать анализ при фиксированной температуре окружающей среды, то необходимо будет ввести дополнительно значение температуры окру-

Topology
Devices

### MOSFET configuration

Device name  
 MSC015SMA070B 



Number of parallel devices

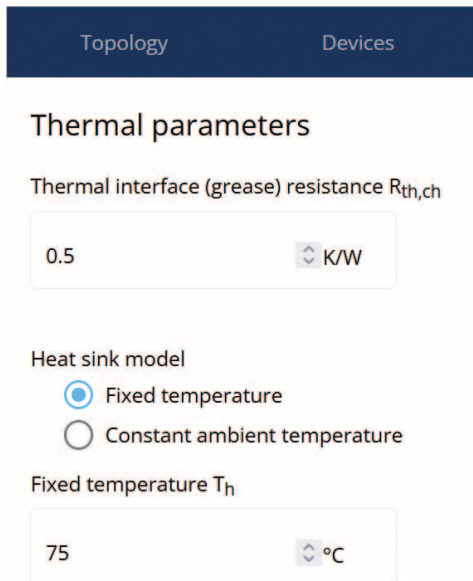
Turn-on gate resistance  $R_{g-on,ext}$   
  $\Omega$

Turn-off gate resistance  $R_{g-off,ext}$   
  $\Omega$

Use nominal or maximum  $R_{ds(on)}$ ?  
 Nominal  
 Maximum

**Рис. 6. Конфигурация силового транзистора**

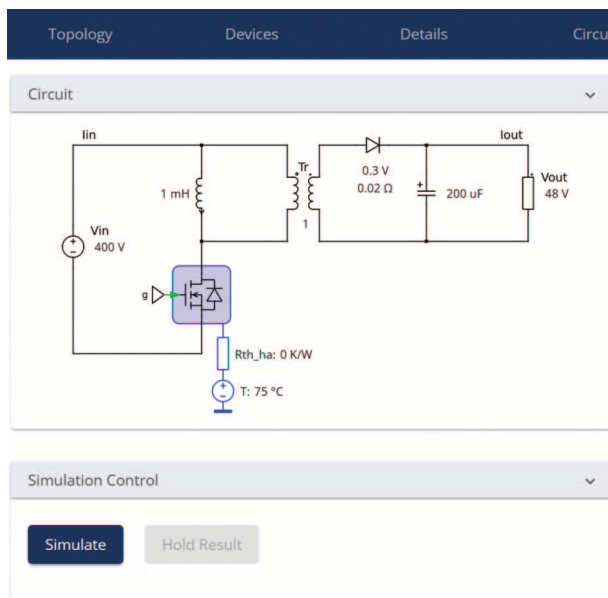




**Рис. 7. Страница выбора температурных параметров**

жающей среды, тепловое сопротивление и постоянную времени радиатора.

После нажатия кнопки в правом нижнем углу экрана (примерно через 15-20 секунд) открывается страница (рис. 8) с топологией и заданными пара-



**Рис. 8. Страница с топологией и заданными параметрами преобразователя**

метрами преобразователя.

Для получения результатов моделирования следует нажать кнопку Simulate и через несколько секунд на экран выводится информация, приведенная

на рис. 9.

Результаты моделирования иллюстрируются графиками изменения во времени напряжений и токов в различных точках преобразователя, а также графиком зависимости температуры перехода транзистора во времени.

Из полученных результатов следует, что при частоте преобразования 20 кГц получены следующие параметры:

- максимальная температура силового транзистора 99.4 °C при температуре окружающей среды 75 °C
- потери мощности транзистора на переключение 20.29 Вт
- потери мощности на диоде 51.51 Вт
- КПД составляет 96.29%.

Кроме того, выводится информация о потерях мощности на транзисторе при закрытом и открытом канале.

После нажатия кнопки в правом нижнем углу страницы открывается последняя страница на которой выведены все параметры преобразователя (на рис. 10 показан фрагмент этой страницы). Нажав на значок принтера, можно получить полную копию этой страницы в формате pdf или на бумаге.

На любом этапе работы с программой можно вернуться назад и поменять параметры моделирования. Конечно это предварительный расчет потенциальных возможностей такого преобразователя. Необходимо выбрать драйвер затвора, конденсаторы, катушку индуктивности и диоды с параметрами, указанными на рис. 9. Но если учесть, что моделирование занимает всего несколько минут, то использование этой программы позволит значительно сократить время для принятия решения о выборе силового транзистора и топологии преобразователя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [https://www.eejournal.com/industry\\_news/new-mplab-sic-power-simulator-allows-customers-to-test-microchips-sic-power-solutions-in-design-phase/](https://www.eejournal.com/industry_news/new-mplab-sic-power-simulator-allows-customers-to-test-microchips-sic-power-solutions-in-design-phase/)
2. <https://www.microchip.com/en-us/products/power-management/silicon-carbide-sic-devices-and-power-modules/design-resources/mplab-sic-power-simulator>
3. [https://ww1.microchip.com/downloads/en/Device-Doc/Microsemi\\_MSC015SMA070B\\_SiC\\_MOSFET\\_DataSheet\\_C.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/Device-Doc/Microsemi_MSC015SMA070B_SiC_MOSFET_DataSheet_C.pdf)

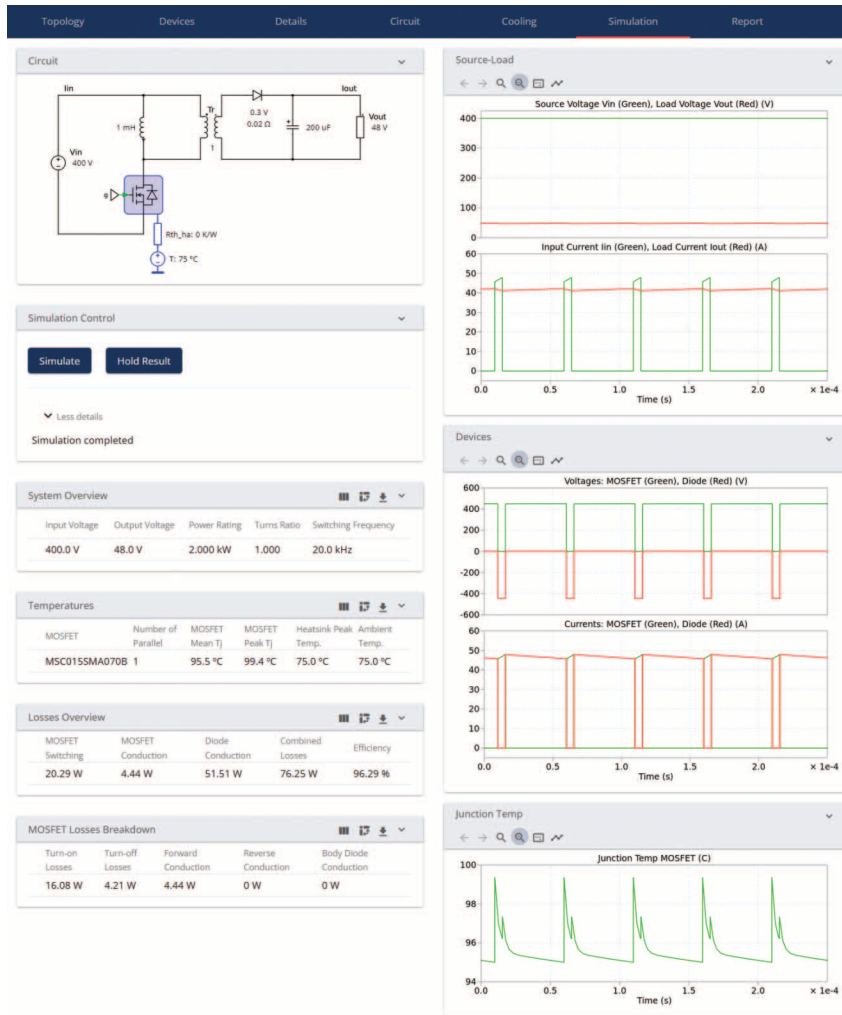


Рис. 9. Результаты моделирования понижающего DC/DC-преобразователя

Summary for Flyback Converter topology	
Parameter	MSC015SMA070B
Variables	
Selected part	MSC015SMA070B
Input voltage $V_{in}$	400 Vdc
Output voltage $V_{out}$	48 Vdc
Turns ratio n:1	1
Rated power $P_{out}$	2000 W
Number of parallel devices	1
Turn-on gate resistance $R_{g-on,ext}$	4 $\Omega$
Turn-off gate resistance $R_{g-off,ext}$	4 $\Omega$
Use nominal or maximum $R_{ds(on)}$ ?	Maximum
Magnetizing inductance L	1 mH
Load capacitance C	200 $\mu$ F

Рис. 10. Отчет о результатах моделирования понижающего DC/DC-преобразователя

# SYNAPTICS RESONATE – ИЗЛУЧАЮЩИЕ ЗВУК ЭКРАНЫ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

## SYNAPTICS RESONATE – SOUND-EMITTING SCREENS FOR IOT MOBILE DEVICES



14 марта 2023 г в Нюрнберге (Германия) на выставке Embedded World 2023 компания Synaptics® Incorporated объявила о разработке Synaptics Resonate™, революционном решении, которое использует поверхность дисплея в качестве излучателя. Благодаря пьезоэлектрическим преобразователям, расположенным на внутренней стороне дисплея, и специализированного усилителя, разработанного компанией, удалось не только улучшить качество звучания, но и улучшить интерактивное взаимодействие с пользователем. Synaptics Resonate уникальным образом обеспечивает тактильное распознавание касаний не только в плоскости экрана, но и позволяет определять силу нажатия на экран, что открывает новые возможности перед разработчиками программного обеспечения для устройств с чувствительными к касаниям экранами.

Инновационная технология позволяет создавать тонкие, безрамочные, пыле- и водонепроницаемые конструкции. Это позволяет разработчикам использовать преимущества Synaptics Resonate™ в приложениях промышленной, автомобильной и бытовой электроники, таких как телевизоры, интеллектуальные устройства, портативные медиаплееры, игрушки и игровые платформы, смартфоны, автомобильные дисплеи, мониторы и ноутбуки.

Synaptics Resonate заменяет громкоговорители, обычно используемые для воспроизведения звука, на пьезоэлектрические преобразователи, размещенные на задней части стекла дисплея. Они управляются запатентованным усилителем и алгоритмами, так что звук воспроизводится непо-

средственно поверхностью стекла, обеспечивая фронтальное излучение звуковых сигналов с высоким уровнем звукового давления и высокой верностью воспроизведения звука. Такой дизайн позволяет избежать размещения громкоговорителей на боковых или на нижних стенках устройств с тонким дизайном и улучшить восприятие звуковой картины.

Synaptics Resonate идеально подходит для небольших портативных устройств, встроенных дисплеев и снижает потребность в громкоговорителях и микро громкоговорителях в конструкциях, экономит площадь и объем конструкции, позволяет герметизировать конструкции корпуса для защиты от воды и пыли.

Применение Synaptics Resonate позволяет обеспечить:

- экономию до 80% энергии, расходуемой дисплеем и системами воспроизведения звука
- компактную герметичную конструкцию с защитой от пыли и влаги
- улучшенный пользовательский интерфейс
- снижение стоимости разрабатываемого изделия.

"Несмотря на то, что концепции поддержки воспроизведения звука дисплеями уже предлагались ранее, – сказал Винит Ганджу, вице-президент и генеральный директор подразделения Audio в Synaptics, – прорывные инновации Synaptics позволяют превзойти звуковые характеристики динамических громкоговорителей, уменьшить размеры и снизить потребляемую мощность. Впервые производители продуктов могут воспользоваться преимуществами пьезоэлектрических преобразователей звука и тактильных ощущений".

Те же преобразователи обеспечивают тактильную обратную связь, что приводит к более динамическому тактильному взаимодействию для игр и более точного управления приложениями различных систем. Поскольку датчики являются пьезоэлектрическими, их также можно использовать для определения давления по третьей оси управления для сенсорных интерфейсов. В совокупности они обеспечивают более четкое, отзывчивое и интуитивно понятное интерактивное взаимодействие для конечного пользователя.

Synaptics Resonate можно наносить на любую поверхность, чтобы превратить ее в интеллектуальную поверхность со звуком, тактильными ощущение-

ниями и сенсором давления.

[https://www.connect.synaptics.com/resonate-sur-](https://www.connect.synaptics.com/resonate-sur)

face-sound

<https://www.synaptics.com/company/news/synaptics-resonate-revolutionizes-audio-haptics-embedded->



[ От ремесла к искусству ]

# ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

## ■ проектирование

**Проектирование печатных плат в НПФ VD MAIS – это:**

- многолетний опыт конструирования и знание специфики:
  - разработки электронных устройств
  - технологии производства печатных плат
  - различных CAD-CAM систем проектирования (P-CAD, Mentor Graphics, CAM-350 и пр.)
- полная реализация возможностей изготовителя печатных плат и контрактного производства VD MAIS
- качество работы, соответствующее ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.

**VD MAIS**  
ДИСТРИБЬЮЦИЯ+  
КОНТРАКТНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 283-8246, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua

**VD MAIS**  
PCB Professionally





# Технологические материалы фирм AIM и Electrolube



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

**ELECTROLUBE**  
THE SOLUTIONS PEOPLE

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

# ЭКиС

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) 201-0202, 492-8852  
Факс: (+38-044) 202-1110  
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) 201-0202, 492-8852  
fax: (+38-044) 202-1110