

# содержание ЭК №7/2021

## БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6 Николай Каримов  
**LTE CAT-1, или всё в одном**

## РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ

12 Кен Ворин, Дитмар Рувиш, Ю Ду  
**Цифровые микрофоны и технология A2B: новый уровень производительности для современных автомобильных приложений**

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

18 Николай Лемешко, Михаил Горелкин, Павел Струнин  
**Экспериментальный анализ устойчивости реле к импульсным помехам средствами измерений Rohde&Schwarz**

## ИСПЫТАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ

28 Владимир Веревкин, Денис Малый, Юрий Арнаутов  
**Особенности измерения динамических параметров IGBT-модулей**

## СЕТИ И ИНТЕРФЕЙСЫ

34 Винсент Хаше  
**Реализация всего потенциала технологии GPUDirect Storage с помощью ИС коммутаторов**

## ИСТОЧНИКИ И МОДУЛИ ПИТАНИЯ

38 Дэвид Бак  
**Выбор вентилятора для охлаждения источника питания**

[www.elcp.ru](http://www.elcp.ru)

Руководитель направления «Разработка электроники» и главный редактор **Леонид Чанов**;  
редакторы: **Владимир Фомичёв**; **Леонид Чанов**; **Екатерина Самкова**;  
редакционная коллегия: **Владимир Фомичёв**; **Леонид Чанов**; реклама: **Антон Денисов**; **Елена Живова**;  
распространение и подписка: **Марина Панова**, **Василий Рябишников**; директор издательства: **Михаил Симаков**

**Адрес издательства:** Москва, 115114, ул. Дербеневская, д. 1, п/я 35, **тел.:** (495) 741-7701; **факс:** (495) 741-7702; **эл. почта:** [info@elcp.ru](mailto:info@elcp.ru), [www.elcp.ru](http://www.elcp.ru)

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА:** **Мир электроники (Самара):** 443080, г. Самара, ул. Революционная, 70, литер 1; **тел./факс:** (846) 267-3139, 267-3140; **e-mail:** [info@eworld.ru](mailto:info@eworld.ru), [www.eworld.ru](http://www.eworld.ru). **Радиоэлектроника:** 620107, г. Екатеринбург, ул. Гражданская, д. 2, **тел./факс:** (343) 370-33-84, 370-21-69, 370-19-99; **e-mail:** [info@radioel.ru](mailto:info@radioel.ru), [www.radioel.ru](http://www.radioel.ru). **ЭЛКОМ (Ижевск):** г. Ижевск, ул. Ленина, 38, офис 16, **тел./факс:** (3412) 78-27-52, **e-mail:** [office@elcom.udmlink.ru](mailto:office@elcom.udmlink.ru), [www.elcompany.ru](http://www.elcompany.ru). **ЭЛКОТЕЛ (Новосибирск):** г. Новосибирск, м/р-н Горский, 61; **тел./факс:** (3832) 51-56-99, 59-93-31; **e-mail:** [info@elcotel.ru](mailto:info@elcotel.ru), [www.elcotel.ru](http://www.elcotel.ru). **Издательство «Электроника инфо»:** 220015, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Пушкина 29Б. **Тел./факс:** +375 (17) 204-40-00. **E-mail:** [electronica@nsys.by](mailto:electronica@nsys.by), [www.electronica.by](http://www.electronica.by).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory». Использование материалов возможно только с согласия редакции. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Электронные компоненты» обязательна. Ответственность за достоверность информации в рекламных объявлениях несут рекламодатели.

Индекс для России и стран СНГ по каталогу агентства «Роспечать» — 47298, индекс для России и стран СНГ по объединенному каталогу «Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы» — 39459. Свободная цена. Издание зарегистрировано в Комитете РФ по печати. ПИ №77-17143. Издание зарегистрировано на Украине, свидетельство о государственной регистрации КВН№17602-6452 ПР.

Дата выхода номера 12.07.2021 г.

Учредитель: ООО «ИД Электроника». Тираж 6000 экз.

Отпечатано в типографии «Премиум Пресс»  
197374, Санкт-Петербург, ул. Оптиков, 4

19-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

# ChipEXPO-2021

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ



## ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО»  
Москва, 121351,  
ул. Ярцевская, д.4.  
Тел.: +7 (495) 221-50-15  
E-mail: info@chipexpo.ru  
http://www.chipexpo.ru

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ



# 14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА



# СКОЛКОВО

## ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
  - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции (Постановление Правительства РФ №878)
  - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (Постановление Правительства РФ №109)
  - экспозицию разработок, обеспечивающих выполнение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Стартапы в электронике
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ  
ПОДДЕРЖКА:



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ



РЕКЛАМА

42 По материалам компании Renesas

**Обеспечение безопасности литий-ионных  
аккумуляторных батарей**

46 Тим Ху

**Любой вариант на выбор: представляем  
преобразователи USB-PD мощностью 65 Вт**

## АНАЛОГОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

52 Алексей Чистяков

**Операционные усилители с входным  
дифференциальным каскадом  
на биполярных супер-бета транзисторах**

## АЦП И ЦАП

56 Абхилаша Кол, Роберто Морино

**Особенности архитектуры CTSD прецизионных  
АЦП: входной каскад и ИОН стали проще**

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ И МИКРОПРОЦЕССОРЫ

62 Игорь Желобов

**Цифровые сигнальные процессоры семейства  
ADSP-2156x компании Analog Devices**

66 Андрей Чистохвалов

**Микроконтроллеры семейства S32G2  
компании NXP**

72 Вячеслав Сенников

**Микроконтроллеры для управления  
электроприводом**

## СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

78 Татьяна Колесникова

**Проектирование системы охлаждения  
электронного узла в программной  
среде Simcenter FloEFD 2021**

## СПРАВОЧНЫЕ СТРАНИЦЫ

90 Новинки месяца. Редакционный обзор

# contents #7 / 2021

## ELECTRONIC COMPONENTS # 7 / 2021

### WIRELESS

6 Nikolay Karimov

**Why LTE Cat-1 is Transforming Cellular Connectivity**

### DESIGN AND DEVELOPMENT

12 Ken Waurin, Дитмар Рувиш, Yu Du

**How A2B Technology and Digital Microphones Enable Superior Performance in Emerging Automotive Applications**

### EMC

18 Nikolay Lemeshko, Mikhail Gorelkin and Pavel Strunin

**Experimental Analysis of Noise Immunity of AC Solid-state Relays with Instruments of Rohde&Schwarz**

### TESTING

28 Vladimir Verevkin, Denis Maly and Yuri Arnautov

**Measuring the Dynamic Parameters of IGBT Modules**

### NETWORKS AND INTERFACES

34 Vincent Haché

**Exploiting the Full Potential of GPU Direct Storage with PCIe Fabrics**

### POWER SUPPLIES

38 David Buck

**Which Airflow Direction for Power Supply Fan Cooling?**

42 Renesas White Paper

**Putting Safety into Li-ion Battery Packs**

46 Tim Hu

**Variations to Perform: Introducing 65 W USB-PD Designs**

### ANALOGUE

52 Alexey Chistyakov

**Operational Amplifiers with Differential Input Stage Using Bipolar Super Beta Transistors**

### ADC AND DAC

56 Abhilasha Kol and Roberto Maurino

**CTSD Precision ADCs – Part 4: Ease of ADC Input and Reference Drive Simplify Signal Chain Design**

### MICROCONTROLLERS AND MICROPROCESSORS

62 Igor Zhelobov

**ADSP-2156x DSP from Analog Devices**

66 Andrey Chistokhvalov

**S32G2 Microcontrollers from NXP**

72 Vyacheslav Sennikov

**Microcontrollers for Motor Drive Control**

### DEVELOPMENT TOOLS

78 Tatiana Kolesnikova

**Designing a Cooling System for an Electronic Module in the Simcenter FloEFD SDE 2021**

### REFERENCE PAGES

90 **Newly-Designed Products.**

**Monthly Editorial Review**