A photograph showing several clear, faceted LED optical components, likely lenses or lenses, arranged on a dark surface. One component is illuminated from above, casting a bright glow. The background is dark with a vertical red stripe on the right side.

СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDiL

LEDiL®

В номере:

- Система сбора данных для высокотемпературных применений
- Миниатюрный генератор белого шума
- Особенности построения изолированных драйверов ключей
- Цифровое сжатие динамического диапазона АЦП
- LED-драйверы для мощной вспышки
- Новые мощные драйверы светодиодов компании Mean Well
- Блоки питания компании Mean Well мощностью 3200 Вт
- Активный выпрямитель с защитой от обратного напряжения
- **Светодиодная оптика компании LEDiL. Визуализация КСС**
- Программа моделирования электронных схем LTspice, часть 4
- DC/DC-преобразователь со сверхнизким потреблением для IoT



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

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ

2018 июль-сентябрь № 3 (223)

МАССОВЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



Учредитель и издатель:
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА VD MAIS

Зарегистрирован Министерством информации Украины 24.07.96 г.
Свидетельство о регистрации: серия КВ, № 2081Б
Издается с мая 1996 г.

Директор фирмы VD MAIS:
В.А. Давиденко

Главный редактор:
В.А. Романов

Редакционная коллегия:
В.А. Давиденко
В.В. Макаренко
В.Р. Охрименко
Д-р Илья Брондз,
факультет биологии
Университета г. Осло, Норвегия

Адрес редакции:
Украина, Киев,
ул. М. Донца, 6
Тел.: (0-44) 492-8852, 220-0101
Факс: (0-44) 220-0202
E-mail: ekis@vdmajs.ua
Интернет: www.vdmajs.ua
www.ekis.kiev.ua

Адрес для переписки:
Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6

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

В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКУ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Т. Бренд
Насколько важна четвертая промышленная революция – Industry 4.0 – для электроники?3
Дж. Ватсон, М. Паччигар
Надежная и точная система сбора данных и управления для высокотемпературных применений6
Я. Жанг, Дж. Эши
Высококачественные контроллеры для термоэлектрических кулеров в системах оптических телекоммуникаций8
А. Шульц, П. Хаак
Миниатюрный генератор белого шума для оперативного тестирования электронных схем11
С. Сапре
Особенности построения изолированных драйверов ключей13
С. Хант
О возможности программирования коэффициента усиления в измерительном усилителе15
К. Локере
Можно ли использовать прецизионный невысокого быстродействия усилитель в качестве драйвера быстродействующего 18-разрядного АЦП?16
Цифровое сжатие динамического диапазона поразрядного АЦП18
Т. Армстронг
Импульсный DC/DC-преобразователь с малыми электромагнитными помехами для электронных систем управления автомобилем19
Ф. Достал
Об оптимизации измерения параметров импульсного стабилизатора напряжения21
К. Жолуша, К. Лоуренс
LED-драйверы для мощной вспышки в системах машинного зрения22

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ
В. Котигорошко
Новые мощные драйверы светодиодов компании Mean Well: HVGC-650/48025
В. Котигорошко
Блоки питания компании Mean Well мощностью 3200 Вт29
В. Макаренко
Контроллер активного выпрямителя с защитой от обратного напряжения34

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
В. Охрименко
Светодиодная оптика компании LEDiL. Визуализация КСС ..39

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
В. Макаренко
Программа моделирования электронных схем LTspice часть 452

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В. Макаренко
Понижающий DC/DC-преобразователь со сверхнизким потреблением для IoT63

ASK THE APPLICATIONS ENGINEER

T. Brand
How Important Is Industry 4.0 for the Electronics Industry? ..3
 J. Watson, M. Pachchigar
A Robust Precision Data Acquisition and Control Platform for Extreme High Temperature Environment 6
 Y. Zhang, J. Ashe
Designing a High Performance TEC Controller 8
 A. Shultz, P. Haak
Pocket-Size White Noise Generator for Quickly Testing Circuit Signal Response 11
 S. Sapre
Isolated Gate Drivers – What, Why, and How?..... 13
 S. Hunt
Home on the Range: Getting Multiple Gain Ranges with Instrumentation Amplifiers 15
 K. Lokere
Can a Slow, Precision Op Amp Drive a Fast 18-bit SAR ADC? 16
Digital Gain Compression (DGC) for SAR ADCs 18
 T. Armstrong
Low EMI/EMC Emission Switching Converter Eases ADAS Designs 19
 F. Dostal
Optimized Power Supply Measurement Setup 21
 K. Szolusha, K. Lowrence
LED Driver for High Power Machine Vision Flash 22

POWER SUPPLIES

V. Kotigoroshko
New Mean Well LED power supply: HVGC-650/480 25
 V. Kotigoroshko
Power supply: DPU-3200/DRP-3200 29
 V. Makarenko
Active rectifier controller with reverse voltage protection ..34

OPTOELECTRONIC COMPONENTS

V. Okhrimenko
Optic modules of LEDiL. Visualization of radiation patterns 39

MODELING ELECTRONIC DEVICES

V. Makarenko
The software for modeling electronic circuits LTspice, part 4 52

NEW TECHNOLOGIES

V. Makarenko
Step-down DC/DC Converter with ultralow consumption for IoT 63



ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS

July-September 2018
 No. 3 (223)

Scientific and Technical Journal

Founder and Publisher:
 Scientific-Production Firm
VD MAIS

Director
 V.A. Davidenko

Head Editor
 V.A. Romanov

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

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

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

НАСКОЛЬКО ВАЖНА ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ – INDUSTRY 4.0 – ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ? *

HOW IMPORTANT IS INDUSTRY 4.0 FOR THE ELECTRONICS INDUSTRY?

Особенности четвертой промышленной революции (Industry 4.0) в электронной промышленности рассмотрены в настоящей публикации.

Т. Бренд

Abstract - *A part of the larger Internet of Things – also known as Industry 4.0 for electronic industry – is considered in the article.*

T. Brand

Известно, что современная промышленность развивается в направлении цифровизации и в недалеком будущем станет неотъемлемой частью цифровой экономики. “Умные” фабрики, киберфизические системы, Интернет вещей – это объекты четвертой промышленной революции, получившей название Industry 4.0. Однако практически никто точно не знает, что скрывается за термином Industry 4.0. Несмотря на множество интерпретаций этого термина, точные определения отсутствуют. Для многих пользователей изменения, связанные с Industry 4.0, уже стали повседневной реальностью. Многие развитые страны ощутили позитивные изменения в своих экономиках, выразившиеся в росте конкурентоспособности производств и уровня инноваций. В этих странах наметился рост как компаний, производящих товары и услуги, так и компаний-потребителей этих товаров и услуг, причем, в первую очередь, в инженерном сегменте промышленности. С другой стороны, получили новый импульс компании, использующие интеллектуальные технологические процессы для производства своих товаров. Таким образом, Industry 4 не только развивает новые технологии, но и области производства, ускоряя динамику производства сложных изделий и создавая новые рынки сбыта.

Мировые лидеры в области производства электронных компонентов, такие как Analog Devices, уже трансформируют свои производства в направлении полной автоматизации интеллектуальных функций, идя по пути создания “умных” производств. При этом следует хорошо представлять, какую цену придется заплатить за рост производительности труда. Революция Industry 4 предполагает не только изменения в сфере производства, но и изменения в самой бизнес-модели такого производства. Из этого следует, что революция Industry 4 распростра-

няется на три области производственной деятельности: на новые технологии, новые товары и новые бизнес-модели. Эти три направления включают все звенья производства, в том числе производственные процессы и товары, начиная от сенсоров и до облачных технологий, рис. 1.



Рис. 1. Структура современной производственной системы

В общем случае приведенная структура включает блок с сенсорами и исполнительными механизмами, который непосредственно связан с реальным миром, причем сигналы в этом блоке распространяются в среде с высоким уровнем шумов и помех. Их следует преобразовать в блоке облачных технологий, где они анализируются и интерпретируются. Отметим, что Industry 4.0 предполагает, прежде всего, серьезные изменения в первом блоке, в котором практически полностью должны происходить все необходимые преобразования и обработка сигналов, как показано на рис. 2. Широкое применение интеллектуальных или смарт-сенсоров позволит снизить их энергопотребление, повысить устойчивость к помехам, обеспечивая переход к Интернету вещей реального времени. Существенную роль в производстве электронных компонентов будет играть энергоэффективность, причем производители электронных компонентов будут заняты не только проектированием собственно компонентов, но и

* Brand T. How Important Is Industry 4.0 for the Electronics Industry? www.analog.com. Engineer Zone. www.analog.com. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.



Рис.2. Структура производственной системы завтрашнего дня

созданием новых технологических процессов. К этому следует добавить, что ведущие производители электронных компонентов будут поставлять на рынок свои изделия вместе с необходимым ПО, причем в состав такого ПО будут включены алгоритмы для анализа данных, что снизит нагрузку на сети и облачные технологии в целом.

Рассмотрим подробнее требования рынка Интернета вещей к производителям электронных компонентов. Прежде всего, производители электронных компонентов должны адаптировать свои предприятия и, соответственно, производимые ими изделия к требованиям “умных” фабрик, для которых эти изделия производятся. Основной тенденцией является повышение интеллектуальности и энергоэффективности электронных компонентов, включая функциональную и информационную безопасность. Примером такого изделия может служить си-

стема, приведенная на рис. 3, которая включает выполненный по MEMS-технологии акселерометр ADXL356. Это экономичный, маломощный трехосный акселерометр со сверхнизким дрейфом смещения нуля. Благодаря герметичному корпусу акселерометр может измерять угол наклона в тяжелых промышленных условиях, длительно работать в системах с батарейным питанием, включая беспроводные сенсорные сети. Беспроводный интерфейс поддерживает работу в таких стандартах как Ethernet, 6LoWPAN или WirelessHART. Два последних стандарта обеспечивают надежную защиту передаваемых данных благодаря использованию улучшенного стандарта блочного шифрования AES-128, поддерживающего 128-разрядные ключи, причем количество узлов с акселерометрами в такой системе может достигать 50 000. Следует отметить важность поддержки кибербезопасности (cyber security solution – CSS) новых систем и на технологическом уровне. Таким образом, производители электронных компонентов уже в ближайшем будущем будут поставлять на рынок не отдельные компоненты, а “умные” системы в корпусе (System in Package – SiP).

Компания Analog Devices использует MEMS-технологии не только в акселерометрах, но и в сверхбыстрых ключах типа ADGM1304. Выполненные в одном корпусе с драйверами, эти ключи могут работать в диапазоне от сверхнизких частот до 14 ГГц, что позволяет использовать их в радиочастотных каналах, а также для замены электромеханических

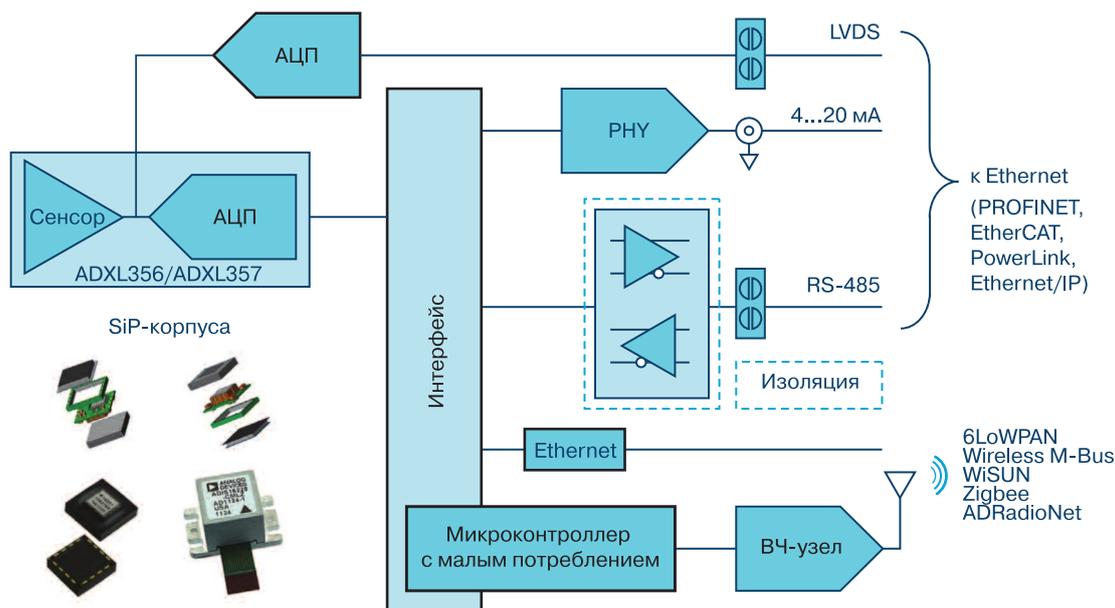


Рис. 3. Типовая структура смарт-сенсора

реле и т.п. Таким образом, объединение нескольких технологических процессов в одном изделии позволяет существенно расширить области его применения.

Сегодня потребители электронных компонентов проявляют серьезный интерес к прикладному ПО. Это, прежде всего, отладочное ПО, а также прикладное ПО для типовых применений электронных компонентов и “умных” систем на их основе. Наличие такого ПО на рынке электронных компонентов позволяет ускорить проектирование инновационных изделий. Следует отметить, что не все производства готовы к требованиям революции Industry 4. Пройдет еще много времени, прежде чем настоящему “умные” фабрики заменят сегодняшние производства. Производители электронных компонентов, прежде всего, должны стремиться к переходу на системный уровень, т.е. предлагать потребителям не просто компоненты, а “умные” системы на их основе, выполненные в одном корпусе. Несмотря на эти тенденции, ожидать в ближайшее время быстрого роста рынка электронных компонентов не приходится. Времена ежегодного прироста этого рынка на 30-40% ушли в прошлое. Средний рост

рынка электронных компонентов в ближайшие 5 лет прогнозируется на уровне 3-4%. Ведущие производители уже сейчас должны задуматься над тем, как изменить к лучшему эту тенденцию. Новыми направлениями, которые могут повысить показатели роста, по мнению специалистов, должны стать микроэлектронные технологии с применением ИМС нитрида-галлия (GaN) и “умных” систем в корпусе (SiC). Как уже отмечалось, развивающийся рынок Интернета вещей будет заинтересован не только в новых электронных компонентах, но также и в “умных” системах, включающих ПО и необходимые сервисы. Это приведет к тому, что для удовлетворения требованиям рынка малые и небольшие компании должны будут объединяться в специальные кластеры с крупными производителями.

В заключение отметим, что благодаря революции Industry 4, крупные фирмы, специализирующиеся на производстве электронных компонентов, в недалеком будущем преобразуют свои производства в “умные” фабрики, которые будут поставлять на рынок новые, более совершенные изделия, что, как ожидается, приведет эти компании к новым успехам.



GSM | GPRS встроены

GL865-Dual V3.1 GSM/GPRS модуль

- пригоден для обновления проектов с использованием модулей серии GL865
- рекомендован для новых разработок в сетях 2G
- рекомендован как платформа для приложений с ультранизким энергопотреблением
- идеальное решение для применения в системах охранной сигнализации, счетчиках с дистанционным мониторингом, POS-терминалах
- простое решение для разветвленных проектов мониторинга и контроля движения транспортных средств с помощью комбинированных GPS или GPS/ГЛОНАСС приемников
- полная SMT-платформа для решений m2m, работающих в приложениях пользователей модулей со встроенным интерпретатором скриптов Python
- **сертифицирован в Украине и соответствует требованиям Технического регламента радиоборудования.**

Возможность работы с модулями близкой связи



и GNSS модулями



Готов для подключения Интернета Вещей



IoT МОДУЛИ



IoT ПОДКЛЮЧЕНИЕ



IoT ПЛАТФОРМЫ



IoT ЗНАНИЕ



VD MAIS – официальный дистрибьютор компании Telit в Украине

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

НАДЕЖНАЯ И ТОЧНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ *

A ROBUST PRECISION DATA ACQUISITION AND CONTROL PLATFORM FOR EXTREME HIGH TEMPERATURE ENVIRONMENT

В статье представлена новая высокотемпературная и точная система сбора и обработки данных, работающая при температуре до 200 °С.

Abstract – In this article it is introduced a new high temperature, precision data acquisition and processing platform designed to operate at 200 °C.

Дж. Ватсон, М. Паччигар

J. Watson, M. Pachchigar

В сложном промышленном оборудовании необходимо использовать точные электронные системы, позволяющие надежно работать в условиях высоких температур. К такому оборудованию относятся энергетические системы, электродвигатели, в которых из-за ограниченных размеров практически невозможно расположить системы, осуществляющие отбор избыточного тепла. Такие же требования применяются к электронному оборудованию в авиации, автомобильной и тяжелой промышленности. При проектировании систем сбора данных, предназначенных для работы при высоких температурах, следует учитывать особенности сборки аналоговых интерфейсов, микроконтроллеров и других устройств в их составе. При разработке такие системы первоначально должны быть изготовлены в виде тестовых образцов для изучения их работы в лабораторных условиях. Как правило, данные системы должны быть устойчивы к воздействию агрессивных газообразных и жидких сред, хотя их основное назначение состоит в надежной работе в условиях высоких температур.

Измерительное оборудование для разведки полезных ископаемых, таких как нефть или газ, включает прецизионные системы сбора данных и управления. Эти системы содержат множество разнотипных датчиков, которые работают на больших глубинах. Это могут быть акселерометры, магнитометры, гироскопы, которые снимают информацию о положении и скорости движения бура. Типовая температура в скважине может достигать 175 °С и выше. Кроме того, такие системы имеют автономное пита-

ние, поэтому их потребление должно быть сведено к минимуму, а их конструкция должна отвечать специальным требованиям. Пример печатной платы в сборке для работы в геологических скважинах приведен на рис. 1.



Рис. 1. Высокотемпературная система сбора данных и управления в сборе на печатной плате

Эта плата помещается в специальный корпус, выполненный в виде трубки, выдерживающей большое внешнее давление, рис. 2.

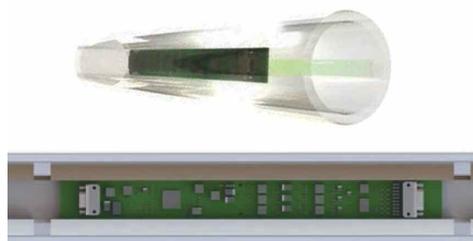


Рис. 2. Конструктивное исполнение высокотемпературной системы сбора данных и управления

Таким образом, данная система включает аналоговый интерфейс и микроконтроллер с низким потреблением. В качестве измерительного ядра в ней используется поразрядный АЦП AD7981. Пре-

* Watson J., Pachchigar M. A Robust Precision Data Acquisition and Control Platform for Extreme High Temperature Environment. Analog Dialogue, 52-03, March, 2018. www.analogdialogue.com. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

образователь имеет два независимых параллельных канала, а к третьему подключен 8-канальный мультиплексор ADG798, рис. 3.

Через SPI-порты АЦП подключен к микроконтроллеру VA10800 с ARM-Cortex®-M0 ядром. Размеры печатной платы этой системы, рис. 1, 2, составляют 11.4×1.1 дюйма. Система сбора данных надежно функционирует при температуре 200 °С. Схема входного усилителя типа AD8634HFZ с обрамлением приведена на рис. 4. Разрешение АЦП AD7981 составляет 16 бит, максимальная частота выборки 600 кГц, типовая интегральная нелинейность ±0.6 ЕМР. Предусмотрено, что между соседними циклами измерения АЦП может автоматически переходить в спящий режим. Как было отмечено, все элементы конструкции и материалы системы сбора данных и управления предназначены для работы при температуре 200 °С.

Кратко остановимся на особенностях компонентов системы. Для фильтров нижних частот использованы конденсаторы типа COG и NPO, которые имеют низкий температурный коэффициент ТКЕ. Керамические конденсаторы, отличающиеся малым коэффициентом теплового расширения, используются для развязки цепей питания на печатной плате. Высокотемпературные танталовые конденсаторы используются как накопители энергии. В качестве резисторов использованы тонкопленочные серии ПАТТ, а также толстопленочные резисторы, если нужно обеспечить необходимую величину сопротивления при минимальных размерах резистора. В качестве высокотемпературных разъемов использованы разъемы типа Micro-D. Для защиты от перекрестных помех использован коаксиальный кабель. Материалом печатной платы является по-

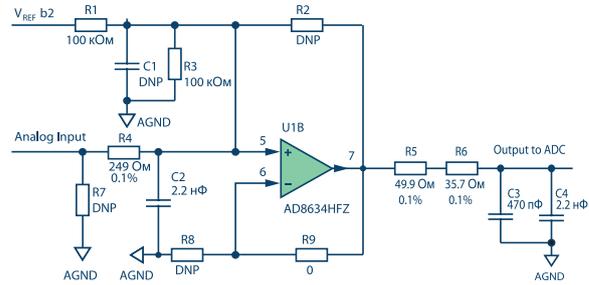


Рис. 4. Драйвер АЦП на основе усилителя AD8634HFZ

лиимид толщиной 0.093 дюйма. Тип припоя для сборки печатной платы – Sn95/Sb05 с температурой плавления свыше 230 °С. Испытания нескольких образцов системы осуществлялись при температуре 200 °С в течение 200 часов. Зависимости SNR (отношение сигнал/шум) и SINAD (отношение сигнал/шум плюс искажения) АЦП от температуры приведены на рис. 5. Зависимость тока потребления от температуры приведена на рис. 6. Потребление устройства в целом при нормальной температуре составляет 155 мВт, а при температуре 200 °С – 225 мВт.

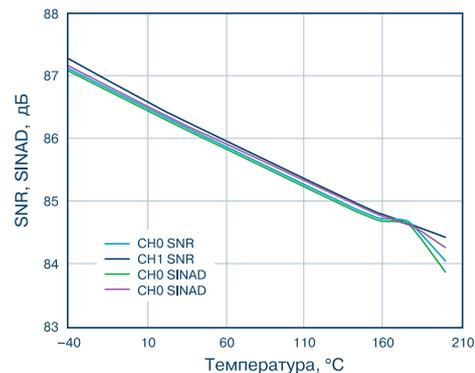


Рис. 5. Зависимость SNR и SINAD высокотемпературной системы сбора данных и управления от температуры

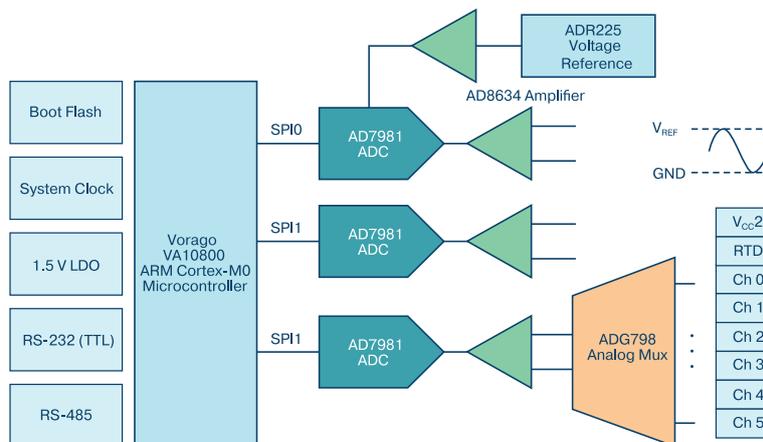


Рис. 3. Функциональная схема высокотемпературной системы сбора данных и управления

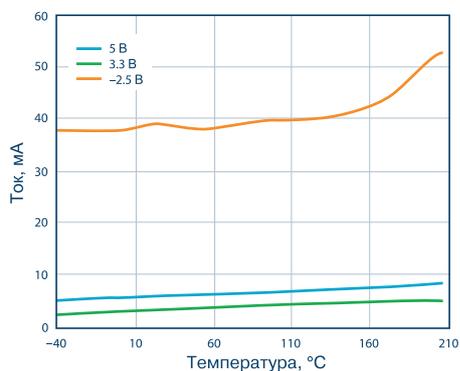


Рис. 6. Зависимость тока потребления высокотемпературной системы сбора данных и управления от температуры

ВЫВОДЫ

1. Высокотемпературная электроника, позволяющая надежно работать системам сбора данных и управления при температурах 200 °C и выше, широко востребована в тяжелой, добывающей, автомобильной и авиационной промышленности.

2. Компания Analog Devices разработала типовую систему сбора данных и управления EV-HT-200CDAQ1, предназначенную для работы при высокой температуре до 200 °C.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КУЛЕРОВ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ *

Управление температурным режимом является важной задачей при проектировании оптических систем телекоммуникаций. Выбор оптимального контроллера для этой задачи позволит обеспечить высокие параметры телекоммуникационной системы в целом.

Я. Жанг, Дж. Эши

DESIGNING A HIGH PERFORMANCE TEC CONTROLLER

Abstract – Temperature control is an important task in the design of optical communication systems. Choosing a right TEC controller chip will help to achieve a high performance design.

Y. Zhang, J. Ashe

Параметры полупроводниковых лазеров в телекоммуникационных системах, которые используются в передатчиках или применяются в оптических усилителях как источники энергии, существенно зависят от температуры окружающей среды. Это касается в первую очередь длины волны и выходной мощности. Длина волны каждого лазера должна находиться в определенном оптическом окне, чтобы оптический демультиплексор мог отличить один лазерный луч от другого в одном световоде. В эрбиевых оптических усилителях полупроводниковый лазер используется как лазер накачки. Кроме того, пассивные оптические компоненты, такие, например, как фильтры или волноводы, тоже чувствительны к изменению температуры. Поэтому для стабилизации параметров оптических телекоммуникационных систем необходимо поддерживать температуру окружающей среды в заданном диапазоне.

Термоэлектрический кулер на основе эффекта

Пельтье может обеспечивать нагрев и охлаждение окружающей среды в телекоммуникационных системах. По сравнению с другими устройствами устройства на основе эффекта Пельтье имеют следующие преимущества: легко управляют температурой окружающей среды в небольших объемах, имеют небольшие размеры, не имеют подвижных компонентов, не излучают шумы и имеют большой срок эксплуатации. Постоянное напряжение прикладывается к двум сторонам такого кулера. В зависимости от направления тока одна сторона кулера вырабатывает тепло, а другая холод. Размеры кулера на основе эффекта Пельтье составляют от 2×2×1.5 мм до 50×50×4 мм. Большинство кулеров на основе эффекта Пельтье, которые используются в оптических системах телекоммуникаций, имеют размеры от 5×5×2 мм до 10×10×3 мм. Диапазон потребляемой мощности кулера составляет от 0.5 до 16 Вт, диапазоны напряжений находится в пределах

* Zhang Y., Ashe J. Designing a High Performance TEC Controller. www.analog.com.
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

от 1 до 5 В. В идеальных Пельтье-кулерах стабилизация температуры может достигать 0.00001°C. В оптических телекоммуникационных системах диапазон управления температурой может задаваться в пределах $\pm 0.02 \dots 0.1$ °C, что определяется типом лазера и диапазоном длин волн. Требования к стабилизации температуры пассивных оптических компонентов имеют более широкий температурный диапазон: от ± 0.001 до ± 5 °C.

На рис. 1 приведена структурная схема контроллера для управления термоэлектрическим кулером. Температурный сенсор (Temperature Sensor) измеряет температуру на холодной стороне кулера. Как правило, в качестве чувствительного элемента сенсора используется термистор. Дифференциальный усилитель (Difference Amplifier) сравнивает напряжение на входе термистора, соответствующее текущему значению температуры, с опорным напряжением, соответствующим заданному значению температуры. Усиленное разностное напряжение с выхода усилителя поступает в узел компенсации (Compensation Network), в котором учитывается запаздывание переноса тепла по фазе. Если окажется, что измеренная температура ниже заданной, драйвер кулера на основе H-моста (H-Bridge) обеспечит увеличение температуры окружающей среды так, чтобы она стала равной заданной. Отметим, что термисторы, используемые в температурном сенсоре, имеют временной дрейф $\pm 0.1\%$ в год и погрешность измерения $\pm 1\%$. Для более точного измерения температуры могут быть использованы платиновые термометры сопротивления. Компания Analog Devices выпускает семейство контроллеров для управления термоэлектрическими кулерами типа: ADN8835, ADN8834 и др. Функциональная схема контроллера соответствует схеме, приведенной на рис. 1. К основным преимуществам контроллера относятся следующие: выделение минимально необходимого тепла для нагрева окружающего пространства, уменьшение мощности потребления ку-

лера и, как правило, снижение температуры окружающей среды, что повышает надежность системы, уменьшение размеров системы управления связи с отсутствием дополнительных теплоотводов.

Для оптимизации параметров контроллера необходимо, чтобы он обеспечивал высокую температурную стабильность, высокий КПД, минимальные пульсации тока нагрева, имел дружественный интерфейс, малые размеры печатной платы, поддерживал функции мониторинга параметров и обеспечивал индикацию обнаруженных отказов. При этом контроллер должен иметь невысокую стоимость. Обеспечение высокого КПД достигается выбором соответствующей частоты коммутации, при этом минимизируются размеры индуктивности и конденсатора выходного фильтра и, как следствие, размеры печатной платы. На рис. 2 приведена зависимость размеров печатной платы контроллера от частоты коммутации.

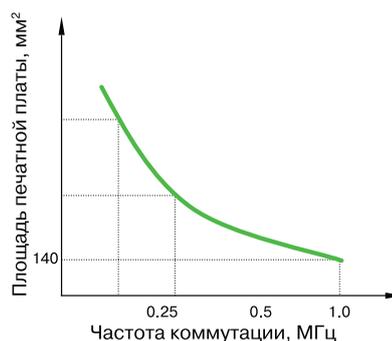


Рис. 2. Зависимость размеров печатной платы контроллера от частоты коммутации

Зависимость КПД контроллера от частоты коммутации приведена на рис. 3. Для обеспечения высокой точности и температурной стабильности параметров контроллер содержит auto-zero усилитель с напряжением смещения нуля 1 мкВ, который имеет высокую, температурную стабильность (Long-Term Stability) не хуже ± 0.01 °C. При уменьшении частоты

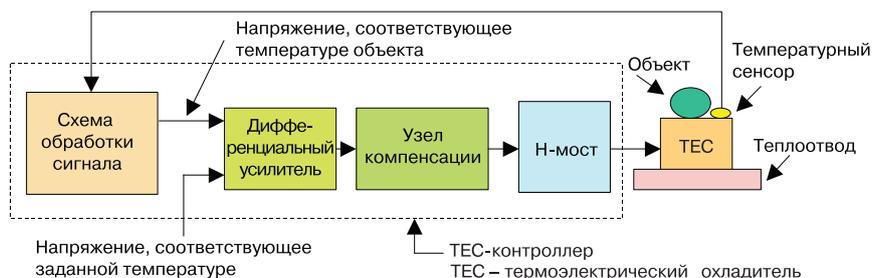


Рис. 1. Функциональная схема контроллера для термоэлектрического кулера

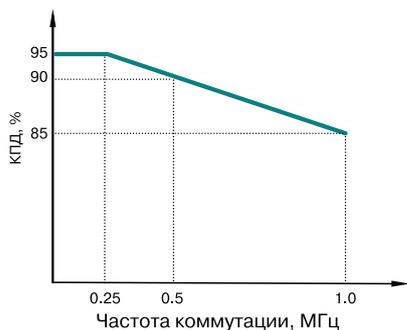


Рис. 3. Зависимость КПД контроллера от частоты коммутации

коммутации растет уровень пульсаций, если при этом параметры фильтра остаются без изменения. Для того, чтобы уровень пульсаций не превышал заданную величину, при уменьшении частоты коммутации следует увеличивать индуктивность и емкости выходного фильтра, как показано на диаграмме (рис. 4).

Введение цепей коррекции в контроллер может привести к снижению температурной стабильности. Поэтому при использовании внешних цепей коррекции для повышения быстродействия усилителя следует учитывать их влияние на температурную стабильность в целом. Температурные контроллеры могут быть объединены в мультисистему, в которой синхронизируется частоты коммутации нескольких контроллеров. В температурных контроллерах



Рис. 4. Зависимость индуктивности и емкости фильтра от частоты коммутации при заданном уровне пульсаций тока контроллера

предусмотрена функция мониторинга, обеспечивающая слежение за заданной температурной погрешностью, максимальной величиной тока, режимом включения/выключения и т.д. Кроме того, предусмотрена индикация отказов или выхода параметров контроллера за заданные границы.

ВЫВОДЫ

Разработанные компанией Analog Devices микросхемы контроллеров для термоэлектрических кулеров на основе Эффекта Пельтье семейство ADN 8830 обеспечивают высокий уровень стабилизации температуры полупроводниковых лазеров и пассивных компонентов, применяемых в оптических телекоммуникациях.

ОФИСНЫЙ ЦЕНТР VD MAIS

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

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



VD MAIS
The Professional Distributor

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

МИНИАТЮРНЫЙ ГЕНЕРАТОР БЕЛОГО ШУМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ *

POCKET-SIZE WHITE NOISE GENERATOR FOR QUICKLY TESTING CIRCUIT SIGNAL RESPONSE

А. Шульц, П. Хаак

A. Shultz, P. Haak



Вопрос: Можно ли сформировать спектр, включающий одновременно все частотные составляющие?

Ответ: Шум в электронных схемах является, как правило, отрицательным явлением, однако, в некоторых случаях его применяют для тестирования электронных схем и цепей. Так, например, поведение многих электронных схем и цепей можно проанализировать путем изменения входного сигнала в полосе частот и исследования реакции этих схем и цепей на такое изменение. Это могут быть отдельные входные синусоидальные сигналы с разными частотами, или сигнал с качающейся частотой. Отметим, что сформировать незашумленные сигналы с частотой ниже единиц герц весьма затруднительно. Такие сигналы, как правило, формируются процессором, ЦАП и прецизионным фильтром, причем при изменении частоты необходимо некоторое время для получения установившегося сигнала. Проще использовать множество источников сигналов разной частоты. Однако в этом случае есть вероятность пропуска сигналов в некоторой важной для тестируемого устройства полосе частот. Генератор белого шума проще генератора качающейся частоты, т.к. он формирует все частоты одновременно с оди-

наковой амплитудой сигнала. Подавая на вход тестируемой цепи белый шум, можно по сигналам отклика на выходе протестировать эту цепь. Для этого выход тестируемой схемы или цепи следует подключить к анализатору спектра сигналов. При этом можно легко выявить ложные или основные гармонические составляющие спектра. Кроме того, генератор белого шума легок в применении, компактный в исполнении и отличается невысокой стоимостью.

Каким же образом может быть построен генератор белого шума? Источником белого шума может служить тепловой шум резистора. Средний квадрат напряжения теплового шума V_{NOISE}^2 зависит только от величины активного сопротивления R и его абсолютной температуры T , и может быть рассчитан по формуле Найквиста

$$V_{NOISE} = \sqrt{4KTR\Delta f},$$

где K – постоянная Больцмана, Δf – полоса частот, в которой измеряется напряжение.

Отметим, что в области частот, для которой выполняется неравенство $hf/KT \ll 1$, где h – постоянная Планка, спектральную плотность S_f шума можно считать постоянной и не зависящей от частоты, т.е. $S_f = 4KTR$.

Отсюда следует, что тепловой шум можно рассматривать в широком диапазоне частот (вплоть до 10^{12} Гц) как белый шум. Таким образом, напряжение спектральной плотности шума, измеренное в неизменной полосе частот, зависит только от величины сопротивления резистора, как показано в таблице.

На рис. 1 приведена простая схема генератора белого шума на основе ИМС усилителя LTC2063 и резистора R1 в качестве источника теплового или белого шума. Сопротивление резистора R1 равно 10 МОм. Коэффициент усиления схемы опреде-

* Shultz A., Haak P. Pocket-Size White Noise Generator for Quickly Testing Circuit Signal Response. Rarely Asked Questions, Issue 54, Analog Dialogue, 52-06, June, 2018. www.analog.com.
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

Таблица. Значение спектральной плотности шума в зависимости от величины сопротивления резистора

Величина сопротивления резистора	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц
10 Ом	0.402
100 Ом	1.27
1 кОм	4.02
10 кОм	12.7
100 кОм	40.2
1 Мом	127
10 Мом	402

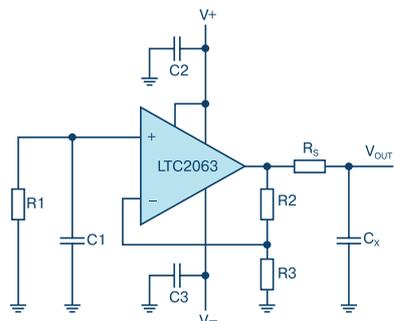


Рис. 1. Схема генератора белого шума на основе усилителя LTC2063

ляется соотношением сопротивлений резисторов R2, R3 и равен $K_U = 1 + R_2/R_3$.

Поскольку выбранный усилитель – это усилитель с прерыванием сигнала на входе (chopper amp), емкость C1 используется в качестве фильтра пульсаций на частоте прерывания. Величины сопротивле-



Рис. 2. Внешний вид портативного генератора белого шума

ний резисторов R2 и R3 выбраны таким образом, чтобы их шумы были значительно меньше, чем шум, генерируемый резистором R1.

Еще одним источником белого шума является стабилитрон. Кроме того, псевдо белый шум можно получать, используя микропроцессор с ЦАП на выходе. В этом случае период повторения псевдослучайного сигнала, формируемого микропроцессором, должен быть достаточно большим.

Внешний вид портативного генератора белого шума с батарейным питанием на основе ИМС усилителя LTC2063 приведен на рис. 2.

ВЫВОДЫ

Портативные генераторы белого шума для тестирования электронных цепей и устройств могут быть легко реализованы на основе прецизионного усилителя типа LTC2063 и резистора, генерирующего тепловой шум, который при определенных условиях эквивалентен белому шуму.

VD MAIS
Печатные платы

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

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

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

VD MAIS
Разработка и серийное производство электроники

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

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

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

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ДРАЙВЕРОВ КЛЮЧЕЙ *

В статье рассмотрены особенности построения изолированных драйверов ключей.

C. Sapre

ISOLATED GATE DRIVERS – WHAT, WHY, AND HOW?

Abstract – This article is intended to provide an introduction to isolated date drivers.

S. Sapre

Мощные MOSFET-ключи – это управляемые напряжением устройства, которые используются как ключевые элементы в источниках питания, драйверах двигателей и других системах. Ключи, как правило, должны быть изолированы от логических цепей управления. Цифровые логические цепи управления включают микроконтроллеры, формирующие ШИМ-сигналы напряжением 0 и 5 В. Для управления MOSFET-ключами требуются отличающиеся от логических уровни управления, которые формируются сдвигателями уровня, как показано на рис. 1.

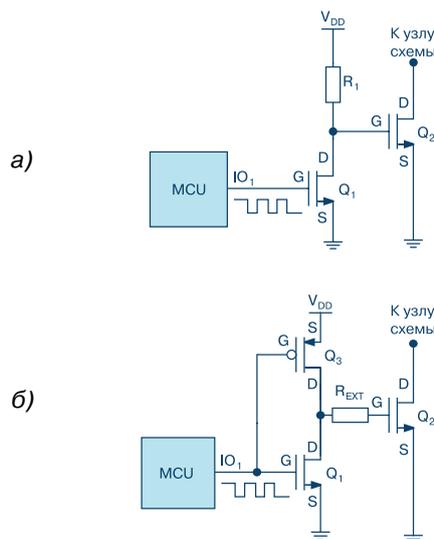


Рис. 1. Схемы управления мощными ключами без драйвера в цепи управления

В схеме на рис. 1,а заряд/разряд внутренней емкости MOSFET-транзистора Q1 обеспечивается током от источника Vdd через резистор R1, что приводит к большим потерям за счет мощности рассеяния на этом резисторе. В схеме на рис. 1,б заряд/разряд внутренней емкости транзистора Q1 происходит через PMOS-транзистор Q3, который имеет малое сопротивление в открытом состоянии

и сверхбольшое сопротивление в разомкнутом состоянии. Кроме того, схема ключа на рис. 1,б может быть полностью выполнена в микроэлектронном исполнении.

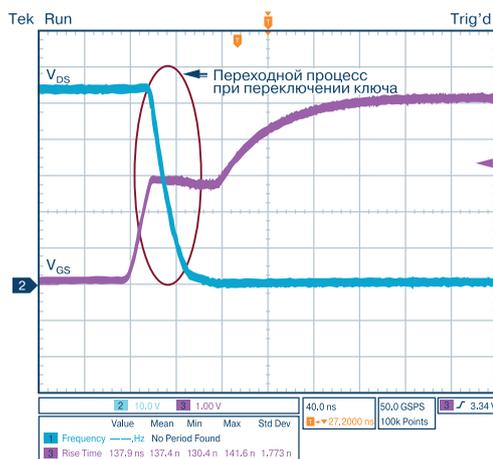


Рис. 2. Переходные процессы в мощном MOSFET-ключе без использования драйвера в цепи управления ключом

Отметим, что мощным ключам необходим достаточно большой ток для заряда/разряда емкости ключа, из-за чего переключение не может происходить мгновенно, как показано на рис. 2.

Чтобы ускорить время переключения, следует использовать специальные драйверы для управления ключом. В этом случае может быть уменьшен ток переключения ключа и, соответственно, снижены неэффективные потери мощности. Переходные характеристики ключа, управляемого драйвером ADuM4121, приведены на рис. 3.

Структурная схема ИМС изолированных драйверов ADuM4121 и временная диаграмма их работы приведены на рис. 4. Пример применения изолированных драйверов ADuM4121 для управления ключами Q1 и Q2 приведен на рис. 5.

* Sapre S. *Isolated Gate Drivers – What, Why, and How? Analog Dialogue*, 52-06, June, 2018. www.analogdialogue.com. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

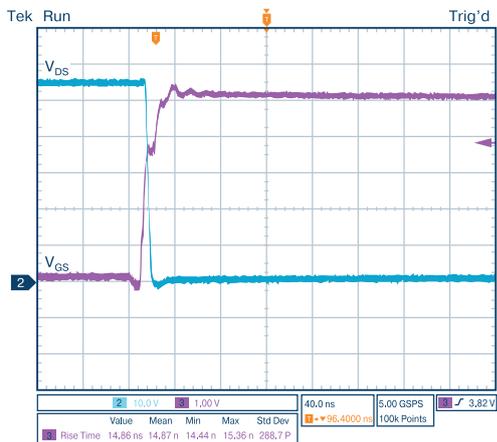


Рис. 3. Переходные процессы в мощном MOSFET-ключе при использовании драйвера в цепи управления ключом

ВЫВОДЫ

Для управления мощными MOSFET-ключами целесообразно использовать изолированные драйверы ADuM4120, ADuM4135, ADuM4136 производства компании Analog Devices. Применение изолированных драйверов позволяет увеличить скорость управления, уменьшить мощность рассеяния ключей, а также повысить устойчивость системы в целом к внешним электромагнитным помехам.

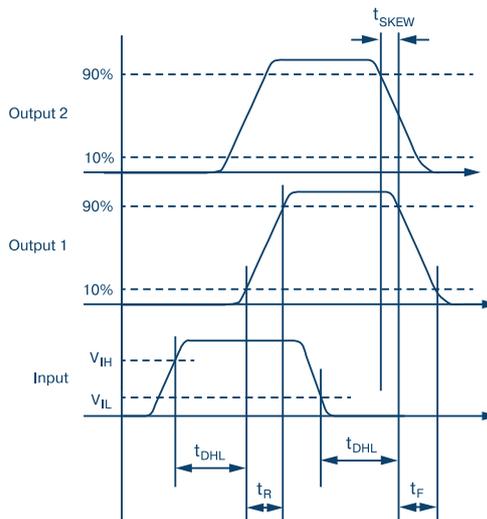
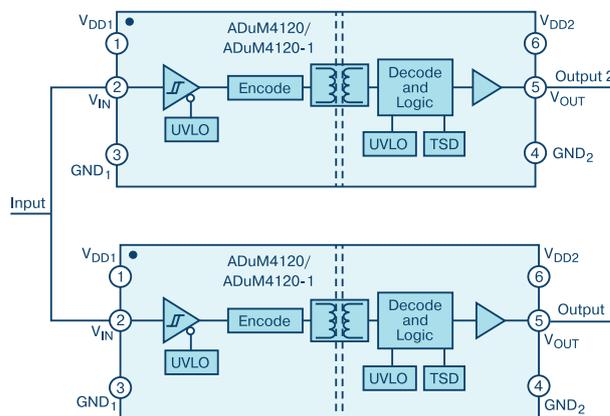


Рис. 4. Схема изолированного драйвера ADuM4120 и временные диаграммы его работы

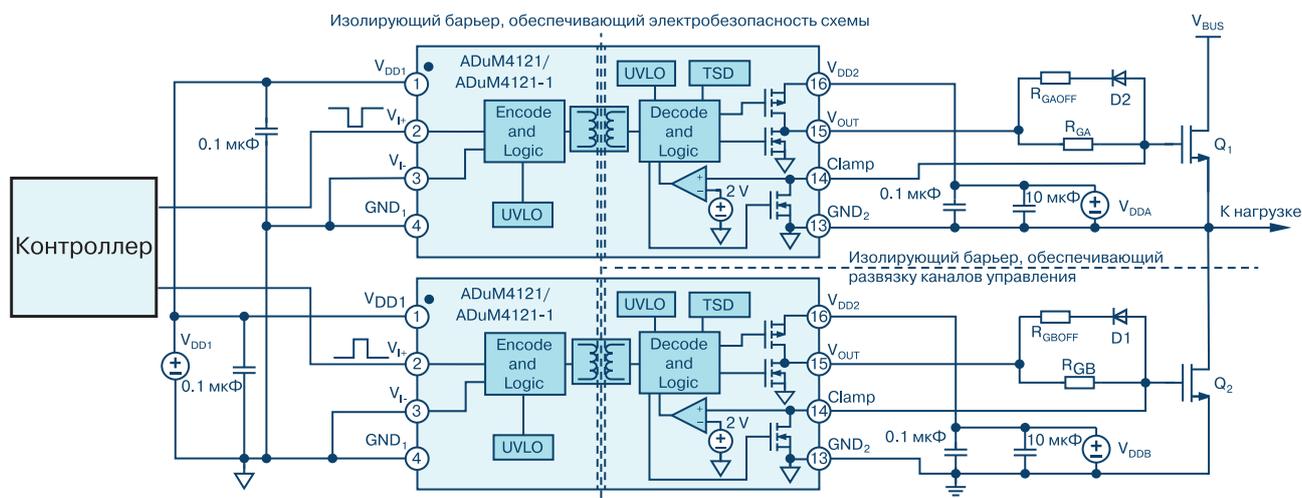


Рис. 5. Система управления мощными ключами с использованием изолированного драйвера ADuM4121

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ УСИЛИТЕЛЕ *

HOME ON THE RANGE: GETTING MULTIPLE GAIN RANGES WITH INSTRUMENTATION AMPLIFIERS

С. Хант

S. Hunt



Вопрос: Можно ли с помощью коммутируемых резисторов программировать коэффициент усиления измерительного усилителя?

Ответ: Если необходимо увеличить динамический диапазон измерительного усилителя (in-amp), можно использовать измерительный усилитель с программируемым коэффициентом усиления в микроэлектронном исполнении (PGIA), в котором узел с коммутируемыми резисторами является внутренним узлом измерительного усилителя. Однако, если коммутируемые резисторы являются внешним узлом, как показано на рис. 1, то в такой схеме следует учитывать ограничения, вызванные

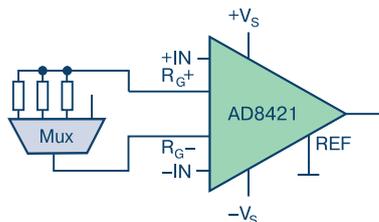


Рис. 1. PGIA-усилитель на основе измерительного усилителя AD8421 и мультиплексора

уровнем питания мультиплексора, уровнем входного напряжения, величинами сопротивлений замкнутых ключей, а также ограничения, вызванные емкостью ключей.

Для использования CMOS-мультиплексора для коммутации резисторов необходим отдельный достаточно мощный источник питания. Если входное напряжение ключа превышает напряжение питания, появляется дополнительный ток через ключ от источника питания, искажающий сигнал на выходе ключа. Учитывая, что напряжение на входах R_G усилителя AD8421 (рис. 1), ограничено встроенными диодами, диапазон изменения напряжения на выходе ключей может превышать входной диапазон измерительного усилителя. Наличие емкости в коммутируемой цепи может отрицательно влиять на величину K_{OCC} . Разбаланс емкостей входов R_G (C_{RG}) даже на 10 пФ приводит к существенным погрешностям, как следует из выражения

$$K_{OCC}(f) = -20 \lg 2\pi f C_{RG}$$

Например, если внутренний резистор обратной связи равен 25 кОм, а емкость $C_{RG} = 10$ пФ, то K_{OCC} на частоте 10 кГц составит не более 36 дБ. Для того, чтобы уменьшить влияние разбаланса емкостей на входах R_G измерительного усилителя, следует использовать ключи с малой величиной емкости или использовать схему ключа, приведенную на рис. 2.

В заключение отметим, что сопротивление замкнутого ключа значительно влияет на величину коэффициента усиления измерительного усилителя. Кроме того, величина сопротивления замкнутого ключа является переменной величиной, которая зависит от напряжения входного сигнала ключа. Ее изменение приводит к увеличению погрешности коэффициента усиления и K_{OCC} усилителя. Так, на-

* Hunt S. Home on the Range: Getting Multiple Gain Ranges with Instrumentation Amplifiers. Rarely Asked Questions. Issue 155, Analog Dialogue, 52, July, 2018. www.analog.com.
Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

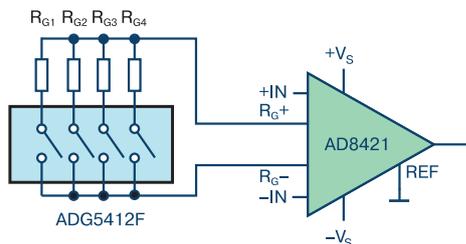


Рис. 2. PGIA-усилитель на основе SPST-ключа ADG5412F и измерительного усилителя AD8421

пример, если величина сопротивления R_{G1} составляет 1 кОм, а замкнутого ключа 10 Ом, то погрешность коэффициента усиления такой схемы будет не менее 1%. Поэтому в таких схемах желательно использовать ключи с сопротивлением в открытом состоянии, во много раз меньшим, чем сопротивления резисторов измерительного усилителя, формирующих его коэффициенты усиления.

Альтернативой рассмотренным решениям являются измерительные усилители с программируемым коэффициентом усиления, полностью выпол-

ненные по микроэлектронной технологии. К таким PGIA-усилителям относятся ИМС AD8231, AD8250/AD8251/AD8253 и LTC6915. Кроме того, в настоящее время выпускаются более сложные ИМС с функциями измерительного усилителя с программируемым коэффициентом усиления, такие как AD7124 и ADAS3022.

ВЫВОДЫ

Измерительные усилители с программируемым коэффициентом усиления могут быть построены на основе коммутируемых резисторов и стандартных измерительных усилителей. Однако для обеспечения высокой точности и большого КОСС следует использовать измерительные усилители, полностью выполняемые в микроэлектронном исполнении. Семейства измерительных усилителей с программируемым коэффициентом усиления выпускает компания Analog Devices. К ним относятся ИМС AD8231, AD825x и др.

МОЖНО ЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПРЕЦИЗИОННЫЙ НЕВЫСОКОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ УСИЛИТЕЛЬ В КАЧЕСТВЕ ДРАЙВЕРА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО 18-РАЗРЯДНОГО АЦП? *

CAN A SLOW, PRECISION OP AMP DRIVE A FAST 18-BIT SAR ADC?

В статье обоснована возможность использования прецизионного операционного усилителя невысокого быстродействия для быстродействующих АЦП.

Abstract - It was shown the possibility of application of slow precision Op Amp as driver of a fast ADC.

К. Локере

K. Lokere

Как правило, в качестве драйверов быстродействующих АЦП используются широкополосные операционные усилители с высокой скоростью нарастания выходного сигнала. Они обеспечивают малый выходной импеданс на высокой частоте, что позволяет снизить влияние величины емкости хранения АЦП на полезный сигнал за счет быстрого разряда этой емкости. За счет высокого петлевого усиления эти ОУ позволяют обеспечить высокую линейность АЧХ в широкой полосе частот. Однако, такие усилители имеют высокое потребление, их параметры на

постоянном токе, такие как смещение нуля, (1/f)-шум, могут превышать допустимые для конкретного устройства значения. Автором статьи экспериментально проверена возможность использования прецизионного усилителя LT6011 с полосой пропускания до 330 кГц на входе 18-разрядного АЦП LTC2378-18 с частотой выборки 1 МГц в соответствии с функциональной схемой, приведенной на рис. 1. Результаты включения прецизионного усилителя на входе быстродействующего АЦП следующие:

* Lokere K. Can a Slow, Precision Op Amp Drive a Fast 18-bit SAR ADC? www.analog.com. Technical article, 2018. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

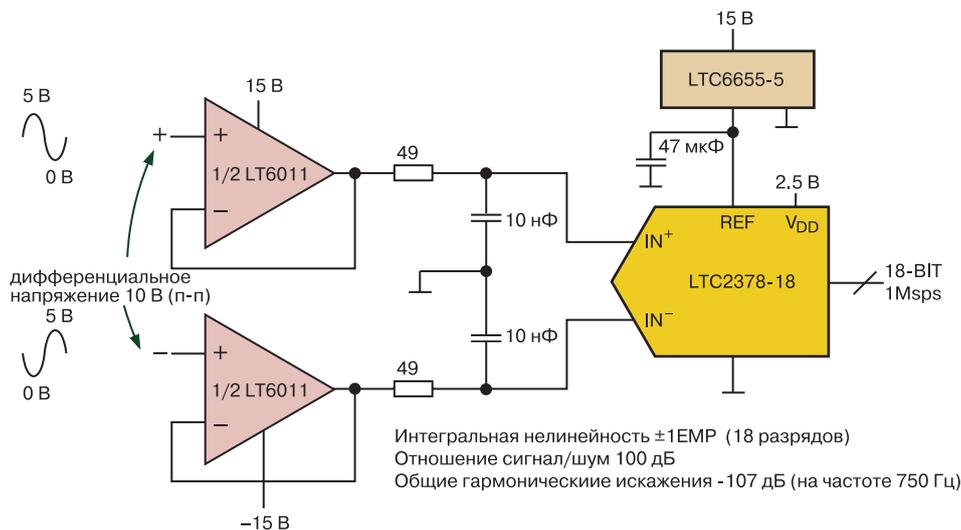


Рис. 1. Функциональная схема быстродействующего АЦП LTC2378-18 с прецизионным драйвером LT6011

- интегральная нелинейность всей схемы ± 1 EMP
- отношение сигнал/шум 100 дБ
- максимальное смещение нуля на входе усилителя 60 мкВ
- частота перегиба ($1/f$)-шума 3 Гц
- ток потребления одного усилителя 135 мкА.

Отметим, что параметры ФНЧ на выходе усилителя ($R = 49$ Ом, $C = 10$ нФ) с частотой среза 300 кГц выбраны таким образом, чтобы шумы усилителя не влияли на высокочастотный шум АЦП. Однако это привело к увеличению времени реакции усилителя на быстроизменяющиеся сигналы. Скорость нарастания выходного сигнала усилителя LT6011 составляет не более 0.1 В/мкс. Это означает, что схему, рис. 1, нецелесообразно использовать для кодиро-

вания быстродействующих процессов или в многоканальном режиме. В противном случае конденсатор устройства выборки-хранения АЦП не будет успевать зарядиться до величины входного сигнала при высокой частоте выборки.

ВЫВОДЫ

Использование прецизионных драйверов с низким быстродействием на входе быстродействующих АЦП позволяет увеличить точность преобразования и снизить потребление системы драйвер-АЦП в целом. Однако при этом в неполной мере используются скоростные свойства быстродействующего АЦП.

VD MAIS

Контрактное производство электроники

(по стандарту IPC-A-610)



- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 2,5 млн в сутки)
 - автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
 - монтаж прототипов печатных плат
 - 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
 - изготовление опытных образцов изделий
 - мелко- и крупносерийное производство
 - 10-летний опыт контрактного производства
 - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.
 Цены – оптимальные.

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

VD MAIS

Разработка и серийное производство электроники



- разработка электрических схем
 - проектирование и изготовление печатных плат
 - комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
 - контрактное производство (по стандарту IPC-A-610H):
 - автоматизированный монтаж SMD-компонентов и автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
 - изготовление опытных образцов изделий
 - мелко- и крупносерийное производство
 - многолетний опыт разработки и производства
 - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.
 Цены – оптимальные.

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

ЦИФРОВОЕ СЖАТИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ПОРАЗРЯДНОГО АЦП *

DIGITAL GAIN COMPRESSION (DGC) FOR SAR ADCS

ИМС LTC2378-20 обеспечивает цифровое сжатие динамического диапазона поразрядного АЦП. При этом полная шкала входного сигнала находится в пределах от 10 до 90% от максимального входного сигнала.

Abstract - The LTC2378-20 offers a digital gain compression feature which defines the full-scale input swing to be between 10% and 90% of the $\pm V_{REF}$ analog input range.

Поразрядный АЦП LTC2378-20 представляет собой 20-разрядный преобразователь с максимальной частотой выборки 1 МГц. Для обеспечения цифрового сжатия динамического диапазона этого АЦП (рис. 1) на его входе используется дифференциальный драйвер LTC6362 с малым потреблением и напряжением питания 5 В.

LTC6362, чтобы подавать на униполярный вход биполярный сигнал в диапазоне ± 3.28 В, а так же сигнал смещения с целью уменьшения входного динамического диапазона АЦП LTC2378-20 в режиме цифрового сжатия данных.

Если в качестве сдвоенного опорного источника используется ИМС LTC6652-4.096, схема всего устройства может иметь один источник питания напряжением 5 В, что упрощает устройство в целом и позволяет минимизировать его потребление. Как показано на рис. 3, а при двуполярном источнике питания и при отсутствии цифрового сжатия динамического диапазона АЦП отношение сигнал/шум на выходе АЦП SNR = 104 дБ, а при использовании одного источника питания напряжением 5 В и режима сжатия диапазона обеспечивается отношение сигнал/шум 100 дБ. Отметим, что компания Analog Devices (в составе которой с недавнего времени находится компания Linear Technology) выпускает целое семейство прецизионных АЦП поразрядного

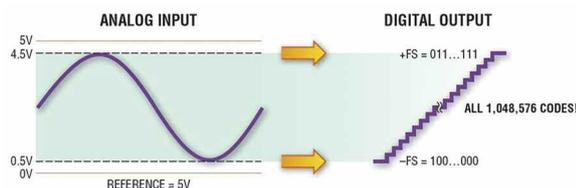


Рис. 1. Принцип цифрового сжатия динамического диапазона АЦП

В этом случае вывод АЦП REF/DGC подключен к шине нулевого потенциала. На рис. 2 показано, каким образом следует сконфигурировать драйвер

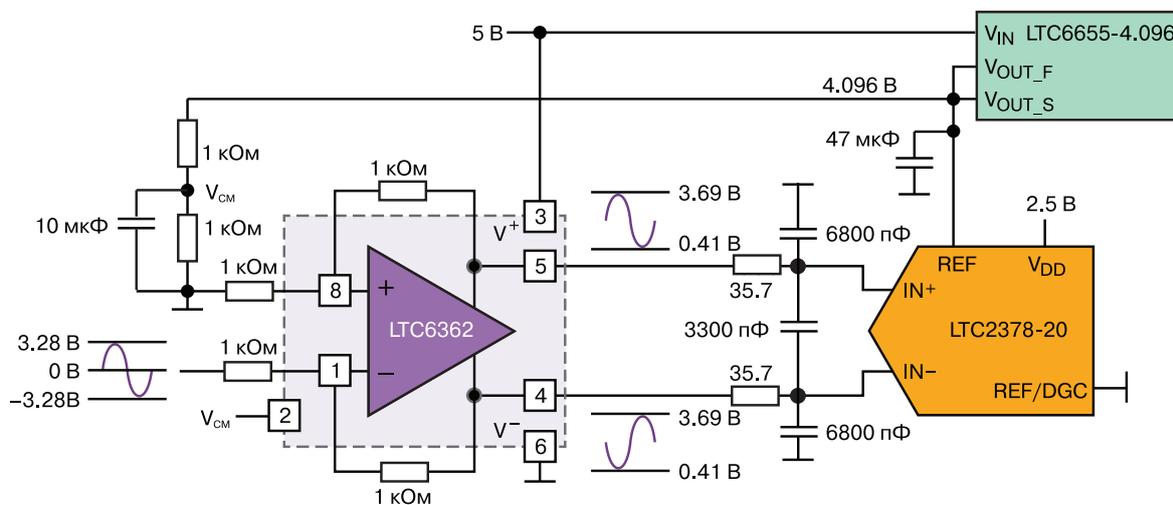


Рис. 2. Функциональная схема АЦП с цифровым сжатием динамического диапазона

* Digital Gain Compression (DGC) for SAR ADCs. www.analog.com. Technical Article. 2018. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

уравновешивания с возможностью цифрового сжатия динамического диапазона.

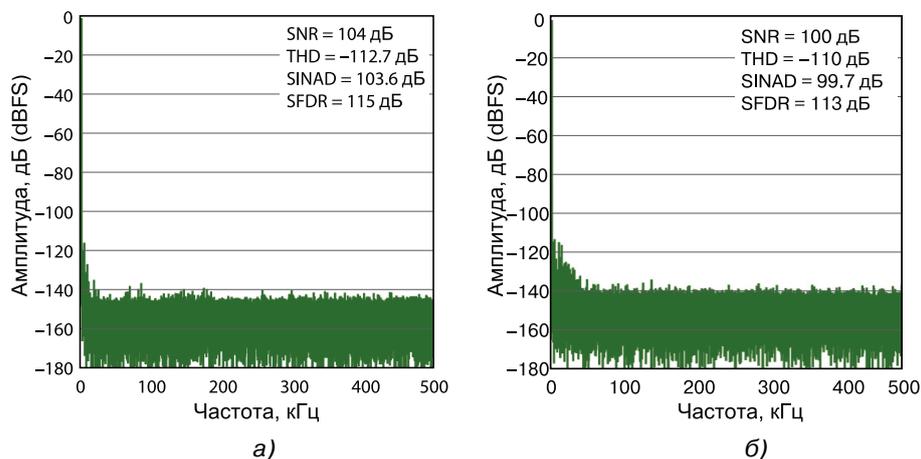


Рис. 3. Спектр сигнала частотой 2 кГц на выходе АЦП без цифрового сжатия (а) и с цифровым сжатием динамического диапазона (б)

ИМПУЛЬСНЫЙ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С МАЛЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОМЕХАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ *

LOW EMI/EMC EMISSION SWITCHING CONVERTER EASES ADAS DESIGNS

В статье приведена краткая информация о DC/DC-преобразователе LT8645S с малым уровнем излучаемых электромагнитных помех, предназначенном для питания электронных систем автомобилей.

Abstract - The article provides a brief information about the DC/DC converter LT8645S with a low level of emitted electromagnetic interference, designed to power the electronic systems of cars.

T. Армстронг

T. Armstrong

Электронная система поддержки управления автомобилем (ADAS) широко применяется в современных легковых и грузовых автомобилях. Эта система повышает безопасность управления автомобилем, своевременно предупреждая водителя о таких нарушениях дорожного движения как пешеходы, велосипедисты или другие транспортные средства. Кроме того, системы типа ADAS обеспечивают функцию круиз-контроль. Конечная цель таких систем – автоматическое управление автомобилем без участия человека. Как ожидается, массовый выпуск таких автомобилей начнется через пять-десять лет.

Система ADAS включает несколько типов микро-

процессоров, которые обрабатывают сигналы встроенных в автомобиль многочисленных датчиков. Питание системы ADAS обеспечивает основной аккумулятор автомобиля, напряжение которого составляет от 9 до 18 В. Однако в ряде случаев диапазон этих напряжений может составлять от 3.4 до 42 В, а в некоторых случаях и до 65 В. Для того, чтобы обеспечить стандартный уровень напряжения питания 3.3 и 5 В, в системе ADAS используются DC/DC-преобразователи, причем частота коммутации таких преобразователей достигает 2 МГц. Сигнал такой высокой частоты является источником электромагнитных помех, причем помехи могут распространяться по электрическим цепям или излучаться

* Armstrong T. Low EMI/EMC Emission Switching Converter Eases ADAS Design. Analog Dialogue, 52-01, January, 2018. www.analog.com. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

в пространство. Для уменьшения уровня помех в системах ADAS используются фильтры. Кроме того, основные электронные узлы системы ADAS, излучающие электромагнитные помехи, могут быть помещены в защитный экран.

На рис. 1 приведена типовая схема включения DC/DC-преобразователя LT8645S с малым уровнем излучаемых электромагнитных помех.

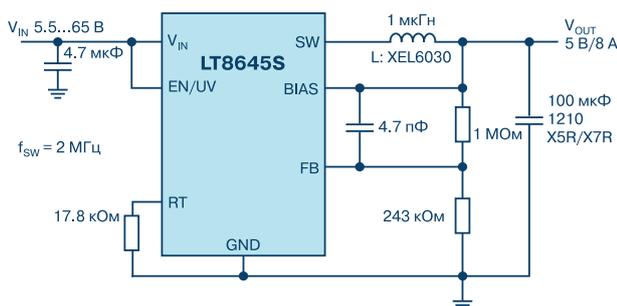


Рис. 1. Типовая схема включения DC/DC-преобразователя LT8645S

На вход этого преобразователя может быть подано высоковольтное напряжение, диапазон которого составляет от 3.4 до 65 В. Как следует из рис. 1, DC/DC-преобразователь представляет собой одноканальное устройство с максимальным выходным током 8 А и напряжением на выходе 5 В. Частота коммутации преобразователя программируется в пределах от 200 кГц до 2 МГц. Совместно с внешними компонентами преобразователь LT8645S обеспечивает минимально возможный уровень излучаемых помех, как показано на рис. 2.

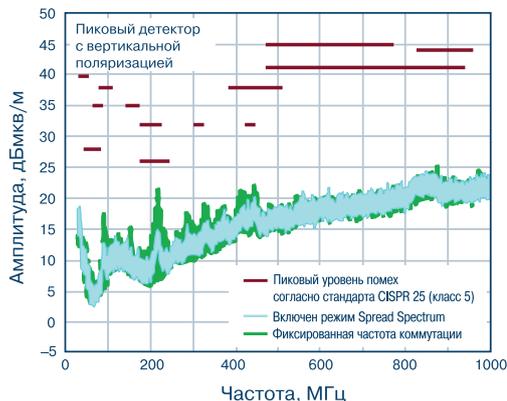


Рис. 2. Спектры электромагнитных помех DC/DC-преобразователя LT8645S

Следует отметить, что уровень помех этого преобразователя соответствует требованиям стандарта CISPR 25, класс 5 по электромагнитной совместимости технических средств, используемых на подвижном транспорте.

ВЫВОДЫ

При проектировании систем типа ADAS для автоматического управления автомобилем необходимы высококачественные DC/DC-преобразователи с минимальным уровнем излучаемых электромагнитных помех и широким диапазоном входных напряжений. Таким преобразователем является ИМС компании Analog Devices LT8645S.

VD MAIS
Электронные компоненты и системы

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

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

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

VD MAIS
Электромеханические компоненты и компоненты систем автоматизации

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

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

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

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ *

OPTIMIZED POWER SUPPLY MEASUREMENT SETUP

Ф. Достал

T. Armstrong



Вопрос: Каким образом можно протестировать импульсный стабилизатор напряжения?

Ответ: Перед использованием импульсного стабили-

затора напряжения его необходимо тщательно протестировать. Техническая документация (data sheet) содержит всю необходимую информацию об импульсном стабилизаторе, включая его тестирование в лаборатории. Отметим, что иногда натурное тестирование можно заменить тестированием на моделях, например, с использованием программы моделирования LTspice. Однако моделирование, как правило, не позволяет учесть паразитные параметры конкретного устройства, поэтому его следует использовать только на этапе проектирования импульсного стабилизатора. Важно знать, что при натурном тестировании можно воспользоваться оценочной платой с ИМС импульсного стабилизатора. На рис. 1 показана схема организации тестирования импульсного стабилизатора, которая содержит лабораторный источник питания на входе и лабораторный имитатор нагрузки на выходе.

Эта, казалось бы, тривиальная схема должна быть дополнена важными деталями. Во-первых, необходимо исключить влияние, как источника питания, так и нагрузки, включая соединительные кабели, на результаты тестирования собственно импульсного стабилизатора. Для этого соединительные кабели должны иметь минимально возможную длину, чтобы свести к минимуму паразитную индуктивность. Во-вторых, длина токопроводящей

шины должна быть минимальной, что тоже приводит к уменьшению паразитных индуктивностей. Желательно соединительные кабели выполнить в виде витой пары, как показано на рис. 2.

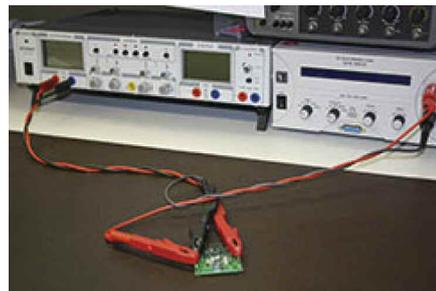


Рис. 2. Рабочее место для тестирования импульсного стабилизатора напряжения

Импульсный стабилизатор является источником импульсных помех в нагрузке. Уровень этих помех следует проверить во время тестирования импульсного стабилизатора. Кроме того, при проверке нагрузочной способности испытываемого импульсного стабилизатора необходимо, чтобы лабораторный источник питания, рис. 1, имел достаточную мощность на выходе. Гарантировать достаточную нагрузочную способность лабораторного источника питания может включение конденсатора большой емкости на его выходе и, соответственно, на входе тестируемого импульсного стабилизатора. В тоже время, конденсатор большой емкости может иметь большие габариты, и в реальном устройстве его применение нецелесообразно. Тогда испытания следует проводить с использованием конденсатора допустимых для проектируемого устройства размеров.

ВЫВОДЫ

Разработанный источник питания на основе импульсного стабилизатора напряжения следует тщательно проверить перед использованием в аппаратуре, причем моделирование целесообразно дополнить натурным экспериментом с учетом особенностей применения.



Рис. 1. Схема организации тестирования импульсного стабилизатора напряжения

* Dostal F. Optimized Power Supply Measurement Setup. Rarely Asked Questions – Issue 156. Analog Dialogue 52-08, August, 2018. www.analog.com.

Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

LED-ДРАЙВЕРЫ ДЛЯ МОЩНОЙ ВСПЫШКИ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ *

LED DRIVER FOR HIGH POWER MACHINE VISION FLASH

Системы машинного зрения, использующие параллельно-включенные LED-драйверы для управления вспышкой, рассмотрены в настоящей публикации.

Abstract - Machine vision systems used parallel LED drivers to create the flash are considered in the article.

К. Жолуша, К. Лоуренс

K. Szolusha, K. Lawrence

В системах машинного зрения используются короткие вспышки света высокой яркости для фиксации и отображения быстроменяющихся изображений. Такие системы применяются для контроля технологических процессов на промышленных конвейерах с целью выявления в реальном времени дефектных изделий. Инфракрасная и лазерная вспышки используются в системах машинного зрения для контроля движущихся объектов, включая их положение в пространстве. Кроме того, системы машинного зрения используются в различных охранных системах.

К основным проблемам таких систем относится формирование мощных импульсов тока до 3-4 А через светодиоды и светодиодные матрицы длительностью не более нескольких микросекунд, причем вспышки света, формируемые светодиодами, должны распространяться в интервале времени от 100 мс до нескольких секунд. Современные драйверы светодиодов формируют короткие ШИМ-импульсы тока не более 1 А.

Новый быстродействующий драйвер матрицы светодиодов LT3932, предназначенный для организации вспышки в системах машинного зрения, обеспечивает на выходе ток до 2 А. Интервал времени между мощными короткими импульсами тока в таких системах может составлять от нескольких секунд до 24 часов. Для формирования тока на выходе драйвера величиной более 3 А предусмотрено параллельное включение драйверов (рис. 1), что обеспечивает формирование импульсов тока не менее 3 А длитель-

ностью не более 10 мкс.

На рис. 2 приведены временные диаграммы работы двух, параллельно включенных драйверов светодиодов типа LT3932, формирующих импульсы тока величиной 3 А и длительностью 10 мкс, причем на рис. 2,а представлены ШИМ-сигналы с несущей частотой 100 Гц (период – 10 мс), а на рис. 2,б – ШИМ-сигналы частотой 1 Гц (период – 1 с).

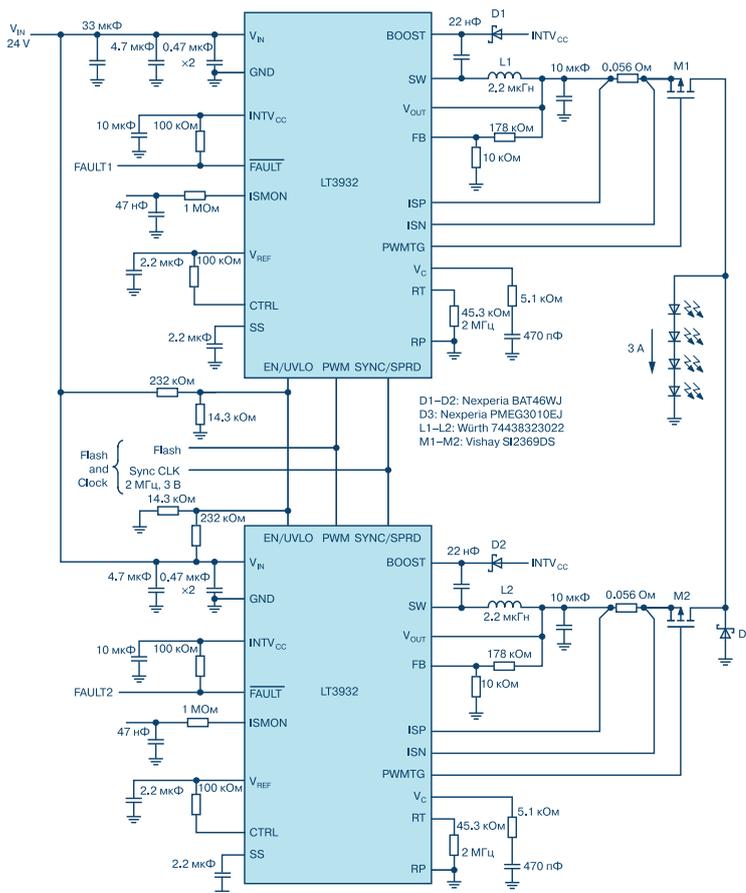


Рис. 1. Параллельное включение LED-драйверов для управления вспышкой в системе машинного зрения

* Szolusha K., Lawrence K. LED Driver for High Power Machine Vision Flash. Analog Dialogue, 52-06, June, 2018. www.analogdialogue.com. Сокращенный перевод с английского и комментарии В. Романова.

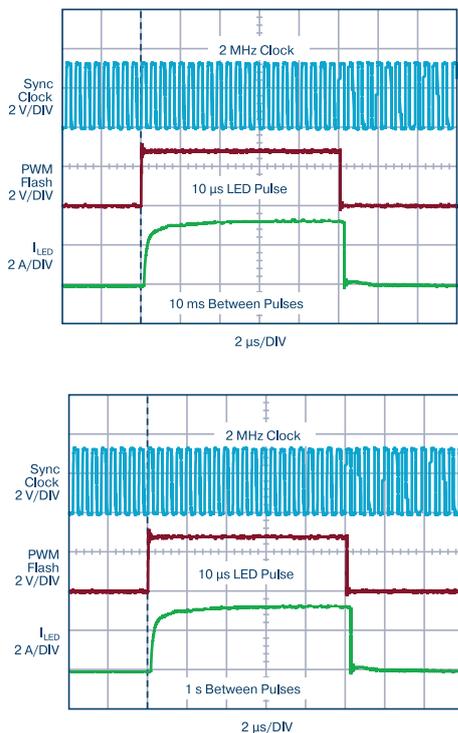


Рис. 2. Временные диаграммы работы параллельно включенных LED-драйверов с несущей частотой ШИМ-сигналов 100 Гц (а) и 1 Гц (б)

Пример применения рассмотренной системы машинного зрения, установленной на промышленном конвейере, приведен на рис. 3.

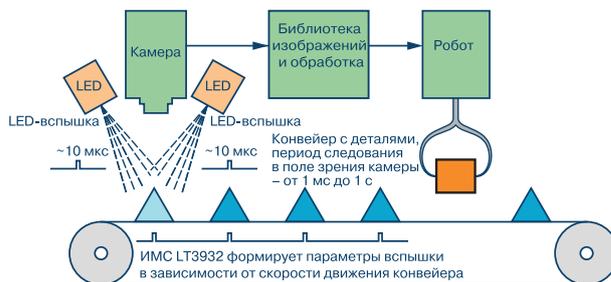


Рис. 3. Пример промышленного применения системы машинного зрения

ВЫВОДЫ

На основе параллельно включенных LED-драйверов LT3932 может быть реализована вспышка для системы машинного зрения с длительностью импульса тока не более 10 мкс и величиной тока не менее 3 А.

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

ФОРМУЛА СВЕТА

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

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

We make it *possible*

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



Цельнометаллические демпферы



Резиновые виброизоляторы



Силиконовые виброизоляторы



Цельнометаллические подушки



Тросовые амортизаторы



Малогабаритные цельнометаллические амортизаторы



Шнуры изоляции электромагнитных волн



Пружинные изоляторы

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

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

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



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

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

НОВЫЕ МОЩНЫЕ ДРАЙВЕРЫ СВЕТОДИОДОВ КОМПАНИИ MEAN WELL: HVGC-650/480



NEW MEAN WELL LED POWER SUPPLY:
HVGC-650/480

В статье приведены основные технические характеристики и возможности новых драйверов светодиодов компании Mean Well.

Abstract – The main characteristics and possibilities of new LED power supplies are considered in the article.

В. Котигорошко

V. Kotigoroshko

Компания Mean Well, производитель разнообразных блоков питания и драйверов светодиодов, предлагает две новые серии мощных драйверов HVGC-650 и HVGC-480, соответственно, выходной мощностью 650 и 480 Вт [1, 2].

Мощные высоконадежные программируемые драйверы светодиодов HVGC-650/480 (рис. 1) соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP67/IP65 и ориентированы на применение в системах внутреннего и наружного светодиодного освещения (стадионов, морских портов, железнодорожных станций, супермаркетов, складских площадок), декоративной архитектурной подсветки и пр.

Эти драйверы могут использоваться в системах освещения больших торговых помещений, выставочных залов и офисов. Кроме того, их можно применять в системах освещения для подсветки витрин и прилавков в супермаркетах, торговых центрах и т.п., в качестве источников питания светотехнических устройств акцентирующего освещения различных зон в торговом помещении, а также объектов или товаров, размещаемых в витрине. Также возможно их применение при освещении тоннелей, теплиц и оранжерей.

Драйверы HVGC-650 и HVGC-480 поддерживают режим работы со стабилизацией выходной мощности в расширенном диапазоне входных напряжений переменного (180...528 В) и постоянного (254...747 В) тока. Драйверы в соответствии с рекомендациями стандарта EN61000 и EN61547 устойчивы к импульсам напряжения амплитудой 8 кВ (линия-земля) и 4 кВ (линия-линия). Конструктивно драйверы выполнены в закрытом металлическом корпусе габаритными размерами 280.0×144.0×45.8 (HVGC-650) или 262.0×125.0×43.8 мм (HVGC-480). Гарантийный срок – пять лет.

Основные технические характеристики драйверов HVGC-650 даны в табл. 1, структура драйверов серии HVGC-650 приведена на рис. 2.

Драйверы обеспечивают номинальный выходной ток от 2.8 до 11.2 А (HVGC-650) или от 1.4 до 3.5 А (HVGC-480) в зависимости от величины выходного



Рис. 1. Драйверы светодиодов HVGC-480/650

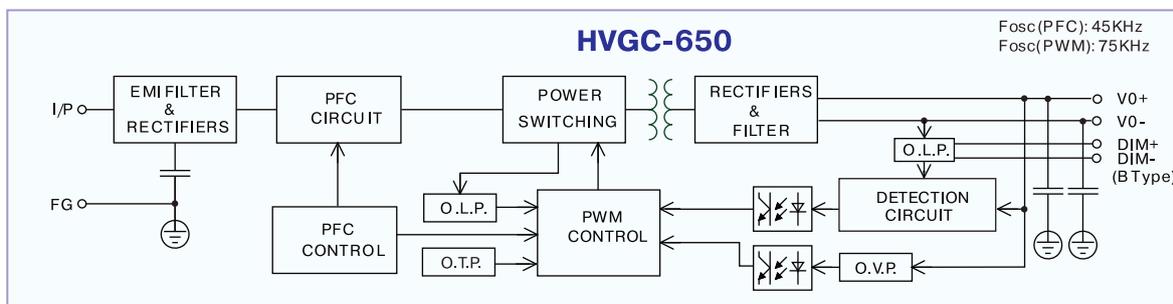


Рис. 2. Структура драйвера светодиодов HVGC-650

Таблица 1. Основные технические характеристики драйверов светодиодов серии HVGC-650

Характеристика	Значение			
	HVGC-650-L	HVGC-650-M	HVGC-650-H	HVGC-650-U
Вход				
Диапазон входных напряжений, В	180-528 В переменного тока (47-63 Гц), 54-747 В постоянного тока			
Входной ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	2.1 (347), 1.5 (480)			
Коэффициент мощности PF (тип.)	PF ≥ 0.98 (230 В), PF ≥ 0.98 (277 В), PF ≥ 0.97 (347 В), PF ≥ 0.96 (400 В), PF ≥ 0.95 (480 В) при нагрузке 100%			
Коэффициент гармоник (THD), не более, %	20			
КПД (тип.), %	95	95	95	95.5
Ток утечки, не более, мА	0.75 (480 В переменного тока)			
Пусковой ток, А (тип.)	40 (480 В переменного тока)			
Выход				
Номинальный вых. ток, мА	2800	4200	5600	11200
Макс. вых. напряжение на х.х., В	240	160	120	70
Номинальная вых. мощность, Вт	649.6	651	649.6	649.6
Отклонение вых. тока, % I _{НОМ}	±5			
Уровень пульсаций вых. тока, % I _{НОМ}	±5			
Время старта, мс (вх. напряж. перем. тока, В)	500 (230/347/480)			
Защита от КЗ, перегрева и перенапряжения	+			
Регулирование тока	+			
Электромагнитная совместимость, безопасность				
Электромагнитная совместимость (стандарты)	EN55015; EN61000-3-2 Class C (load ≥ 50%); EN61000-3-3; FCC Part 15 class B; EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; EN61547; EAC TP TC 020			
Стандарты безопасности	UL8750 (HL); CSA C22.2 No. 250.13-12; IP67; EAC TP TC 004			
Прочность изоляции, кВ	4.2 (вход/выход), 2.1 (вход/корпус), 1.5(выход/корпус)			
Сопrotивление изоляции, не менее, МОм	Вход-выход, вход-корпус, выход-корпус: 100 (500 В пост. тока, 25 °С, влажность 70%)			
Надежность, окружающая среда, габаритные размеры				
Среднее расчетное время между отказами, мин., тыс. ч	60.2 (MIL-HDBK-217F, 25 °С)			
	218.8 (Telcordia SR-332(Bellcore))			
Диапазон рабочих температур, °С	-40...90			
Относительная влажность воздуха, %	20...95 (без выпадения конденсата)			
Габаритные размеры, мм	280.0×144.0×48.5			
Масса, кг	3.9			
Гарантия	5 лет			

напряжения. Драйверы содержат встроенный активный корректор коэффициента мощности (PF). При входном напряжении 277 В и нагрузке 100% коэффициент PF ≥ 0.98, КПД – до 95.5%. График зависимости КПД от величины нагрузки и входного напряжения приведен на рис. 3. Поскольку КПД снижается при уменьшении нагрузки, наибольшую эффективность при использовании драйверов можно получить в режимах работы с большим выходным

током. Рекомендованная вольтамперная характеристика для драйвера типа HVGC-650-U приведена на рис. 4 (область наибольшей эффективности выделена голубым цветом). Драйверы могут эксплуатироваться при температуре корпуса -40...90 °С без использования принудительного обдува. Зависимость величины нагрузки от температуры окружающей среды приведена на рис. 5 (HVGC-650). В случае эксплуатации драйверов на высоте более 2000 м

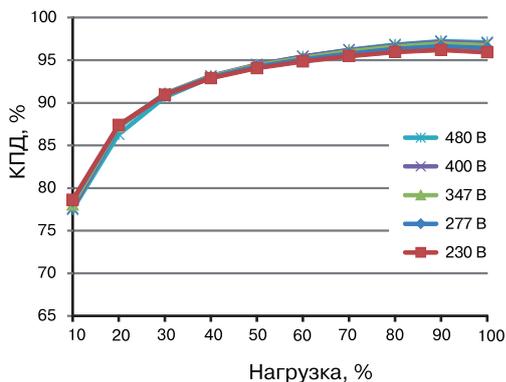


Рис. 3. График зависимости КПД от величины нагрузки

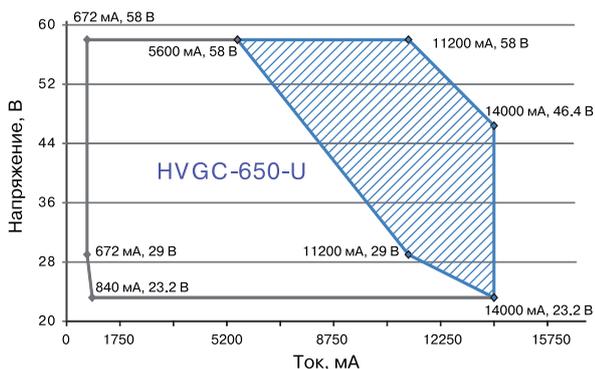


Рис. 4. Рекомендованная вольтамперная характеристика

над уровнем моря максимальная рабочая температура снижается со скоростью 3.5 °C/1000 м (в режиме принудительного обдува вентилятором) или 5 °C/1000 м (если обдув не используется). Драйверы HVGC-650/480 выдерживают вибрации уровнем до 5 г в диапазоне частот 10...500 Гц.

Драйверы HVGC-650/480 соответствуют рекомендациям основных европейских и международных стандартов по электромагнитной совместимости и безопасности (табл. 1). Кроме того, драйверы сертифицированы на т.н. Евразийское соответствие (Eurasian Conformity – EAC), т.е. соответствие требованиям Технических Регламентов Таможенного

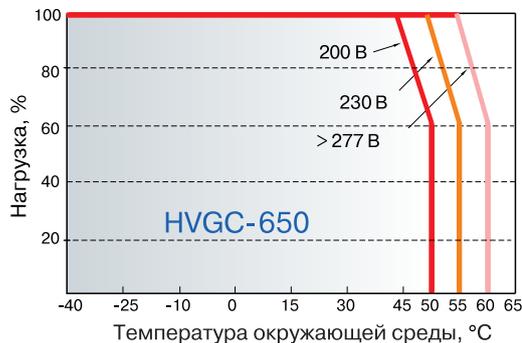


Рис. 5. График зависимости величины нагрузки от температуры окружающей среды

Союза (ТР ТС 004 и ТР ТС 020). ТР ТС 004 – это Технический Регламент Таможенного Союза "О безопасности низковольтного оборудования", ТР ТС 020 – Технический Регламент "Электромагнитная совместимость технических средств".

В драйверах HVGC-650 в зависимости от модификации реализовано несколько вариантов плавной регулировки выходного тока и, соответственно, яркости свечения светодиодов (табл. 2).

В базовом варианте исполнения драйверов для регулировки выходного тока предусмотрено использование сигнала постоянного тока напряжением 0...10 В, ШИМ-сигнала частотой 0.1...3 кГц с регулируемой скважностью и амплитудой 10 В или внешнего резистора. В этом случае сигналы управления уровнем выходного тока или внешний резистор подключаются к выводам драйвера DIM+ и DIM- (рис. 6). Кроме того, выходной ток можно регулировать с помощью встроенного потенциометра.

В некоторых модификациях драйверов HVGC-650 (вариантах исполнения D2, Dх) реализована возможность регулировки освещенности в автоматическом режиме. Такие драйверы содержат встроенный программируемый таймер, обеспечивающий заданное изменение яркости в процессе работы (т.е. с течением времени) – т.н. режим "Smart timer dimming function". Этот режим может быть востребованным, к примеру, в системах улич-

Таблица 2. Варианты регулировки выходного тока в драйверах серии HVGC-650

Обозначение варианта регулировки тока	Класс защиты	Описание	Примечание
AB	IP-67	Базовый вариант. Сигнал постоянного тока напряжением 0...10 В, ШИМ-сигнал частотой 0.1...3 кГц, внешний резистор или встроенный потенциометр	Склад
D2		Программируемый таймер (Smart timer). Стандартные профили	По запросу
Dх		Программируемый таймер (Smart timer). Пользовательские профили	
DA		Интерфейс DALI (используются выводы DA+, DA-)	

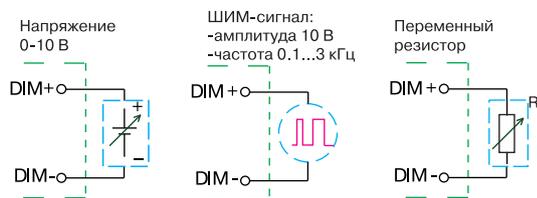


Рис. 6. Базовые варианты регулировки выходного тока

ного освещения. Согласно действующим нормативным документам в ночное время допускается снижение уличного освещения. В зависимости от интенсивности движения допускается уменьшение уровня освещенности до 50%, что позволяет существенно снизить суммарный уровень энергопотребления. Кроме того, наличие встроенного в драйвер таймера позволяет исключить провода для дополнительной линии связи с компьютером диспетчера, и в итоге снизить стоимость осветительной системы.

Использование драйверов с программируемыми таймерами весьма полезно как при наружном освещении (например, автострад, автостоянок, промышленных зданий, морских вокзалов и пр.), так и при освещении внутри зданий (например, теплиц и оранжерей), т.е. в тех случаях, когда требуется циклическая смена режимов освещения. Драйверы поставляются с предустановленными стандартными профилями изменения яркости, рекомендуемыми для освещения в жилых помещениях, при уличном освещении и освещении тоннелей (рис. 7) [1, 2]. Предусмотрена также возможность изменения режима освещения в соответствии с требованиями заказчика.

Управление током через светодиоды может осуществляться как в фиксированном, так и в адаптивном режиме. При этом всегда включение и выключение светильника происходит по команде оператора (в ручном режиме) или по сигналу датчика (в

автоматическом режиме). Инициализация программы изменения тока всегда начинается с момента старта при каждом включении светильника. Фиксированный режим подразумевает то, что драйвер всегда работает в соответствии с запрограммированной последовательностью изменения величины тока через светодиоды. Однако в этом случае не будут учитываться необходимые сезонные изменения освещенности (т.е. в летний и зимний периоды), что не позволяет эффективно использовать фиксированный режим в наружном освещении. В таких случаях целесообразно использовать адаптивный режим, в котором алгоритм управления током подстраивается к сезонным изменениям освещенности.

Кроме того, поставляются модификации драйверов (см. табл. 2), имеющие интерфейс DALI (Digital Addressable Lighting Interface), что позволяет дистанционно управлять освещенностью объектов.

Предусмотрен также вариант поставки драйверов (HVGC-650A) со встроенным дополнительным источником питания напряжением 12 ± 1.2 В, макс. выходным током 200 мА и уровнем шумов и пульсаций выходного напряжения не более 150 мВ (п-п). Этот источник можно использовать для подключения вспомогательных устройств, например, разного рода датчиков.

Дополнительную информацию о продукции компании Mean Well можно найти в сети Интернет по адресу: www.meanwell.com или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе Mean Well в Украине.

ЛИТЕРАТУРА

1. 650W constant power mode LED driver HVGC-650 series.
2. 480W constant power mode LED driver HVGC-480 series.

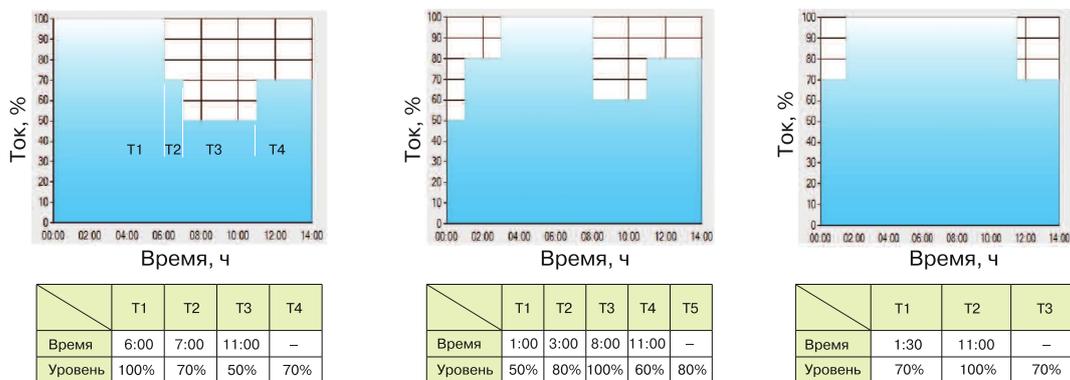


Рис. 7. Стандартные профили изменения выходного тока

БЛОКИ ПИТАНИЯ КОМПАНИИ MEAN WELL МОЩНОСТЬЮ 3200 ВТ



POWER SUPPLY: DPU-3200/DRP-3200

В статье приведены основные технические характеристики и возможности блоков питания серии DPU-3200 и DRP-3200 компании Mean Well.

Abstract – The main characteristics and possibilities of power supplies DPU-3200 and DRP-3200 are considered in this article.

В. Котигорошко

V. Kotigoroshko

DPU-3200, DRP-3200 (рис. 1) – цифровые блоки питания выходной мощностью 3200 Вт с возможностью принудительного охлаждения, благодаря использованию встроенного вентилятора [1, 2]. Удельная мощность – 37 Вт/дюйм³. Входное напряжение – 90...264 В переменного тока (частотой 47...63 Гц) или 127...370 В постоянного тока. Номинальное выходное напряжение – 24 В (133 А) или 48 В (67 А). Блоки питания изготавливаются в металлическом кожухе, имеют габаритные размеры 325.8×107×41 (DPU-3200) или 325×107×41 мм (DRP-3200) и ориентированы на применение в телекоммуникационном оборудовании, устройствах зарядки аккумуляторных батарей, станциях зарядки электромобилей и пр.

Блоки питания DPU-3200, DRP-3200 имеют во многом аналогичные характеристики, отличаются типом и компоновкой разъемов, наборов поддерживаемых цифровых интерфейсов и предназначены для установки в низкопрофильные 19-дюймовые телекоммуникационные монтажные стойки, имеющие стандартную высоту ячейки 1U. Блок питания DRP-3200 для подключения внешних цепей питания и управления/контроля содержит встроенный разъем типа Positronic PCIM34W13M400A1. Блок пита-



Рис. 1. Блоки питания DPU-3200 и DRP-3200

ния DPU-3200 для подключения цепей управления/контроля содержит два разъема: HRS DF11-16 и HRS DF11-4.

В табл. 1 даны основные характеристики блоков питания серии DPU-3200 и DRP-3200. Функциональная схема DPU-3200 приведена на рис. 2. Блоки снабжены встроенным активным корректором коэффициента мощности (PF). КПД – до 94.5% при выходном напряжении 48 В.

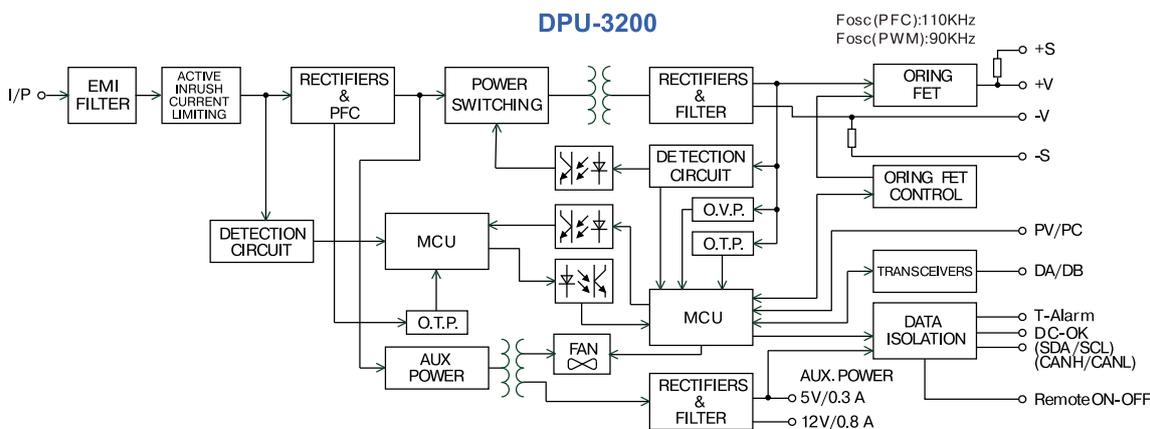


Рис. 1. Функциональная схема блока питания DPU-3200

Таблица 1. Основные характеристики блоков питания серии DPU/DRP

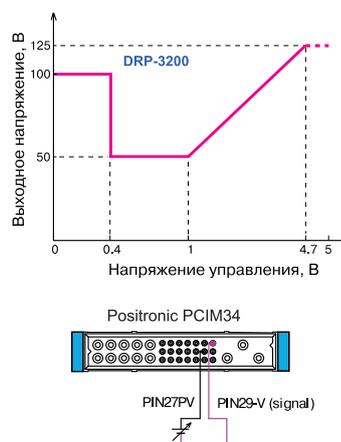
Наименование параметра	Обозначение			
	DPU-3200-24	DPU-3200-48	DRP-3200-24	DRP-3200-48
Вход				
Диапазон вх. напряжений, В	90...264 переменного тока (47...63 Гц), 127...370 постоянного тока			
Входной ток, А (вх. напряж. перем. тока, В)	17 (230)			
КПД, типов., %	93.5	94.5	93.5	94.5
Коэффициент мощности (PF), типов.	0.97 (230 В) при полной нагрузке			
Ток утечки, не более, мА	2 (230 В переменного тока)			
Пусковой ток, А (тип.)	55 (230 В переменного тока)			
Выход				
Номинальное вых. напряж., В	24	48	24	48
Номинальный вых. ток, А	133	67	133	67
Номинальный вых. мощность, Вт	3192	3216	3192	3216
Диапазон регулировки вых. напряж., В	23.5...30	47.5...58.8	23.5...30	47.5...58.8
Суммарная погрешность вых. напряж., %	±1			
Погрешность вых. напр., % при изменении вх. напряжения и тока нагрузки	±0.5			
Уровень шумов и пульсаций вых. напряж., п-п, макс. в полосе 20 МГц, мВ	300	480	300	480
Время старта, мс	1500, 60 (230 В)			
Защита от перегрева	+ (с авт. восстановлением после устранения причины)			
Защита от перегрузки	105...115% P _{НОМ} (с авт. восстановлением после устранения причины)			
Защита от перенапряжения	31.5...37.5 В	63...75 В	31.5...37.5 В	63...75 В
	(с авт. восстановлением после устранения причины)			

Предусмотрена защита от перегрева, перегрузки и перенапряжения. Кроме того, имеется возможность регулировки величины выходного напряжения в небольшом диапазоне, а также предусмотрена возможность дистанционного включения и выключения блока питания.

В блоках питания реализована возможность подключения к двухпроводной шине CANBus (Controller Area Network Bus) с использованием выводов CANL, CANH или PMBus (Power Management Bus) – соответственно, выводов SDA, SCL [1, 2].

В дополнение к возможности регулировать выходное напряжение с помощью встроенного потенциометра предусмотрена также возможность регулировки выходного напряжения в диапазоне 50...125% от номинального значения благодаря изменению управляющего напряжения на специально

предназначенных выводах (рис. 3).


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения от напряжения управления

Продолжение таблицы 1

Электромагнитная совместимость (ЭМС)			
	Параметр	Стандарты	Примеч.
Электромагнитные помехи (EMC Emission)	Кондуктивные помехи	EN55032 (CISPR32)/ EN55011 CISPR11)	Класс В
	Излучаемые помехи		Класс А
	Эмиссия гармонических составляющих потребляемого тока	EN61000-3-2	—
	Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера (Voltage Flicker)	EN61000-3-3	—
Электромагнитная устойчивость (EMC Immunity)	Электромагнитная совместимость технических средств (стандарты EN55024, EN61000-6-2)		
	Параметр	Стандарты	Примечание
	Устойчивость к электростатическим разрядам (ESD)	EN61000-4-2	Степень жесткости испытаний 3, 8 кВ (воздушный разряд). Степень жесткости испытаний 2, 4 кВ (контактный разряд).
	Устойчивость к излучаемому электромагнитному полю	EN61000-4-3	Испытательный уровень 3
	Устойчивость к наносекундным импульсным помехам	EN61000-4-4	Степень жесткости испытаний 3
	Устойчивость к выбросу напряжения	EN61000-4-5	Степень жесткости испытаний 4: • 2 кВ (линия-линия) • 4 кВ (линия-земля)
	Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным электромагнитным полем	EN61000-4-6	Степень жесткости испытаний 3
	Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты	EN61000-4-8	Степень жесткости испытаний 4
	Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания	EN61000-4-11	• провалы >95% в течение 0.5 периода • провалы >30% в течение 25 периодов • прерывания напряжения >95% в течение 250 периодов

Блоки питания серии DPU-3200 и DRP-3200 выдерживают вибрации уровнем до 2 g в диапазоне частот 10...500 Гц. Диапазон рабочих температур - 30...70 °С. В случае эксплуатации блоков питания на высоте более 2000 м над уровнем моря максимальная рабочая температура снижается со скоростью 3.5 °С/1000 м (в режиме принудительного обдува вентилятором) или 5 °С/1000 м (если обдув не используется).

С целью исключить влияние падения напряжения на соединительных проводах на точность измерения напряжения на нагрузке, для подключения датчика напряжения (рис. 4) предусмотрены специальные клеммы (S-, S+).

Зависимость выходной мощности от входного напряжения приведена в табл. 2 (DRP-3200), график зависимости величины нагрузки от входного напряжения – на рис. 5.

Продолжение таблицы 1

Безопасность, надежность, окружающая среда, габаритные размеры		
Стандарты безопасности	UL62368-1, TUV EN62368-1, EAC TP TC 004	
Прочность изоляции, кВ	3 (вход/выход), 2 (вход/корпус), 1.5(выход/корпус)	
Сопротивление изоляции, не менее, МОм	Вход-выход, вход-корпус, выход-корпус: 100 (500 В пост. тока, 25 °С, влажность 70%)	
Среднее расчетное время между отказами, мин., тыс. ч MIL-HDBK-217F (25 °С)	44.9	44.5
Среднее расчетное время между отказами, мин., тыс. ч Telcordia SR-332 (Bellcore)	168	176.1
Диапазон рабочих температур, °С	-30...70	
Относительная влажность воздуха, %	20...90 (без выпадения конденсата)	
Габаритные размеры, мм	325.8×107×41	325×107×41
Масса, кг	2.76	2.65
Гарантия	5 лет	

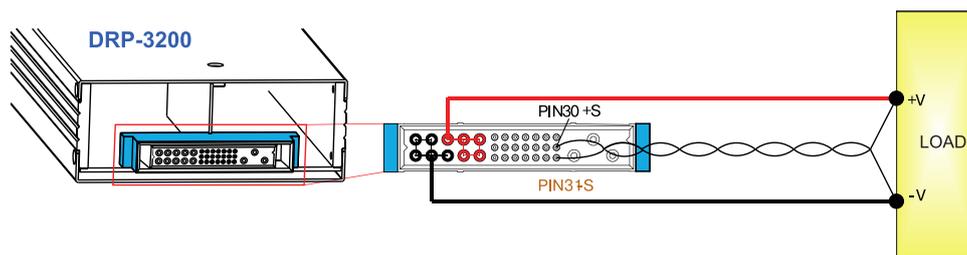


Рис. 4. Вариант подключения датчика напряжения к нагрузке

Таблица 2. Зависимость выходной мощности от входного напряжения (DRP-3200)

Блок питания DRP-3200		
Вых. напряж., В	Вх. напряжение, В	
	180...305	90
24	3192 Вт (133 А)	1596 Вт (66.5 А)
48	3216 Вт (67 А)	1608 Вт (33.5А)

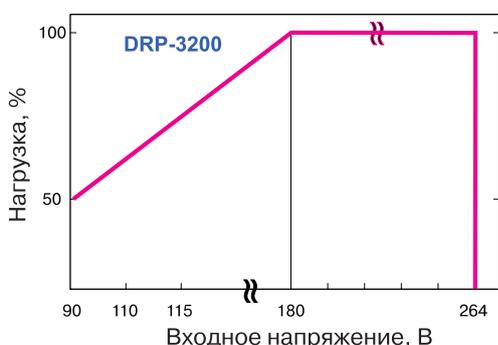


Рис. 5. График зависимости выходной мощности от входного напряжения (DRP-3200)

Допускается параллельное подключение блоков питания, что дает возможность увеличить выходную мощность до 12800 Вт при использовании четырех блоков DRP-3200, до 25600 Вт – восьми DRP-3200 [2] или до 16000 Вт – пяти DPU-3200 [1].

Расчет среднего прогнозируемого времени наработки между отказами (Mean Time Between Failures – MTBF) осуществляется с использованием методик, изложенных в спецификациях MIL-HDBK-217F и Telcordia Special Report (SR) -332 (Bellcore).

MIL-HDBK 217 (Military Handbook 217) – военный справочник, впервые представленный Министерством обороны США в 1961 году с целью стандартизации алгоритмов определения параметров надежности военного электронного оборудования, что в конечном счете могло бы способствовать повышению надежности разрабатываемых изделий.

Изложенный в спецификациях Telcordia SR-332 (Bellcore) метод расчета широко применяется при определении показателей надежности телекоммуникационного оборудования. В основе метода лежат рекомендации справочника MIL-HDBK-217, однако алгоритмы были модифицированы, с учетом особенностей эксплуатации телекоммуникацион-

ного оборудования.

В европейском стандарте EN61000-3-3 приведены нормы и условия испытаний электрооборудования разного типа (холодильников, стиральных машин, фен, водонагревателей, компьютеров, телевизоров и пр.) для определения колебаний напряжения и фликера на сетевых зажимах испытуемого оборудования, измеренным или рассчитанным в соответствии с указаниями стандарта. В Украине действует стандарт ДСТУ EN 61000-3-3: 2014 ("Электромагнітна сумісність. Частина 3-3. Норми. Норми на рівні флуктуацій напруги та флікера в низьковольтних системах електроживлення для устаткування з номінальною силою струму до 16 А

на фазу, не призначеного для підключення за певних умов (EN 61000-3-3:2013, IDT)").

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

ЛИТЕРАТУРА

1. 3200W Power supply with single output DPU-3200 series.
2. 3200W Rack mountable front-end rectifier DRP-3200 series.

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 др.)
- ▀ 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
PCB Professionally

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

КОНТРОЛЛЕР АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ЗАЩИТОЙ ОТ ОБРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В статье приведена краткая информация о контроллере LT8672, предназначенном для построения активных выпрямителей. Использование контроллера совместно с полевым транзистором позволяет снизить потери по сравнению с выпрямителем на диодах Шоттки не менее чем на 90%. Малое падение напряжения на активном выпрямителе и широкий частотный диапазон входных напряжений расширяют его функциональные возможности.

В. Макаренко

ACTIVE RECTIFIER CONTROLLER WITH REVERSE VOLTAGE PROTECTION

Abstract – The article provides a brief information about the controller LT8672, designed to build active rectifiers. The use of the controller in conjunction with the field-effect transistor reduces losses compared to the rectifier on Schottky diodes by at least 90%. The low voltage drop on the active rectifier and the wide frequency range of input voltages expand its functionality.

V. Makarenko

Применение активных выпрямителей вызвано необходимостью уменьшить потери мощности и обеспечить работу в широком диапазоне частот. Выпрямитель, построенный с использованием диодов Шоттки, имеющий параметры близкие к параметрам активного выпрямителя, требует использования диодов с очень хорошими характеристиками. Зачастую подобрать диод Шоттки для решения поставленной задачи становится невозможным.

Компания Analog Devices выпускает контроллер активного выпрямителя LT8672, обеспечивающий надежную работу в диапазоне частот входного переменного напряжения до 100 кГц [1]. Контроллер предназначен для применения в системах защиты аккумуляторов автомобилей, портативных и промышленных устройств от обратного напряжения.

Основные характеристики LT8672 [1]:

- защита от обратного напряжения до 40 В
- по сравнению с диодом Шоттки
 - ♦ уменьшены потери мощности на выпрямителе более чем на 90%
 - ♦ уменьшено падение напряжения на выпрямительном элементе до 20 мВ
- малое время переходных процессов позволяет сглаживать напряжение переменной составляющей на входе выпрямителя с размахом
 - ♦ 6 В (п-п) в диапазоне частот до 50 кГц
 - ♦ 2 В (п-п) в диапазоне частот до 100 кГц
- широкий диапазон входных напряжений от 3 до 42 В
- ток покоя не более 20 мкА
- ток потребления в спящем режиме не более 3.5 мкА
- пороговое напряжения включения в рабочий

режим 1.21 В

- корпус MSOP-10 с габаритными размерами 3×2 мм.

Уменьшение потерь энергии на активном выпрямителе облегчает отвод тепла от элементов печатной платы. При отсутствии входного напряжения или при коротком замыкании в источнике питания за счет быстрого выключения выпрямителя уменьшаются обратные токи во время переходных процессов. Фактически контроллер совместно с внешним полевым транзистором выполняет функцию активного выпрямителя и фильтра пульсаций.

Функциональная схема контроллера приведена на рис. 1. Для включения контроллера необходимо на вход EN/UVLO подать положительное напряжение больше чем 1.21 В. Компаратор К1 сравнивает это напряжение с опорным, формируемым источником опорного напряжения, и включает драйвер затвора внешнего полевого транзистора. Для контроля уровня пульсаций выходного напряжения на вход AUX подается переменное напряжение с выхода выпрямителя через конденсатор C_{AUX} . Внутренний ключ на полевым транзисторе, подключенный к выводу AUXSW, выполняет функции вспомогательного регулятора уровня пульсаций и позволяет снизить уровень ЭМП, создаваемых при работе выпрямителя.

Для проверки возможностей контроллера и анализа его работы в различных режимах можно воспользоваться моделью [2] с типовой схемой включения LT8672. На рис. 2,а приведена модель активного выпрямителя для программы LTspice, построенного на базе ИМС LT8672, а на рис. 2,б – выпрямителя с использованием диода Шоттки. В каче-

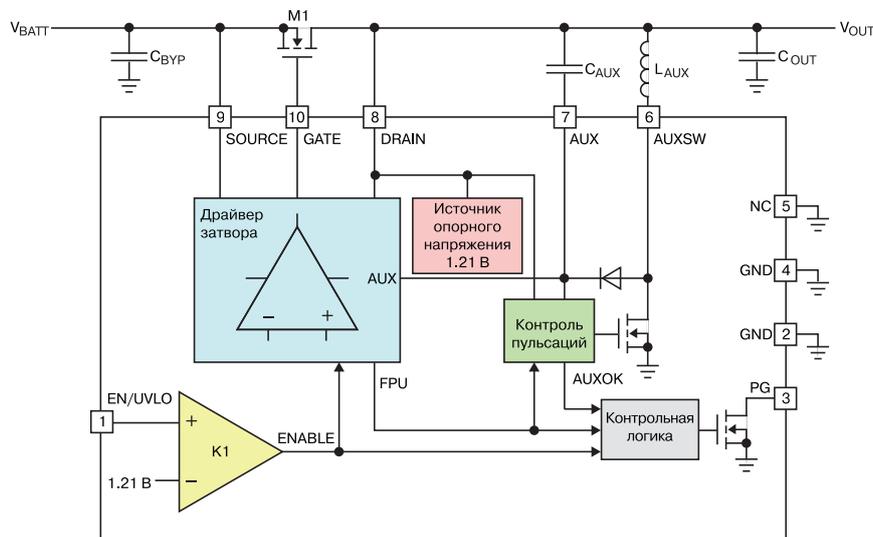


Рис. 1. Функциональная схема контроллера активного выпрямителя LT8672

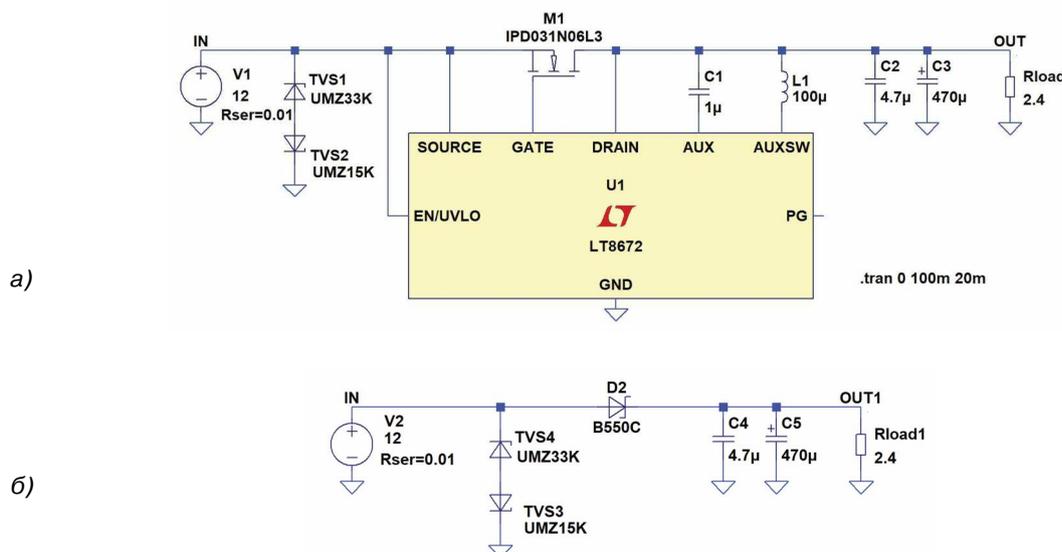


Рис. 2. Модели для исследования параметров активного выпрямителя (а) и выпрямителя на диоде Шоттки (б)

стве диода Шоттки использован диод BV550C с такими характеристиками:

- допустимое обратное напряжение 45 В
- средний выпрямленный прямой ток 5 А.

Измерим КПД двух схем при подаче на вход одинакового постоянного напряжения 12 В (источник напряжения на входе имитирует аккумулятор). На рис. 3,а приведены значения измеренной мощности на входе, а на рис. 3,б – на выходе активного выпрямителя. Аналогичные значения для схемы с диодом BV550C приведены на рис. 4,а и 4,б, соответственно.

Для того, чтобы исключить влияние переходного

процесса (длительность примерно 8 мс) использована директива моделирования **.tran 0 100m 20m**. Т.е. время анализа составляет 100 мс, а начало записи ре-

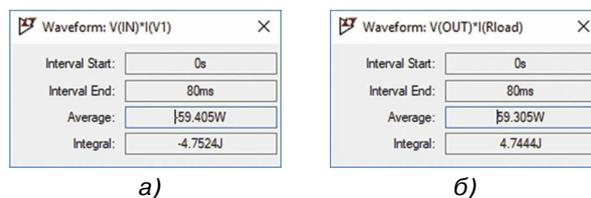


Рис. 3. Значение мощности, измеренной на входе (а) и на выходе (б) активного выпрямителя

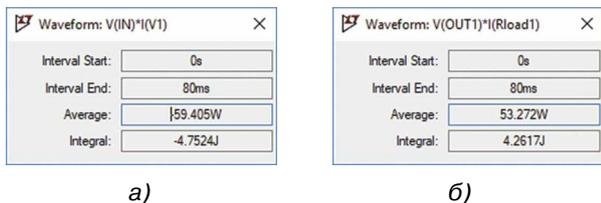


Рис. 4. Значение мощности, измеренной на входе (а) и на выходе (б) выпрямителя на диоде BV550C

зультатов измерений начинается с 20 мс. Внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи (задано равным 0.01 Ом) учтено в параметре источника входного напряжения Rser=0.01. Временные диаграммы входного и выходного напряжения, а также входной и выходной мощности для схемы активного выпрямителя приведены на рис. 5.

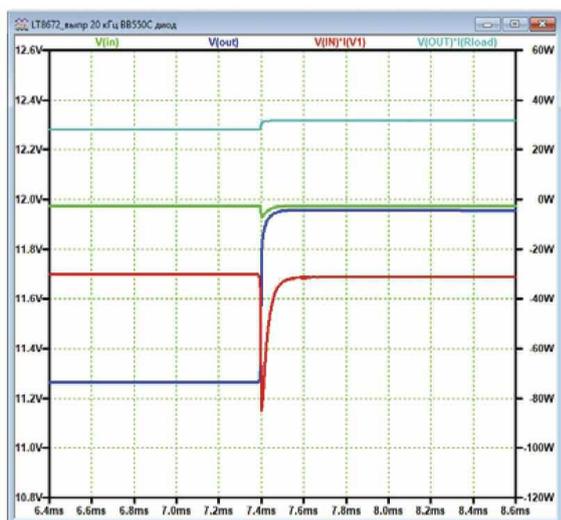


Рис. 5. Временные диаграммы входного (зеленая) и выходного напряжения (синяя), а также входной (красная) и выходной мощности (голубая) для схемы активного выпрямителя

Вычисленный по измеренным значениям КПД составил 99.9%, а для выпрямителя на диоде BV550C – 92%. При замене диода на более мощный 1N6823 с обратным напряжением 100 В и средним выпрямленным прямым током 100 А, КПД выпрямителя на диоде увеличился до 96%. Из приведенных результатов измерений следует, что КПД активного выпрямителя при работе на постоянном токе значительно выше, чем при использовании диода Шоттки.

Чтобы проверить как ведет себя активный выпрямитель при подаче на его вход переменного напряжения или постоянного напряжения с pulsa-

циями, можно использовать модель, приведенную на рис. 2, а, но задать параметры входного напряжения аналогично показанным на рис. 6.

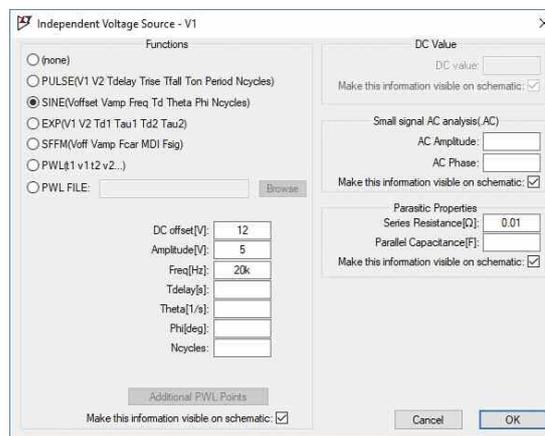


Рис. 6. Параметры источника входного сигнала

При наличии постоянной составляющей 12 В и переменной составляющей амплитудой 5 В активный выпрямитель формирует на выходе напряжение, форма которого показана на рис. 7.

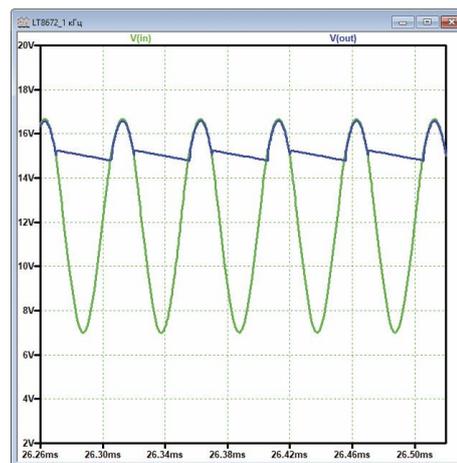


Рис. 7. Временные диаграммы напряжений на входе (зеленая) и на выходе (синяя) активного выпрямителя при частоте переменной составляющей 20 кГц

Как следует из приведенных диаграмм, схема работает как выпрямитель, а уровень пульсаций определяется емкостью конденсаторов, включенных параллельно нагрузке. На рис. 7 емкость, подключенная параллельно нагрузке, равна 470 мкФ и амплитуда пульсаций составляет 1.8 В. Рассчитать емкость конденсатора, необходимую для обеспечения необходимого уровня пульсаций, можно по формуле

$$C_L = [(4U_{AC} - U_R)I_L] / 4fU_{AC}U_R,$$

где U_{AC} – амплитуда переменной составляющей на входе выпрямителя, f – частота переменной составляющей, U_R – амплитуда пульсаций на выходе выпрямителя, I_L – ток нагрузки.

В [1] приведены результаты сравнительных исследований выпрямителей на диоде Шоттки и на полевом транзисторе, управляемом ИМС LT8672. На рис. 8,а приведены зависимости мощности, рассеиваемой на выпрямительном элементе от тока, протекающего через выпрямитель, а на рис. 8,б – падения напряжения на этом элементе от тока.

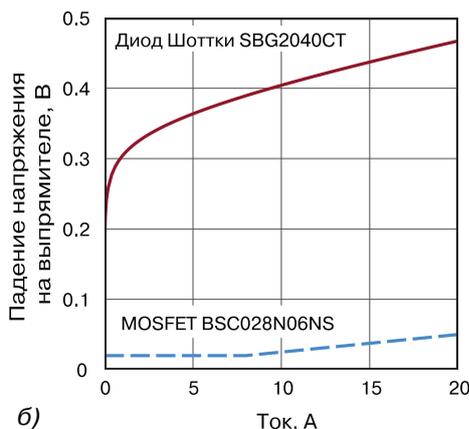
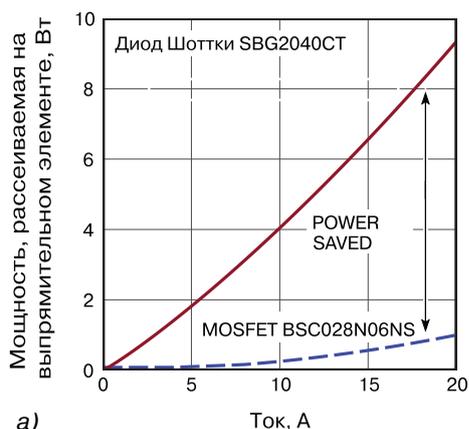


Рис. 8. Зависимости мощности, рассеиваемой на выпрямительном элементе (а) и падения напряжения на нем (б) от тока, протекающего через выпрямитель

Из приведенных зависимостей следует, что чем больше ток нагрузки выпрямителя, тем больше выигрыш активного выпрямителя, управляемого ИМС LT8672.

На рис. 9,а приведены карта распределения тепла на плате активного выпрямителя с использова-

нием ИМС LT8672, а на рис. 9,б – с использованием диода Шоттки [2]. Из рис. 9 следует, что отвод тепла

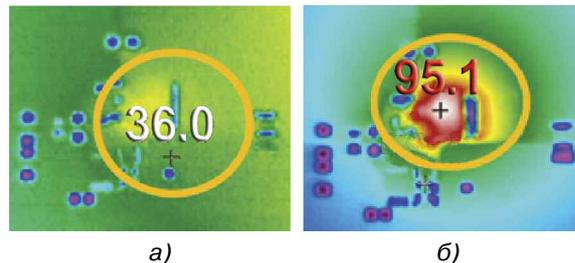


Рис. 9. Карты распределения тепла на плате активного выпрямителя с использованием ИМС LT8672 (а) и с использованием диода Шоттки (б)

от активного выпрямителя осуществить гораздо проще, так как мощность, рассеиваемая на нем, значительно меньше, чем на диодном выпрямителе.

В [3] приведена схема, перечень элементов и расположение элементов на плате для испытаний активных выпрямителей с использованием ИМС LT8672, а в [4] – полная техническая документация для изготовления печатной платы.

Более подробную информацию о контроллере синхронного выпрямителя LT8672 можно найти в [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt8672.pdf>
2. http://www.analog.com/media/en/reference-design-documentation/design-notes/DN572_web.pdf
3. <http://www.analog.com/media/en/dsp-documentation/evaluation-kit-manuals/DC2548AF.PDF>
4. <http://www.analog.com/media/en/reference-design-documentation/design-integration-files/DC2548A.zip>

VD MAIS

Измерительные приборы

- Осциллографы • Генераторы
- Логические анализаторы
- Анализаторы спектра
- Измерители параметров видеосигналов
- Источники питания • Частотомеры
- Мультиметры • Тепловизоры
- Виброметры

Дистрибуция и прямые поставки:
Tektronix, Fluke, Keithley, Rohde@Schwarz, Hameg, Uni-Trend

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



Технологические материалы фирм AIM и Electrolube



www.aimsolder.com

ELECTROLUBE
THE SOLUTIONS PEOPLE

www.electrolube.com



VD MAIS – официальный дистрибьютор 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@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua

СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDiL. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КСС

В статье приведены основные технические характеристики оптических компонентов компании LEDiL, а также способы визуализации кривых силы света.

В. Охрименко

OPTIC MODULES OF LEDiL. VISUALIZATION OF RADIATION PATTERNS

Abstract – The main characteristics of optic modules are considered in this article.

V. Okhrimenko

ВВЕДЕНИЕ

Финская компания LEDiL специализируется на выпуске вторичной оптики. Многообразие выпускаемой продукции позволяет найти линзы, наиболее полно удовлетворяющие требования заказчиков [1-4]. Кроме того, компания предоставляет файлы в формате IES (Illuminating Engineering Society – Общество проектирования осветительных приборов), которые могут быть полезны в случае работы со специализированным программным обеспечением (например, DIALux), позволяющим моделировать освещенность разных объектов при использовании оптических линз в процессе проектирования светотехнических систем.

В статье приведена информация о характеристиках светодиодной оптики компании LEDiL, а также о простых способах визуализации кривых силы света в случае использования стандартного программного обеспечения:

- IESViewer
- DIALuxevo
- Autodesk 3ds MAX.

КРИВЫЕ СИЛЫ СВЕТА

В технической документации на светодиоды приводится их энергетическая характеристика, т.е. значение полного светового потока, поскольку именно этот параметр характеризует излучение, распространяемое от источника по всем направлениям. Однако потребителя зачастую интересует не полный световой поток, а тот поток, который распространяется в определенном направлении или падает на определенную поверхность. Проекторы должны обеспечить большой световой поток в сравнительно узком телесном угле. При освещении рабочего стола интересует поток, приходящийся на вполне конкретную поверхность или объект. Поэтому в светотехнике кроме светового потока (Φ) применяются и другие физические величины – это сила

света (I), освещенность (E), яркость (L) и др.

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

Сила света (I) – отношение светового потока (Φ), распространяющегося внутри телесного угла (Ω), к этому углу. Единица измерения силы света в Международной системе единиц (СИ) – кандела ($1 \text{ кд} = 1 \text{ лм/ср}$), что соответствует световому потоку 1 лм , равномерно распределенному внутри телесного угла 1 стерадиан (ср). Телесный угол – часть пространства, заключенного внутри конической поверхности. Среднюю силу света можно рассчитать по формуле

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

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

Важная характеристика диаграммы направленности – ширина телесного угла, в пределах которого интенсивность излучения составляет не менее половины значения, измеренного в направлении ее максимума. Этот параметр обычно обозначают как "ширина диаграммы направленности" или "угол половинной яркости" (Full Width at Half Maximum –

FWHM). Форма диаграммы направленности определяет, какая часть общего светового потока заключена внутри упомянутого телесного угла.

В примере (рис. 1) максимальная сила света источника – 200 кд, половина силы света, соответственно, – 100 кд. Угол, при котором сила света достигает 100 кд, т.е. угол половинной яркости равен $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ (половина этого угла отмечена на рисунке розовым цветом). Угол половинной яркости (иногда называемый еще углом свечения) – одна из величин, характеризующих источник света. Этот угол показывает насколько направлен или рассеян световой поток. Его определяют, как угол светового конуса, при котором сила света источника равна половине его максимальной силы. Как правило, более направленные источники отличаются более узким углом половинной яркости.

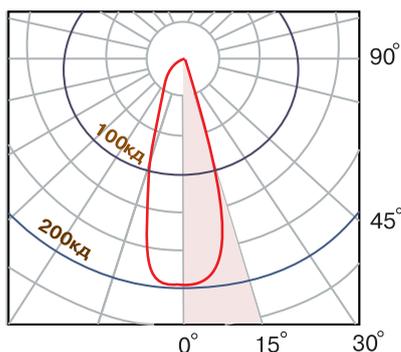


Рис. 1. Определение угла половинной яркости

Существует ряд рекомендованных региональными стандартами типовых диаграмм распределения

силы света. В табл. 1 приведены примеры обозначения некоторых диаграмм направленности (глубокой, косинусной, широкой, равномерной, синусной и пр.) в зависимости от ширины светового пучка (луча). Подробное описание типовых диаграмм можно найти в соответствующих национальных стандартах. Их классификация основана на двух характеристиках: зоне направлений максимальной силы света и коэффициенте формы (K_Φ). Под последним подразумевается отношение максимальной силы света в данной плоскости к среднеарифметической силе света для этой плоскости. На рис. 2 приведены некоторые типовые диаграммы направленности светильников.

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

Кривые силы света (КСС) – диаграммы распределения силы света (I), представленные в полярных или декартовых системах координат. Как правило, КСС, приводимые в документации производителей, – это графическое изображение распределения светового потока в пространстве, которое представляется в виде графиков $I = f(a)$ и $I = f(b)$, где a и b – углы распространения светового потока, соответственно в продольной и поперечной плоскостях. Например, чем больше кривые напоминают овал, вытянутый вдоль оптической оси источника, тем

Таблица 1. Типовые диаграммы направленности

Тип кривой силы света		Зона направлений максимальной силы света, град	Коэффициент формы кривой силы света
Обозначение	Наименование		
К	Концентрированная	0...15	$K_\Phi \geq 3$
Г	Глубокая	0...30, 180...150	$2 \leq K_\Phi < 3$
Д	Косинусная	0...35, 180...145	$1.3 < K_\Phi < 2$
Л	Полуширокая	35...55, 145...125	$1.3 \leq K_\Phi$
Ш	Широкая	55...85, 125...95	$1.3 \leq K_\Phi$
М	Равномерная	0...180	$K_\Phi \leq 1.3 (I_{\min} > 0.4I_{\max})$
С	Синусная	70...90, 110...90	$1.3 < K_\Phi (I_0 < 0.7I_{\max})$

I_0 – сила света в направлении оптической оси (0°),
 I_{\min}, I_{\max} – минимальное и максимальное значение силы света.

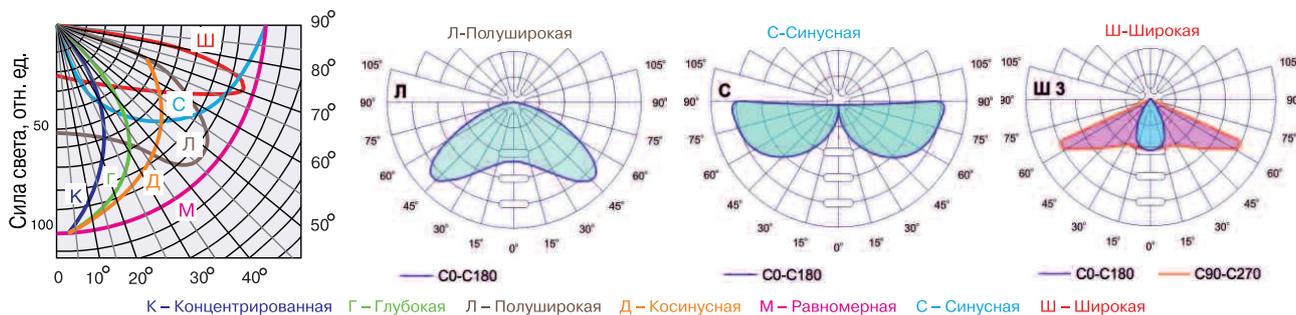


Рис. 2. Типовые диаграммы распределения силы света

выше освещенность в центре светового пятна.

ВЫБОР ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Формирование заданного светового потока – нетривиальная задача, требующая специальных знаний, опыта, времени и пр. Поэтому всегда предпочтительнее использовать продукцию компаний, специализирующихся на разработке и производстве оптических линз для светодиодов. В последнее время в ассортименте оптических элементов для светодиодных светильников, в том числе и для уличных, наметилась тенденция к переходу от одиночных линз к блочным. Основные причины – это существенное снижение суммарной стоимости линз, а также отказ от использования дополнительного защитного стекла, что исключает искажения и снижает потери светового потока.

Уличное освещение – одна из сфер, где востребовано применения светодиодных светильников. Надлежащее освещение автомобильных дорог играет ключевую роль в обеспечении безопасности движения. Поэтому проект освещения автомагистрали должен разрабатываться с учетом всех действующих норм и правил, а также реальных условий эксплуатации, т.е. следует принимать во внимание потери светового потока, назначение дороги, характер движения и дорожного покрытия. Светильники, устанавливаемые на дорогах и шоссе, должны удовлетворять специфическим требованиям для обеспечения качественного освещения. Это, в первую очередь, – надежность и долговечность, прочность и герметичность конструкции корпуса, гарантия работоспособности в жестких условиях эксплуатации (в широком диапазоне температур, большой влажности, при обледенении и т.п.).

Уличный светильник должен обеспечить весьма специфическое пространственное распределение светового потока. Основная задача, которую следует решить при создании светильника, – это выбрать

оптические компоненты (линзы), которые будут обеспечивать гарантированную для выбранных светодиодов диаграмму направленности. Кроме того, необходимо учитывать конструктивные особенности линз, т.к. они оказывают значительное влияние на конструкцию светильника. Форма и размеры линз определяют порядок размещения светодиодов при их монтаже на печатной плате, а также габаритные размеры и внешний вид светильника, который зависит и от устойчивости выбранных оптических компонентов к воздействию окружающей среды. Необходимо также предусмотреть возможность модернизации светильника посредством простой замены оптических элементов для получения иной диаграммы КСС. И, конечно, стоимость, которая во многом зависит от стоимости оптических компонентов и технологических особенностей их использования. Учет всех перечисленных, а также упомянутых факторов, которые следует принимать во внимание при проектировании светодиодных светильников, – нетривиальная проблема. Важнейшая фотометрическая характеристика светильников и, соответственно, линз – кривые силы света. Собственно, диаграмма направленности светового потока и должна гарантировать необходимую освещенность автомобильных магистралей, пешеходных переходов и т.п.

Расчеты освещенности объектов обычно выполняются с помощью специального программного обеспечения (например, DIALux или иного), использование которого позволяет определить не только важные фотометрические характеристики (величину светового потока, уровень освещенности и пр.), а также пространственное распределение светового потока. Исходя из результатов моделирования, выбираются необходимые оптические компоненты (линзы, рефлекторы и пр.), рассчитывается требуемое число светодиодов, а также другие важные электротехнические и др. параметры светильников.

В процессе выбора светодиода с первичной оп-

тикой и, если потребуется, дополнительной вторичной оптикой, прежде всего необходимо проанализировать их диаграммы направленности. Т.е. определить, имеется ли ось или плоскость симметрии, а также расположение максимальных значений силы света и пр. Если диаграмма круглосимметричная, следует найти максимальную силу света и значение угла половинной яркости (FWHM). Если выбранный светодиод не обеспечивает требуемые параметры освещенности, следует применять вторичную оптику. Как правило, формирование простых круглосимметричных типовых диаграмм (типа К, Г, Д и др.), можно обеспечить благодаря первичной оптике, и это обычно не вызывает особых затруднений.

В наружном освещении и для освещения производственных помещений применяют светильники с косинусной и полуширокой диаграммой направленности. Для общего освещения офисов в основном используются светильники прямого и рассеянного света с косинусной диаграммой. Для подсветки выделенных архитектурных зон и фрагментов интерьера следует выбирать светильники прямого света с концентрированной диаграммой. Чтобы создать "приглушенное" освещение (например, в холле офиса) применяются светильники отраженного света с синусной диаграммой.

Однако далеко не всегда при использовании типовых диаграмм направленности можно создать желаемую освещенность объекта. Для формирования нестандартных несимметричных диаграмм обычно используются специальные линзы или их комбинации.

Очевидно, что при использовании одного и того же источника света, можно добиться разной силы света и освещенности. Если направить весь световой поток или большую его часть внутрь малого телесного угла, то в этом направлении можно получить большую силу света в определенном направлении, как, например, в прожекторе или в автомо-

бильной фаре. Если сконцентрировать, благодаря отражателям или линзам даже сравнительно небольшой световой поток на малой площади, то можно достигнуть большей освещенности этой поверхности.

Оптическая система светодиодного светильника представляет собой отражающую и/или преломляющую оптическую систему, формирующую распределение светового потока в окружающем пространстве. Чтобы выбрать оптимальный вариант оптической системы для конкретного приложения, следует принимать во внимание много характеристик. Это эффективность, внешний вид, конструктивные особенности и многие другие. Однако первостепенная задача – правильный выбор КСС оптической системы. Именно эта характеристика наиболее важна для создания требуемой пространственной освещенности объекта.

В подавляющем большинстве случаев в справочной документации производители линз на диаграмме приводят значения силы света в канделах, причем для источника со световым потоком 1000 лм. Традиционно на КСС-диаграммах даны кривые силы света в двух перпендикулярных плоскостях, проходящих через оптическую ось системы, и обозначаемых C0-C180 и C90-C270 (рис. 3). Если кривые – симметричные, то зачастую диаграмма дается только для одной плоскости. Если график КСС приведен в декартовых координатах, по оси абсцисс откладываются углы в одной из плоскостей, по оси ординат – значения силы света (рис. 3).

Нельзя не отметить, что диаграммы, приведенные только для двух взаимно перпендикулярных плоскостей, дают лишь общее представление о пространственном распределении светового потока. Строго говоря, для симметричных и несимметричных КСС невозможно определить с большой достоверностью освещенность объекта, используя диаграммы только для двух взаимно перпендику-

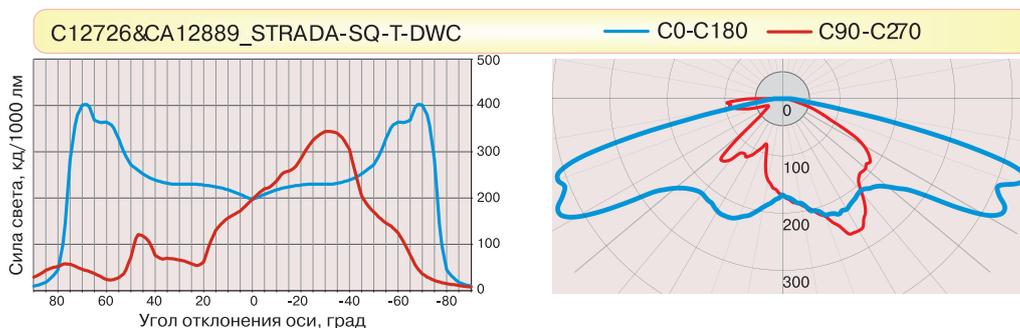


Рис. 3. КСС в прямоугольной и полярной системах координат

лярных плоскостей. В этом случае только использование прототипа светильника гарантирует получение результата, максимально приближенного к реальной картине.

Более того, пользуясь диаграммами КСС только для двух взаимно перпендикулярных плоскостей и не имея соответствующего опыта, крайне сложно представить распределение светового пятна на поверхности. В разного рода справочной документации можно найти примеры изображения светового пятна, получаемого при освещении поверхности с использованием светодиодов и некоторых типов линз. На рис. 4 приведены примеры распределения светового пятна для некоторых линз серии STRADA (LEDiL). Едва ли этой информации для большинства неопытных пользователей будет достаточно.

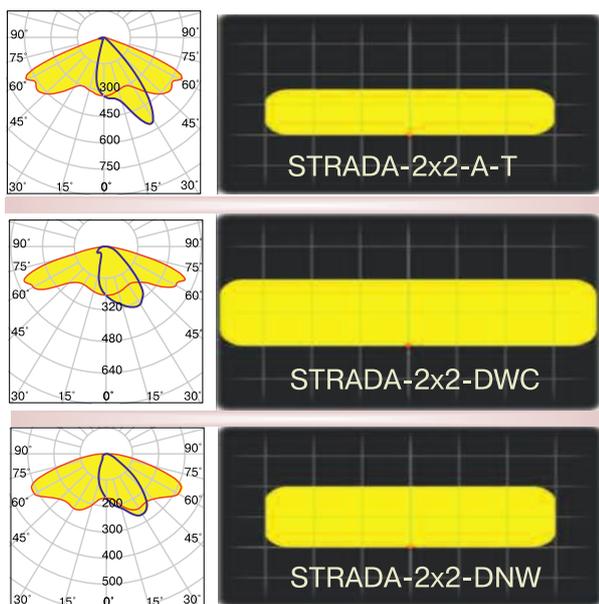


Рис. 4. Примеры светового пятна при использовании линз серии STRADA

Простой пример, наглядно иллюстрирующий ориентацию двух взаимно перпендикулярных плоскостей КСС-диаграммы уличных светильников по отношению к автостраде, показан на рис. 5. Плоскость, обозначенная на рисунке красным цветом (0...180°), расположена вдоль дороги, плоскость синего цвета (90...270°) – поперек дороги.

Вместе с тем, наличие для выбранных источников света файлов в формате IES и соответствующего программного обеспечения позволяет ознакомиться с реальной картиной освещенности объекта и пространственного распределения формируемого светового потока.

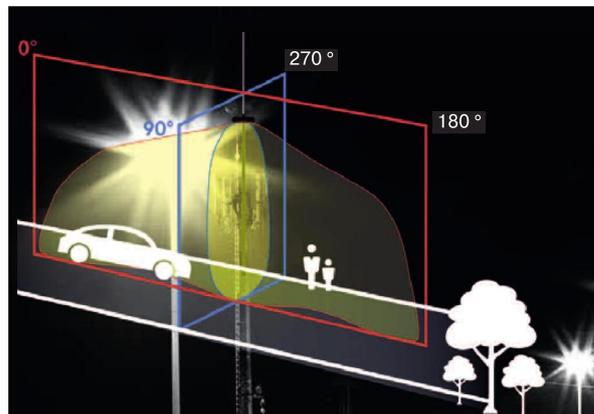


Рис. 5. Ориентация взаимно перпендикулярных плоскостей КСС-диаграммы по отношению к автостраде

IES – стандартный цифровой формат данных, предназначенный для обмена фотометрическими данными, широко используется ведущими производителями светотехнического оборудования и является одним из основных промышленных стандартов. Файлы с расширением IES содержат информацию о пространственном распределении силы света и задействуются во многих программах для моделирования источников освещения. Их можно найти на web-сайтах ведущих производителей светильников и вторичной оптики.

Для просмотра IES-файлов в виде диаграмм можно использовать разные версии популярной программы IES Viewer (например, IES Viewer v3.5), которая является незаменимым помощником в просмотре КСС-диаграмм, представленных в полярных координатах, а также для их визуализации. Кроме того, для этих целей можно рекомендовать программу DIALuxevo 7 (компании DIAL GmbH, Германия), ориентированную на расчет параметров освещения как внутри, так и снаружи помещений, а также мощный полнофункциональный профессиональный программный пакет для создания и редактирования трехмерной графики и анимации Autodesk 3ds MAX. Для моделирования освещения автомобильных дорог, транспортных развязок, мостов, эстакад и т.п. также можно применять программу Light-in-Night Road. Эта программа обеспечивает возможность просмотра и одновременного сравнения кривых силы света нескольких светильников, а также наглядную визуализацию освещаемых объектов и результатов расчета освещения в виде нанесенных на объекты линий равной освещенности, сетки расчетных точек или заливки в фиктивных цветах.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КСС

На рис. 6 приведен вид главного окна программы IES Viewer v3.5. Назначение вспомогательных окон и клавиш управления не требует особого пояснения, интуитивно понятно и во многом совпадает с уже ставшими стандартными в ОС Windows. Программа позволяет выбрать и загрузить нужный IES-файл.

Основное преимущество программы заключается в том, что в одном рабочем окне возможно представить кривые силы света в полярных координатах для разных плоскостей сечения с шагом 5 или 10 градусов, и одновременно в другом окне – наблюдать соответствующее им изображение, полученное в результате визуализации цифровой модели источника света для данной плоскости сечения, по сути, визуализацию цифрового IES-файла. Кроме того, вслед за перемещением указателя манипулятора типа мышь по изображению КСС-диаграммы во всплывающем окне приводятся значения силы света и угла для конкретной точки на диаграмме. В качестве примера на рис. 7 приведены КСС-диаграммы и визуализированные изображения, полученные с помощью программы IES Viewer для источников света:

- FCN14875_JENNY-T4 (светодиод CXA1520)
- FCN15357_RONDA-ZT45_V10_SIMULATED 1000LM.IES.

На рис. 8 приведены КСС-диаграммы и визуализированные изображения для разных плоскостей сечения для источника света, содержащего рекомендованную для уличного освещения линзу C12362_STRADA-2x2-DWC и светодиод серии XP-G2 (Cree).

В отличие от программы IESViewer, в более мощной программе, например, DIALuxevo 7 возможно получить изображение формируемого светового пятна на поверхности для источников света, параметры которых описаны в IES-файле.

На рис. 9 приведены примеры распределения светового пятна при использовании разных линз, в том числе типа C12419_STRADA-2x2-A-T, C12362_STRADA-2x2-DWC и C12360_STRADA-2x2-DNW, использованных в примерах, показанных на рис. 4.

На рис. 10 приведен вид рабочего окна программы Autodesk 3ds MAX – профессионального программного пакета, предназначенного для создания и редактирования трехмерной графики и анимации, который можно использовать для формирования и просмотра освещенности разных объектов.

СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDiL

Оптические линзы компании LEDiL предназначены для использования совместно со светодиодами разных производителей (Cree, LG, Lumileds, Nichia, OSRAM и др.) Их высокое качество определяет при-

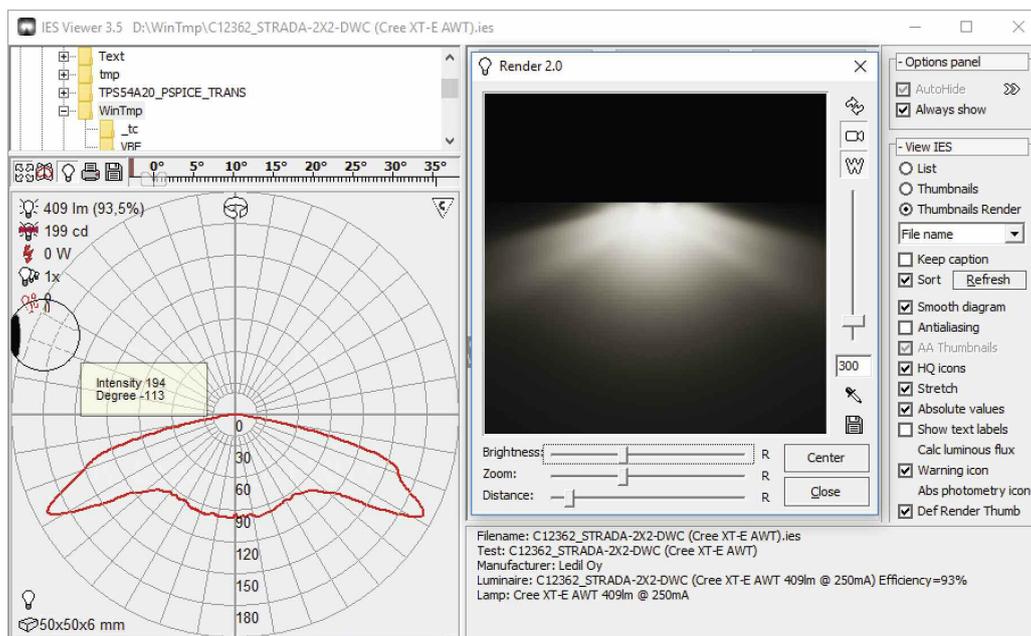


Рис. 6. Вид главного окна программы IES Viewer

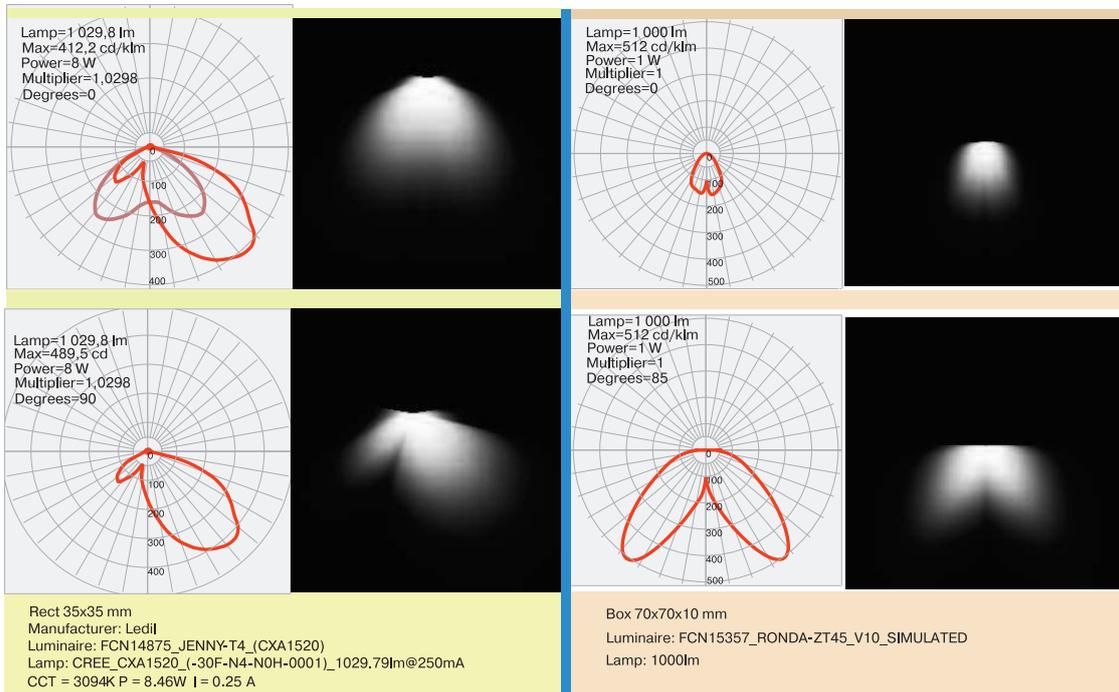


Рис. 7. КСС-диаграммы и визуализированные изображения, полученные с помощью программы IES Viewer

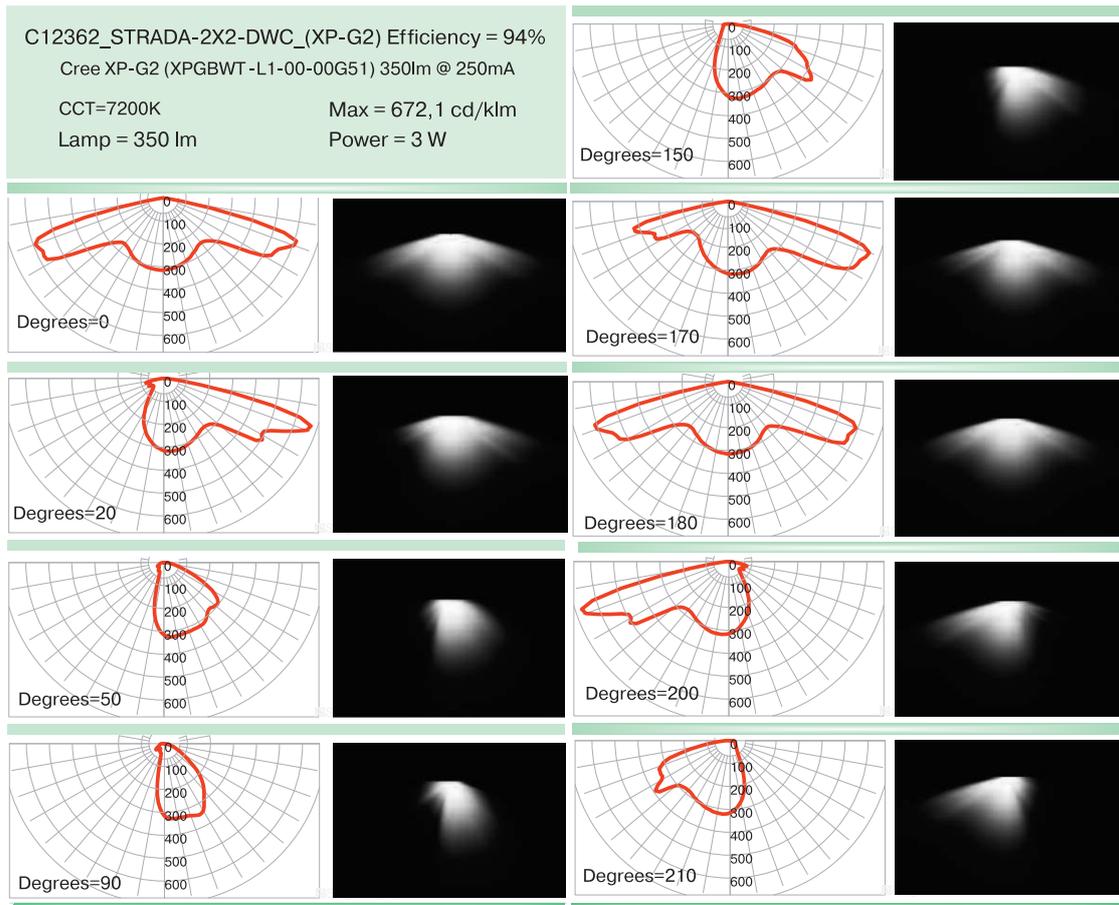


Рис. 8. КСС-диаграммы и визуализированные изображения для разных плоскостей сечения

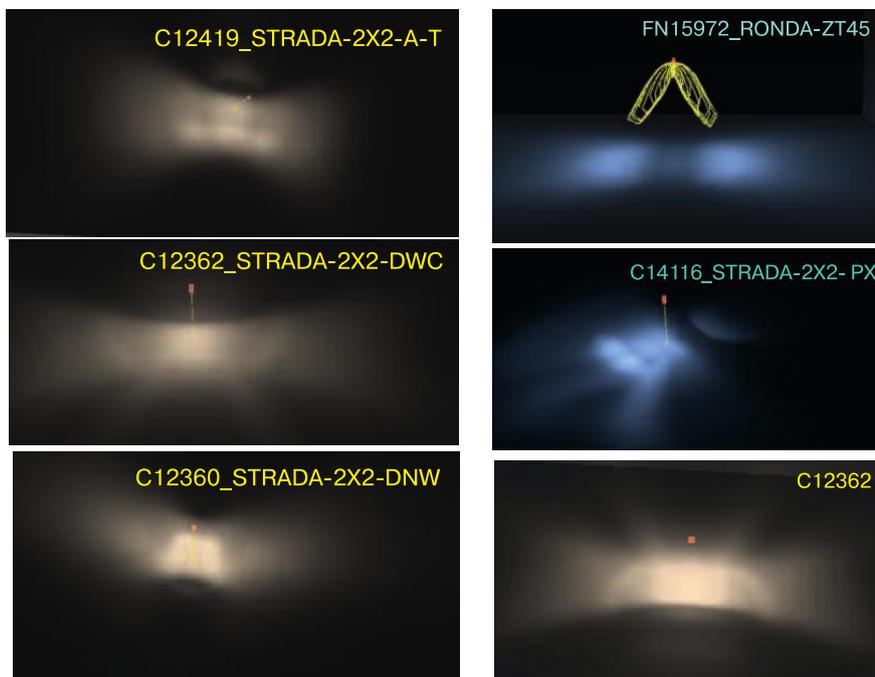


Рис. 9. Примеры изображения светового пятна при использовании программы DIALux v7

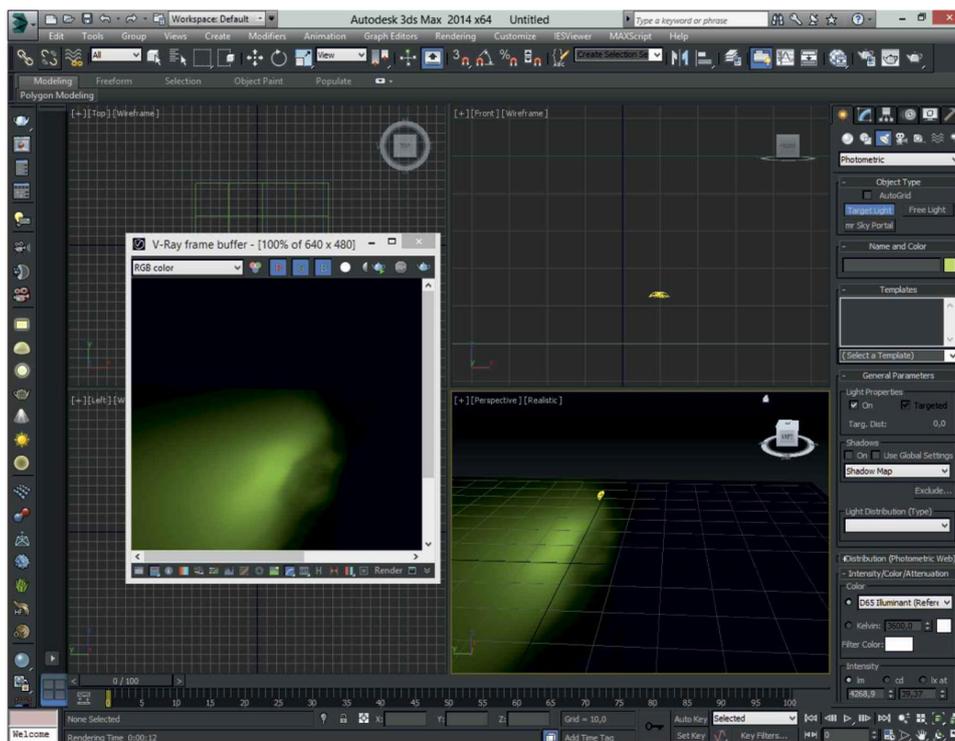


Рис. 10. Вид рабочего окна программы Autodesk 3ds MAX

менение полиметилметакрилата (ПММА). Этот материал отличается высокой прозрачностью, водостойкостью, устойчивостью к воздействию повышенных температур и ультрафиолетового излучения. К преимуществам относится и тот факт, что

спектр проходящего через него светового потока остается неизменным.

Компания LEDiL предлагает также линзы, изготовленные из оптического силикона, благодаря особенностям которого линзы не желтеют и остают-

ся прозрачными при длительной эксплуатации в условиях высоких температур или повышенной влажности воздуха. Оптический силикон – перспективный материал для создания светодиодной оптики, т.к. он лишен ряда недостатков органического стекла (ПММА) и вместе с тем обладает всеми его основными преимуществами (устойчивостью к высоким температурам и хорошей оптической прозрачностью).

По конструктивному исполнению различают круглые и прямоугольные линзы, а также линзы специальной формы. Особенностью прямоугольных линз является возможность их установки вплотную друг к другу без зазоров, что важно при их применении в системах наружного освещения. Выпускаются линзы как для одного, так и для нескольких (от 3 до 16 и более) светодиодов. Линзы типа STRADELLA-IP-16 (размерами 100×60 мм) и STRADELLA-IP-28 (100×100 мм) рассчитаны на использование, соответственно, 16 и 28 светодиодов, имеющих типоразмер корпуса 3535.

Компания LEDiL предлагает как отдельные, так и модульные (блочные) линзы, ориентированные на применение в светодиодных светильниках для уличного освещения. Это линзы серии JENNY, SITARA, STELLA/STELLA-G2, STRADA, STRADELLA, TATIANA. Модульные линзы унифицированы, т.е. имеют фиксированные размеры и совместимы по форме, числу оптических элементов, их взаимному расположению и точкам крепления. Это дает возможность при замене линз корректировать диаграмму направленности без каких-либо конструктивных изменений существующего светильника.

Одиночные или блочные силиконовые линзы серии JENNY размером от 35×35 мм (например, JENNY-CY) до 280×35 мм (JENNY-8x1-CY) предназначены для применения со светодиодами, имеющими типоразмер корпуса до 7070. Производство линз этой серии началось сравнительно недавно. Планируется, что линзы будут изготавливаться с кривыми силы света типа FT45, CY, T4.

Круглые силиконовые линзы типа STELLA-G2 (рис. 11) диаметром 90 мм ориентированы на применение с мощными светодиодами, изготовленными по технологии COB (Chip on Board), с диаметром до 30 мм. По классификации консорциума Zhaga, приведенной в книге Zhaga Book 3, светоизлучающие диоды диаметром 30 мм соответствуют обозначению LES30 (LES – Light Emitting Surface). Ожидается, что линзы серии STELLA-G2 будут выпускаться с КСС типа T2, T3, T4, VSM (рис. 11) и соот-

FN16441_STELLA-G2-T3



Виды КСС для линз типа STELLA-G2

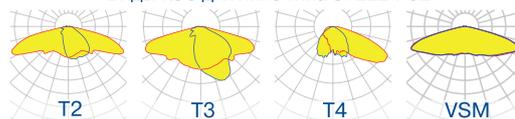


Рис. 11. Круглая силиконовая линза FN16441_STELLA-G2-T3 и виды КСС-диаграмм для линз типа STELLA-G2

ветствовать классу защиты электротехнического оборудования IP67 (International Protection).

В продукции компании LEDiL, предназначенной для применения в уличных светильниках, наиболее широко представлены модульные и одиночные линзы серии STRADA и STRADELLA с симметричными и асимметричными диаграммами направленности. Они ориентированы на использование совместно со светодиодами ведущих компаний, в том числе и компании Cree (например, Cree XLamp и др.). Оптическая эффективность (η) этих линз – 92...94%.

Одиночные и блочные линзы серии STRADA – пожалуй, самой универсальной серии линз, – предназначены специально для применения в светильниках для уличного освещения.

Это одиночные линзы из органического стекла типа STRADA-A/B/C/C2/DW/T-DW/DN/FT/FW/K/S/S-14/ME (размером 19.6×15.5 мм) для применения со светодиодами, имеющими типоразмер корпуса до 3535, и STRADA-SQ-XX (25×25 мм) для светодиодов 7070.

Кроме того, выпускаются разнообразные модульные линзы из органического стекла и поликарбоната:

- STRADA-2x2-XX (размером 50×50 мм) с асимметричной характеристикой для светодиодов с типоразмером корпуса до 5050
- STRADA-2x2CSP-XX (50×50 мм) для мощных светодиодов, изготовленных по технологии CSP (Chip-Scale Packaging)
- SITARA-2x2-XX (50×50 мм) – поликарбонатные линзы (IP67), оптимизированные для применения с плоскими мощными светодиодами типа flat SMD LEDs (типоразмером до 5050), соответствующие требованиям по энергоэффективности министерства энергетика Индии

- STRADA-IP-2x6-XX (173×71.4 мм) с асимметричной характеристикой для светодиодов 5050
- STRADA-2x2MX-XX (90×90 мм) с асимметричной характеристикой для светодиодов 7070, соответствующие классу защиты электротехнического оборудования IP67
- STRADA-6x1-XX (119.8×25.2 мм) с асимметричной характеристикой для светодиодов 3535.

Семейство линз STRADA содержит также силиконовые модульные линзы типа STRADA-2x2MXS (размером 90×90 мм) для применения со светодиодами с типоразмером корпуса до 7070 или светодиодами, изготовленными по технологии COB (диаметром 9 мм). Линзы серии STRADA-2x2MXS соответствуют классу защиты электротехнического оборудования IP67.

Линзы типа STRADA-2x2S-XX (размером 50×50 мм) с асимметричной диаграммой КСС также изготавливаются из оптического силикона. Эти линзы предназначены для использования со светодиодами, имеющими типоразмер корпуса 5050, и ориентированы на применение в уличных светильниках при освещении широких автострад и дорог средней ширины в соответствии с нормативными документами, принятыми в Европе, США и Индии.

Особенность модульных линз – стойкость к воздействию окружающей среды. Это позволяет отказаться от использования защитного стекла, которое, кроме того, что вносит существенные потери, может исказить диаграмму направленности. Модульные линзы STRADA-2x2 в соответствии со своим обозначением рассчитаны на использование с четырьмя светодиодами. Особенность большинства линз серии STRADA – асимметричная диаграмма направленности, именно благодаря которой удается формировать на поверхности световое пятно в виде полосы с оптимальным для улиц и дорог освещением.

Модульные линзы из органического стекла STRADA-6x1 (рис. 12) размерами 119.8×25.2 мм предназначены для применения в уличных светильниках при освещении узких улиц и дорог средней ширины, а также при освещении пешеходных пере-

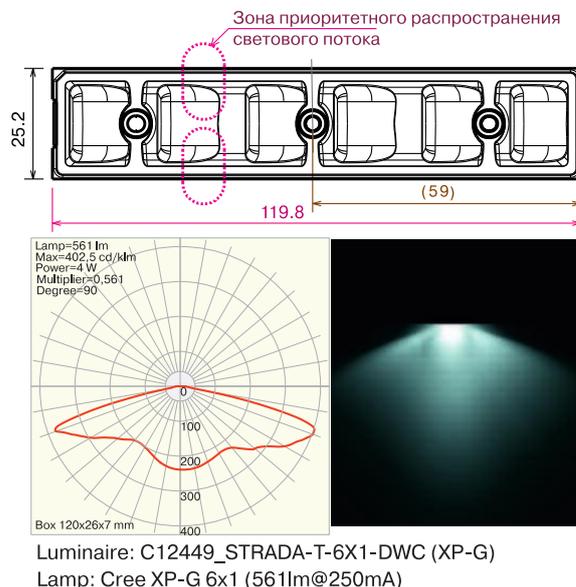


Рис. 12. Примеры светового пятна при использовании линзы C12449_STRADA-T-6X1-DWC

ходов в соответствии с европейскими нормами. Линзы этой серии имеют асимметричную диаграмму направленности. Основные параметры блочных линз серии STRADA-6x1 приведены в табл. 2, а фотометрические данные на рис. 12.

В сравнении с серией STRADA линзы серии STRADELLA имеют меньшую стоимость, а номенклатура ограничена. Использование линз серии STRADELLA позволяет снизить затраты на производство светодиодных светильников для освещения улиц и других объектов без существенной потери качества. Эти линзы предназначены для использования со светодиодами средней и повышенной мощности, имеющими типоразмер корпуса 3535. Основные параметры изготавливаемых из органического стекла одиночных и блочных линз серии STRADELLA приведены в табл. 3. Фотометрические данные новой линзы CP16165_STRADELLA-IP-16-T2-PC габаритными размерами 100×60×9 мм (класс защиты IP67), ориентированной на применение при освещении улиц и пешеходных переходов в соответствии с европейскими нормами, приведены на рис. 13.

Таблица 2. Параметры линз STRADA-6x1

Тип	Число светодиодов (типоразмер корпуса)	Габаритные размеры, мм	Пропускная способность (η), %	Материал
STRADA-T-6x1-ME	6 (3535)	119.8×25.2×8.2	93	ПММА
STRADA-T-6x1-DNW	6 (3535)	119.8×25.2×5.6	93	
STRADA-T-6x1-DWC	6 (3535)	119.8×25.2×5.5	94	

Таблица 3. Параметры линз STRADELLA

Тип	Число светодиодов	Размеры, мм	Класс защиты
STRADELLA-XX	1	13.9×13.9	-
STRADELLA-8-XX	8	49.5×49.5	
STRADELLA-9-XX	9	49.5×49.5	
STRADELLA-16-XX	16	49.5×49.5	
STRADELLA-IP-16-XX	16	100×60	IP-67
STRADELLA-IP-28-XX	28	100×100	

Модульная линза из органического стекла типа C14128_TATIANA-1x4-B (рис. 14) габаритными размерами 102×25×7 мм – одна из немногих линз, предназначенных для применения в уличных светильниках при освещении узких улиц и дорог средней ширины с использованием наклонных осветительных опор. Кроме того, эти линзы могут применяться в освещении туннелей и подземных переходов. Линзы предназначены для использования со светодиодами, имеющими типоразмер корпуса до 3535. Модуль состоит из четырех линз, которые можно просто разделить на четыре отдельные линзы размерами 25×25 мм, что позволяет их использовать при модификации существующих светильников, в которых применяются линзы типа STRADA-

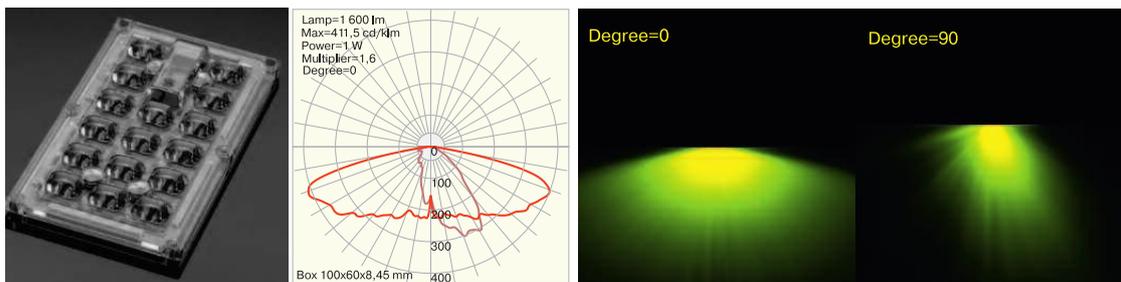
SQ-XX (25×25 мм).

Модульные линзы STRADA-2x2-PX и STRADA-2x2-FN ориентированы, соответственно, на освещение пешеходных переходов с осветительных опор, расположенных на противоположных сторонах улиц с правосторонним движением, и освещение пешеходных переходов с одной опоры на улицах с малой интенсивностью движения.

В качестве примера на рис. 15 приведены варианты изображения светового пятна на поверхности, полученные благодаря программе Autodesk 3ds MAX, при использовании популярных модульных линз для уличного освещения серии STRADA и STRADELLA.

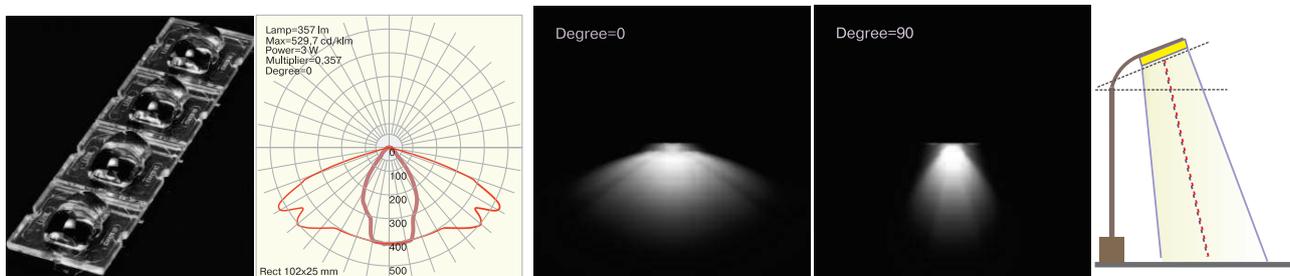
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря ряду несомненных преимуществ светодиодные светильники можно встретить в офисных, торговых и складских помещениях, промышленных и жилых зданиях, архитектурной и наружной подсветке, при освещении автострад, улиц и пр. Немаловажный параметр, который следует принимать во внимание при выборе типа светодиодного светильника, – кривые силы света. Для визуализации и сравнительной качественной оценки КСС разных линз можно воспользоваться стандартными



Luminaire: CP16165_STRADELLA-IP-16-T2-PC_(Cree_XP-G3)_SIMULATED Lamp: Cree_XP-G3

Рис. 13. Линза CP16165_STRADELLA-IP-16-T2-PC



Luminaire: C14128_TATIANA-1X4-B_(XM-L2) Lamp: XM-L2_(TATIANA)_357lm@250mA_P=2.84023W_I=249.8mA

Рис. 14. Линза C14128_TATIANA-1x4-B

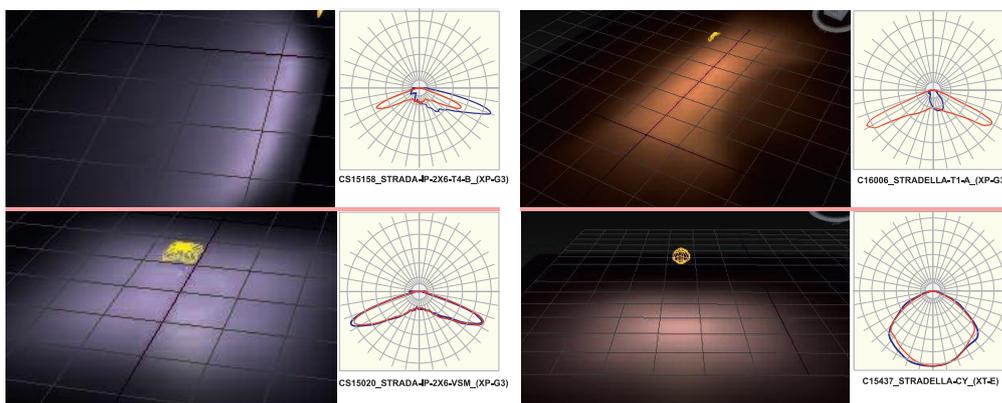


Рис. 15. Варианты изображения светового пятна на поверхности, полученные при использовании программы Autodesk 3ds MAX

специализированными программами.

Компания LEDiL предоставляет подробные характеристики для выпускаемых линз, наличие которых, благодаря соответствующему программному обеспечению, позволяет в ряде случаев исключить дорогостоящие натурные испытания по определению пространственного распределения светового потока.

Дополнительную информацию о продукции компании LEDiL можно найти в [1-4], сети Интернет по

адресу: www.ledil.com или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании LEDiL.

ЛИТЕРАТУРА

1. LEDiL. Guide for street lighting optics.
2. LEDiL. Range & precision. LEDiL's optics offer both. 2018 first edition.
3. STRADA lens guide.
4. Light that is right. Latest from LEDiL.

Светодиоды 3030 и 2835 от CREE уже на рынке!

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

- стандартные форм-факторы 3.0x3.0x0.5 мм и 2.8x3.5x0.7 мм
- номинальные значения напряжения 3 и 6 В
- биннинг по цветовой температуре и световому потоку
- диапазон цветных температур 2700...6500 К по ANSI
- индексы передачи цвета 70, 80 и 90 CRI для всех значений CCT
- соответствие требованиям RoHS и REACh, рекомендовано UL® (E495478)

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

VD MAIS – официальный дистрибьютор компании CREE в Украине

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

LEDiL



ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПАНИИ LEDiL

www.ledil.com

Поддержка
приложений

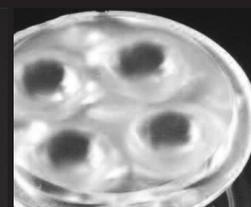
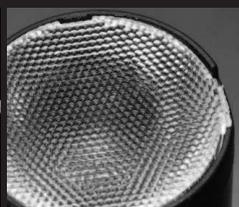
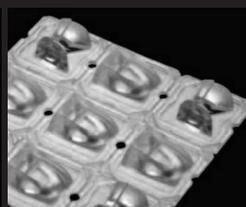
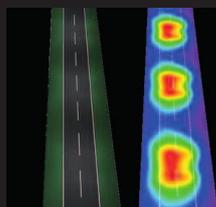
Пользовательские
решения

Симметричные

Асимметричные

Рефлекторы

Массивы



НПФ VD MAIS – официальный дистрибьютор компании LEDiL в Украине

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

ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ LTSPICE, часть 4

В четвертой части статьи рассмотрены основные приемы при измерении параметров тока, напряжения и мощности постоянного и переменного токов при моделировании в LTspice. Показано как измерять коэффициент полезного действия устройств различными способами и проводить оценку нелинейных искажений усилителей и генераторов сигналов.

В. Макаренко

Для иллюстрации процесса измерения тока, напряжения и мощности воспользуемся моделью, приведенной на рис. 1.

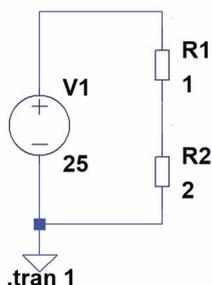


Рис. 1. Модель для иллюстрации процессов измерения тока, напряжения и мощности

Рассмотрим этот процесс на примере резистора R2. Для измерения напряжения, тока и мощности используются различные инструменты. На рис. 2,а показан вид пробника для измерения напряжения. Для измерения тока необходимо подвести курсор к выводу элемента или разместить его на изображении элемента. Вид пробника (токовые клещи) для измерения тока показан на рис. 2,б. Для измерения мощности необходимо поместить курсор на изображение элемента и нажать клавишу Alt. Пробник приобретает вид градусника (рис. 2,в).

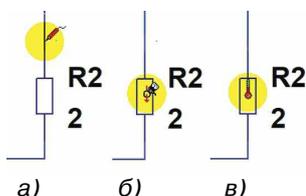


Рис. 2. Пробники для измерения напряжения (а), тока (б) и мощности (в)

THE SOFTWARE FOR MODELING ELECTRONIC CIRCUITS LTSPICE, part 4

Abstract - The fourth part of the article describes the basic techniques for measuring the parameters of current, voltage and power of direct and alternating currents in the simulation in LTspice. It is shown how to measure the efficiency of devices in various ways and to evaluate the nonlinear distortion of amplifiers and signal generators.

V. Makarenko

После выполнения моделирования в окне вывода результатов появятся графики напряжения, тока и мощности (рис. 3) и соответствующие им оси.

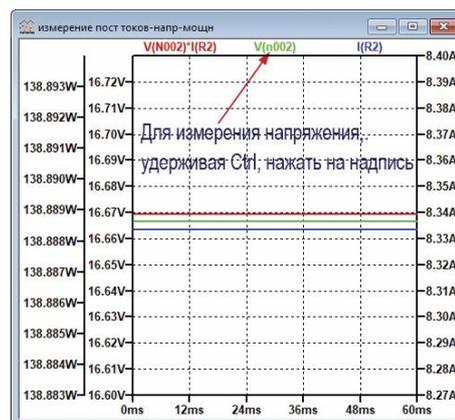


Рис. 3. Графики напряжения (зеленый), тока (синий) и мощности

Можно отсчитать значения измеренных параметров по осям, а для точного получения значения необходимо подвести курсор к надписи соответствующего параметра и, удерживая нажатой клавишу Ctrl, нажать на левую кнопку "мыши". На экран будет выведено окно (рис. 4), в котором выводится информация об интервале времени, на котором измеряется напряжение, среднее значение напряжения (**Average**) и среднеквадратическое значение (**RMS**). Аналогично выполняются измерения значений и других параметров. Следует помнить, что такие результаты можно получить только по окончании процесса моделирования.

Для измерения параметров переменного тока использована аналогичная модель (рис. 5), но в качестве источника испытательного сигнала исполь-

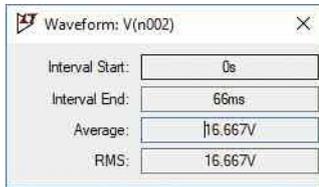


Рис. 4. Окно с результатами измерений постоянного напряжения

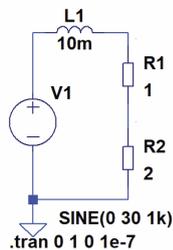


Рис. 5. Модель для иллюстрации процессов измерения переменного тока, напряжения и мощности

зован генератор гармонического сигнала амплитудой 30 В и частотой 1 кГц.

Результаты измерений мгновенных значений тока, напряжения и мощности приведены на рис. 6.

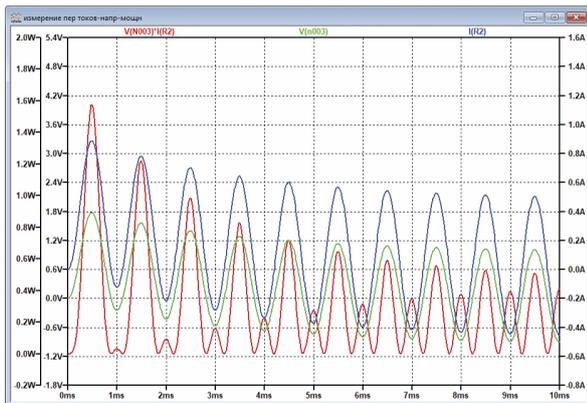
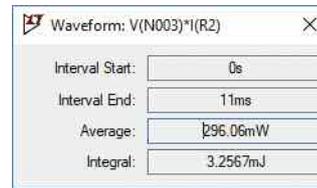


Рис. 6. Графики измеренных мгновенных значений напряжения (зеленый), тока (синий) и мощности

Для измерения мощности переменного тока необходимо, удерживая нажатой кнопку Ctrl, нажать указателем "мышки" на надпись $V(N002)*I(R2)$ в верхней части панели отображения результатов моделирования (Plot Pane). В зависимости от выбранного интервала времени, на котором производится измерение, полученные результаты различаются. При измерении на интервале 0...10 мс среднее значение мощности (рис.7,а) немного больше, чем при измерении на интервале 0...1 с (рис. 7,б). Это объясняется наличием переходного процесса первые 5 мс после начала симуляции.

а)



б)

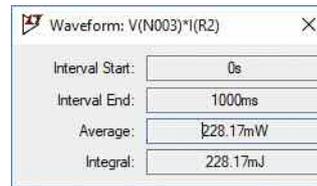


Рис. 7. Значения средней мощности и рассеянной на резисторе R2 энергии на интервале времени 0... 10 мс (а) и 0... 1 с (б)

Чтобы измерить мощность на незаземленной нагрузке, необходимо добавить в схему точки с обеих сторон элемента, на котором необходимо измерить мощность. На рис. 8 это точки А и В. Для вычисления мощности необходимо в окне графиков полученных результатов поместить курсор на название соответствующего параметра (например, тока через резистор R1) и, удерживая нажатой клавишу Alt, нажать на правую кнопку "мыши". В открывшемся окне **Expression Editor** (рис. 9) необходимо ввести выражение для вычисления мощности.

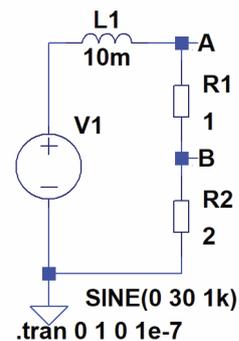


Рис. 8. Модифицированная схема для измерения мощности, рассеиваемой на резисторе R1

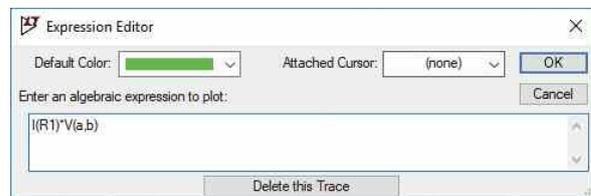


Рис. 9. Окно ввода математического выражения для обработки результатов измерений

Для вычисления средней мощности достаточно записать $I(R1)*V(a,b)$, где $V(a,b)$ – напряжение между точками А и В. После этого, поместив курсор на название тока через резистор R1, и, удерживая нажатой клавишу Ctrl, нажать на левую кнопку "мыши". Результат вычислений будет выведен в окно **Waveform: $I(R1)*V(a,b)$** (рис. 10). Как следует из полученного результата, на резисторе R1 рассеивается в два раза меньшая мощность, чем на резисторе R2, что соответствует действительности.

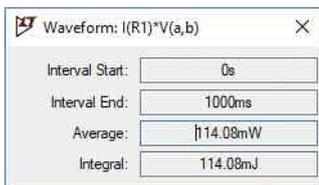


Рис. 10. Результаты вычисления средней мощности, рассеиваемой на резисторе R1

Для измерения на заданном интервале времени или в заданном диапазоне измеряемых величин удобно использовать либо один, либо два курсора. Чтобы включить курсоры, необходимо для измеряемого параметра в окне **Expression Editor** (рис. 9) в окошке **Attached Cursor** выбрать первый, второй или оба курсора (рис. 11). В рассматриваемом примере курсоры будут отображать значения тока через источник V1.

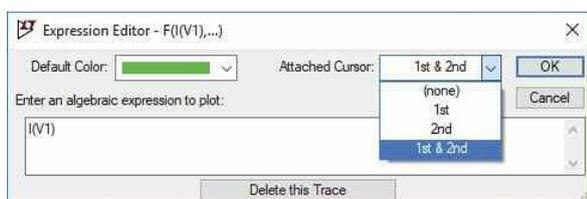


Рис. 11. Выбор количества курсоров в окне Expression Editor

Кроме двух курсоров на экране появляется окно, в котором отображаются значения параметров по горизонтальной и вертикальной осям для каждого из курсоров (рис. 12), а также разность их значений.

По умолчанию при измерении нескольких параметров все графики выводятся в одно окно (например, на рис. 12). Если нужно поместить один или каждый из графиков в отдельное окно, то необходимо, поместив курсор "мышки" в окно отображения результатов измерения, нажать правую кнопку и выпадающем меню (рис. 13) выбрать пункт **Add Plot Pane**.

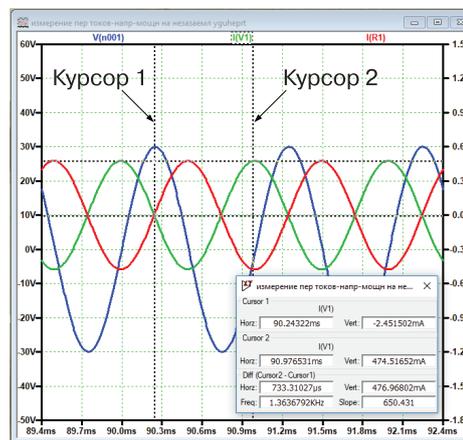


Рис. 12. Окно вывода результатов измерения с включенными курсорами

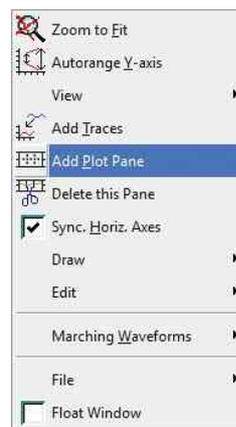


Рис. 13. Добавление окна отображения результатов измерения

В результате этого окно отображения будет разделено на две части (рис. 14).

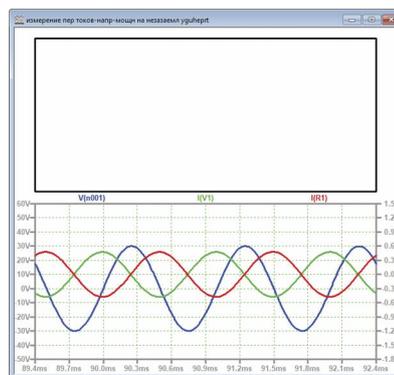


Рис. 14. Окно отображения результатов измерения после выполнения команды Add Plot Pane

Чтобы перетащить один из графиков во вновь открывшееся окно, достаточно поместить курсор "мышки" на наименование параметра, график кото-

рого необходимо перенести в пустое окно, и, нажав левую кнопку, перетащить эту надпись в другое окно. В результате этого действия график будет перемещен в свободное окно (рис. 15). Размещение графиков в отдельных окнах дает возможность независимого масштабирования по вертикальной оси каждого из измеренных параметров.

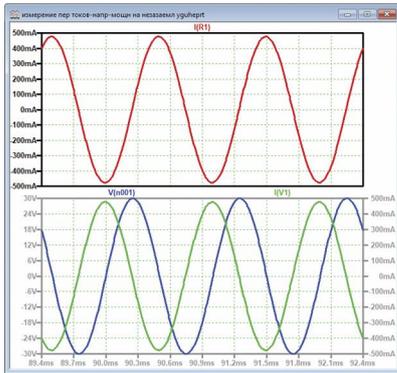


Рис. 15. Результат перемещения графика тока через резистор R1 в свободное окно

ИЗМЕРЕНИЕ КПД УСТРОЙСТВ

Для вычисления КПД можно измерить мощность, отдаваемую устройством в нагрузку, и мощность, отдаваемую источником питания, а затем вычислить его значение. Рассмотрим этот процесс на примере измерения КПД двухканального синхронного преобразователя LT8650S [1, 2] с широким диапазоном входных напряжений от 3 до 42 В. Модель для исследования приведена на рис. 16.

Результаты измерения мощности, отдаваемой источником питания, и мощности, рассеиваемой на

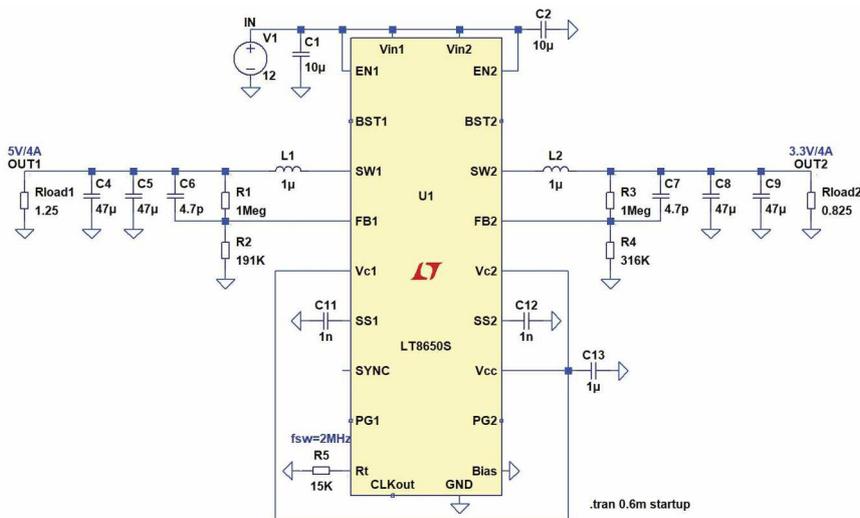


Рис. 16. Модель для исследования КПД двухканального синхронного преобразователя LT8650S

резисторах Rload1 и Rload2, приведены на рис. 17. Как следует из рисунка, переходной процесс заканчивается через 500 мкс после начала моделирования. Для корректного измерения мощности введем коррективы в командную строку, чтобы ограничить время вывода графиков интервалом от 0.5 до 6 мс (рис. 18).

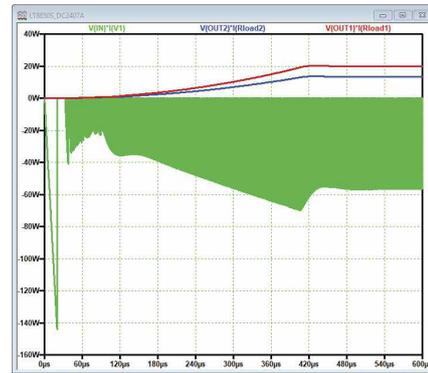


Рис. 17. Результаты измерения мощности, отдаваемой источником питания, и мощности, рассеиваемой на резисторах Rload1 и Rload2

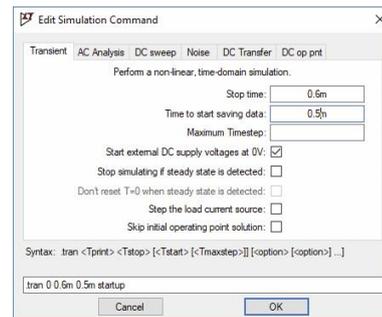


Рис. 18. Установка времени вывода графиков мощности в окне Edit Simulation Command

Графики изменения мощности во времени и форма тока, протекающего через источник питания, в увеличенном масштабе по оси времени приведены на рис. 19, а и б, соответственно.

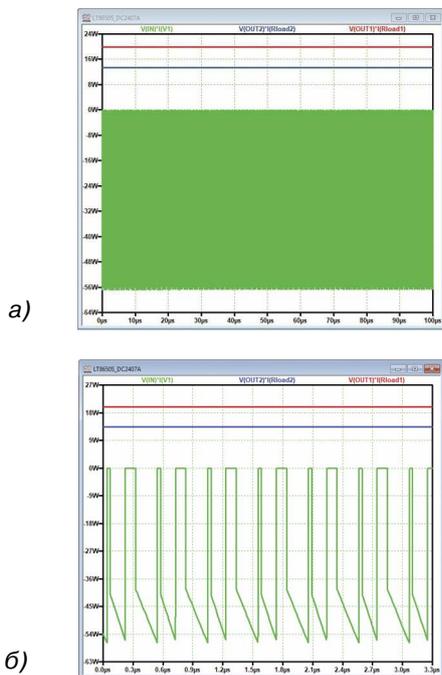


Рис. 19. Графики изменения мощности (а) и форма тока, протекающего через источник питания (б)

Результаты измерения средней мощности приведены на рис. 20. Несложно рассчитать значение КПД по результатам этих измерений.

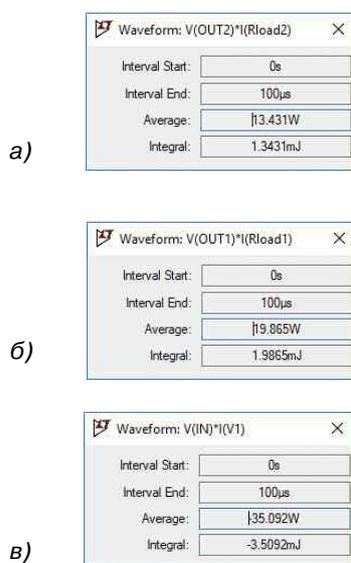


Рис. 20. Измеренные значения мощности на нагрузке Rload1 (а), Rload2 (б) и отдаваемой источником питания (в)

$$\begin{aligned} \text{КПД} &= [P(R_{load1}) + P(R_{load2})]/P(V1) = \\ &= (19.865 + 13.431)/35.092 = 0.9488. \end{aligned}$$

В [1] для напряжения на входе преобразователя 12 В приведено значение КПД равное 93.3% при токе нагрузки Rload1 равном 4 А. Учитывая, что в рассматриваемой модели нагрузка подключена к обоим выходам преобразователя, результат получается близким к оговоренному производителем. Проверка при отключенной нагрузке Rload2 дала результат 95.25%, т.е. немного выше, чем заявлено производителем.

Если осуществляется моделирование устройств с одним из импульсных регуляторов производства Analog Devices, модели которых расположены в разделе PowerProducts встроенной библиотеки или размещены на сайте компании, то становятся доступными некоторые дополнительные функции.

Одна из них **Stop simulating if steady state is detected** (остановить моделирование, если обнаружено устойчивое состояние) – соответствует записи в командной строке **Steady**. Присутствие этой записи в командной строке позволяет остановить симуляцию, если переходной процесс завершен. Завершение переходного процесса требуется для верного вычисления КПД, измеряемого с помощью калькулятора эффективности (**Efficiency Calculation**), который позволяет определить коэффициент полезного действия моделируемого устройства, а также потери в отдельных его элементах. Переходной процесс считается завершенным, если за период тактовой частоты средний выходной ток усилителя ошибки преобразователя равен нулю. Доля пикового тока на выходе усилителя ошибки определяется параметром **SSTOL**. Иногда, из-за невозможности корректного определения значения **SSTOL**, автоматическое определение устойчивого состояния может быть неверным [3].

В этом случае можно попытаться вручную определить границы устойчивого участка. Для этого после начала симуляции нужно активизировать команду меню "Отметить начало" – **Simulate/Efficiency Calculation/Mark Start** (рис. 21).

После этого симулятор удалит все накопленные данные и снова начнет накапливать их для калькулятора эффективности. Если повторно выполнить команду **Mark Start** (Отметить начало), то все уже накопленные данные будут повторно стерты и накопление начнется снова. После истечения некоторого времени, но не менее десяти периодов тактовой частоты импульсного регулятора, необходимо

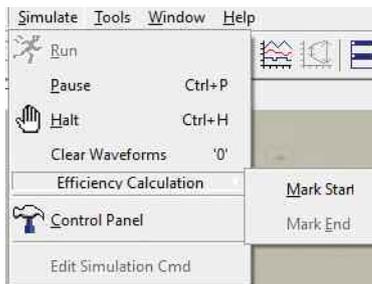


Рис. 21. Вызов команды *Efficiency Calculation*

активизировать команду меню **Simulate/Efficiency Calculation/Mark End**, отметив конец. После этого симуляция будет остановлена. Чтобы просмотреть отчет калькулятора эффективности, нужно активизировать пункт меню **View/Efficiency Report**. Если выбрать подпункт **Show on Schematic**, то отчет, в виде таблицы значений, будет размещен на схеме. Если выбран подпункт **View/Efficiency Report/Paste to clipboard**, то результаты расчета эффективности будут скопированы в буфер обмена Windows.

Если при установке параметров командной строки (рис. 18) поставить птичку возле строки Don't reset T=0 when steady state is detected (не сбрасывать T = 0, когда обнаружено устойчивое состояние), то в командной строке появится запись Nodiscard. В таком режиме результаты симуляции переходного процесса, предшествующего стабильному участку, сохраняются. Результаты измерения эффективности в этом случае будут совершенно другими.

На рис. 22 приведен отчет калькулятора эффективности, по результатам которого можно вычис-

Efficiency: 0.0% --- Efficiency Report ---

Input: 35.1W @ 12V
Output: 0W @ 0V

Ref.	Irms	Ipeak	Dissipation
C1	0mA	0mA	0mW
C2	0mA	0mA	0mW
C4	216mA	417mA	0mW
C5	216mA	417mA	0mW
C6	0mA	0mA	0mW
C7	0mA	0mA	0mW
C8	178mA	321mA	0mW
C9	178mA	321mA	0mW
C11	0mA	0mA	0mW
C12	0mA	0mA	0mW
C13	27mA	305mA	0mW
L1	3919mA	4636mA	65mW
L2	4029mA	4639mA	68mW
R1	0mA	0mA	18µW
R2	0mA	0mA	3µW
R3	0mA	0mA	6µW
R4	0mA	0mA	2µW
R5	0mA	0mA	67µW
Rload1	3989mA	3991mA	19891mW
Rload2	4035mA	4038mA	13431mW
U1	5332mA	8288mA	1601mW

Рис. 22. Результаты работы калькулятора эффективности для модели, представленной на рис. 16

лить КПД преобразователя.

Если сравнить результаты измерения мощности обычным способом (рис. 20), то результаты измерений практически совпадают. КПД, вычисленный по результатам работы калькулятора эффективно-сти составляет 94.93%, а измеренный обычным способом – 94.88%. Отсутствие общего значения КПД в отчете объясняется наличием двух выходов у преобразователя. Для преобразователя с одним выходом (например, LTM8073) отчет будет иметь вид, приведенный на рис. 23. Как следует из этого рисунка, программа автоматически определяет КПД всего устройства.

Efficiency: 89.3% --- Efficiency Report ---

Input: 16.5W @ 48V
Output: 14.8W @ 4.97V

Ref.	Irms	Ipeak	Dissipation
C1	1256mA	2087mA	8mW
C2	0mA	0mA	0mW
C3	0mA	0mA	0mW
R1	0mA	0mA	31µW
R2	0mA	0mA	13µW
R3	0mA	0mA	0µW
U1	4154mA	22525mA	1769mW

Рис. 23. Отчет калькулятора эффективности для преобразователя LTM8073

Существует еще один путь для определения значений напряжений, токов и мощности – использование директивы Measure, позволяющей осуществлять обработку полученных при моделировании результатов по определенным пользователем условиям. Пользователь формулирует правила расчета параметров, а программа автоматически выполнит вычисления. Такой подход позволяет автоматизировать процесс измерений и экономит массу времени при анализе сложных схем.

Различают два основных типа операторов директивы **MEASURE**. Те, которые ссылаются на точку вдоль абсциссы (независимая переменная по оси времени при анализе переходных процессов – **.tran** исследованиях), и операторы, которые ссылаются на диапазон значений по абсциссе.

Первый тип операторов, указывающий на одну точку на абсциссе, используется, чтобы получить значение данных или переменной в конкретной точке либо при выполнении определенного условия. Для этого используется следующий синтаксис:

```
.MEAS [SURE] [AC | DC | OP | TRAN | TF | NOISE] <имя>
+ [<FIND | DERIV | PARAM > <expr>]
+ [WHEN <expr> | AT = <expr>]
+ [TD = <val1>] [<RISE | FALL | CROSS> = [<count1> | LAST]].
```

В этом операторе [AC | DC | OP | TRAN | TF |

NOISE] – вид анализа, к которому применяется директива; **FIND** (найти); **DERIV** (производная); **PARAM** (использование результатов предшествующих измерений); **WHEN** (условие); **AT** (координата точки измерения на оси абсцисс); **TD** (задержка в единицах измерения по оси абсцисс относительно момента выполнения условия); **RISE** (увеличение); **FALL** (уменьшение); **CROSS** (пересечение); **LAST** (последний случай).

В первой позиции можно указать вид анализа, к которому применяется директива **.meas**. Обязательно следует присваивать имя результату, который может быть использован в качестве параметра в других операторах **.meas**. Например,

```
.meas tran res1 FIND V(out) AT=5m.
```

Результат с именем **res1** имеет значение **V(out)** в момент времени **t = 5 мс**.

На рис. 24 приведен пример измерения максимального и среднеквадратического значений синусоидального напряжения частотой 1 кГц на резисторе R2 в момент времени 0.25 мс, который соответствует максимальному значению сигнала во времени. Кроме того, будет вычисляться значение тока через резистор R1 в момент, когда напряжение на резисторе R2 достигнет максимального значения (**.meas res3 find I(R1) WHEN V(2)=res1**).

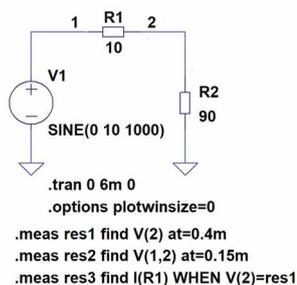


Рис. 24. Пример измерения напряжений в заданное время

Командная строка **.options plotwinsize=0** определяет, что компрессия при сохранении окна с результатами измерения отключена [3]. Чтобы увидеть результаты вычисления, нужно активизировать пункт меню View/SPICE Error Log. Фрагмент отчета приведен на рис. 25.

Второй вариант директивы **.MEAS** определяет диапазон значений по абсциссе. При этом используется синтаксис:

```
.MEAS [AC | DC | OP | TRAN | TF | NOISE ] <имя результата>
```

```
[<AVG | MAX | MIN | PP | RMS | INTEG> <выражение>] [TRIG <lhs1>
```

.OP point found by inspection.

```
res1: v(2)=5.28812 at 0.0004
res2: v(1,2)=0.808629 at 0.00015
res3: i(r1)=-0.0587569 at 0.000100011
```

Рис. 25. Фрагмент отчета о результатах вычисления напряжений и токов

```
[[VAL] =] <rhs1>] [TD = <значение1>]
[<RISE|FALL|CROSS> =
<отсчет1>] [TARG <lhs2> [[VAL] =] <rhs2>] [TD =
<значение2>]
[<RISE|FALL|CROSS> = <отсчет2>]
```

Диапазон значений по абсциссе ограничен точками, определенными как **<TRIG>** и **<TARG>**. По умолчанию точка **TRIG** устанавливает начало моделирования и может быть опущена. Аналогично точка **TARG** по умолчанию соответствует данным в конце моделирования. Если все три параметра **TRIG**, **TARG** и **WHEN** опущены, то директива **.MEAS** действует на весь диапазон данных.

Типы измерений, которые могут быть выполнены в заданном интервале значений, перечислены ниже:

- **AVG** – вычисление среднего значения
- **MIN** – нахождение минимального значения
- **MAX** – нахождение максимального значения
- **RMS** – вычисление среднеквадратического значения
- **PP** – нахождение размаха от пика до пика
- **INTEG** – интегрирование.

Если тип измерения не задан, то результатом выполнения директивы **.MEAS** будет значение величины, численно равное расстоянию по абсциссе между точками **TRIG** и **TARG**.

На рис. 26 приведена модель, иллюстрирующая выполнение директивы **.MEAS** второго типа. В качестве измеряемого параметра выбрана мощность, рассеиваемая на различных резисторах при различной форме сигнала. Генератор **V1** формирует

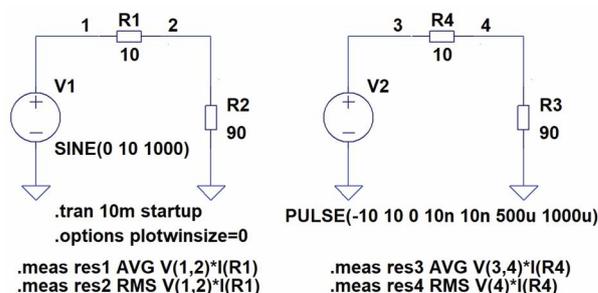


Рис. 26. Пример измерения мощности с помощью директивы MEASURE

гармонический сигнал, а V2 – прямоугольные импульсы со скважностью 2. Частота сигналов на выходах обоих генераторов равна 1000 Гц.

В результате выполнения моделирования в файле **.log** будут выведены значения, приведенные на рис. 27.

Direct Newton iteration for .op point succeeded.

```
res1: AVG(v(1,2)*i(r1))=-0.0498745 FROM 0 TO 0.01
res2: RMS(v(1,2)*i(r1))=0.0610835 FROM 0 TO 0.01
res3: AVG(v(3,4)*i(r4))=-0.0999987 FROM 0 TO 0.01
res4: RMS(v(4)*i(r4))=0.899993 FROM 0 TO 0.01
```

Рис. 27. Фрагмент файла .log с отчетом о результатах вычисления мощности, рассеиваемой на разных элементах схемы

Чтобы получить правильные значения для периодических сигналов, нужно или явно указать в параметрах этой директивы отрезок времени длительностью, кратной периоду, или задать весь интервал моделирования, исходя из этого условия.

Рассмотрим еще один пример использования директивы **.MEAS** второго типа. Исследуем зависимость пульсаций на выходе двухполупериодного выпрямителя (рис. 28) от емкости конденсатора фильтра. Для вычисления используется среднее значение напряжения на выходе выпрямителя

(.meas tran avg AVG V(out) from 200m to 300m),

размах пульсаций

(.meas tran Vpp PP V(out))

и максимальный ток через диод D1

(.meas tran Ipeak MAX I(D1) from 200m to 300m).

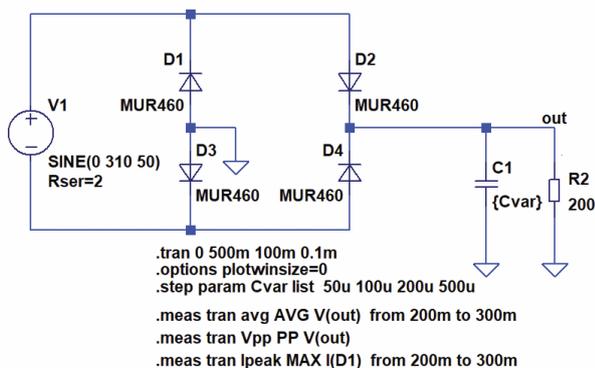


Рис. 28. Модель для исследования пульсаций на выходе выпрямителя в зависимости от емкости конденсатора фильтра

На рис. 29 приведены временные диаграммы выходного напряжения выпрямителя, а на рис. 30 – результаты вычислений с помощью директивы **.MEASURE**.

Анализ полученных результатов дает возмож-

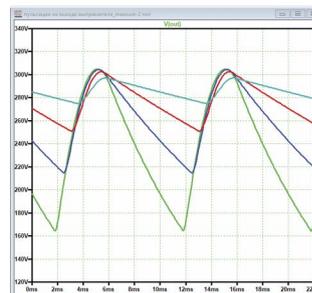


Рис. 29. Временные диаграммы напряжений на выходе выпрямителя

```
.OP point found by inspection.
.step cvar=5e-005
.step cvar=0.0001
.step cvar=0.0002
.step cvar=0.0005
```

Measurement: avg			
step	AVG(v(out))	FROM	TO
1	239.649	0.2	0.3
2	261.525	0.2	0.3
3	277.311	0.2	0.3
4	286.197	0.2	0.3

Measurement: vpp			
step	PP(v(out))	FROM	TO
1	140.788	0	0.4
2	89.8701	0	0.4
3	51.7269	0	0.4
4	22.0819	0	0.4

Measurement: ipeak			
step	MAX(i(d1))	FROM	TO
1	4.64091	0.2	0.3
2	6.72669	0.2	0.3
3	8.36306	0.2	0.3
4	9.23181	0.2	0.3

Рис. 30. Результаты вычисления параметров выпрямителя с помощью директивы .MEASURE

ность проверить не только амплитуду пульсаций, но и верность выбора типа диода по максимальному току **ipeak**. Для измерений можно задать еще много различных параметров, необходимых для анализа работы схемы.

ИЗМЕРЕНИЯ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Измерения токов, напряжений и мощности сигналов осуществляются при проведении анализа переходных процессов. Для анализа частотных и фазовых характеристик необходимо перейти в режим анализа по переменному току. На рис. 31 приведен пример простейшей модели колебательного контура для исследования зависимости частоты резонанса от емкости конденсатора, который возбуждается источником тока.

Для анализа АЧХ необходимо после создания модели нажать кнопку Run и в открывшемся окне **Edit Simulation Edit** выбрать вкладку **AC Analysis** (рис. 32). Для анализа зададим диапазон частот

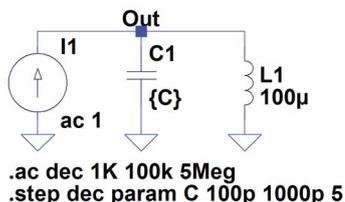


Рис. 31. Модель колебательного контура для исследования зависимости частоты резонанса от емкости конденсатора

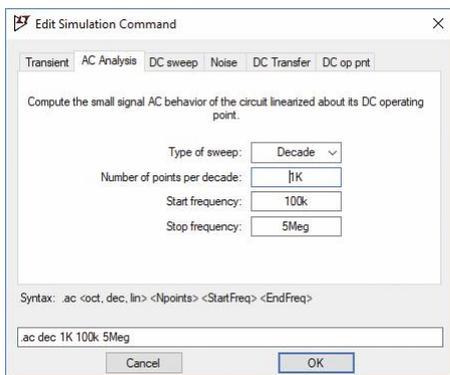


Рис. 32. Окно установки параметров анализа по переменному току

анализа **Start** и **Stop** frequency, масштаб по горизонтальной оси **Type of sweep** (по оси частот можно задать **Decade**, **Octave**, **Linear** и **List**) и число точек **Number of Points**. В зависимости от выбранного масштаба в окне будет отображаться либо общее число точек в режиме **Linear** и **List**, либо число точек на декаду или октаву. Для анализа схемы задан диапазон изменения частоты анализа от 100 кГц до 5 МГц с числом точек на декаду, равным 1000.

Для автоматизации процесса измерений необходимо после размещения конденсатора на схеме подвести курсор "мышки" к его обозначению и нажать правую кнопку. В открывшемся окне Enter new Value for C1 в строке с буквой C заключить ее в фигурные скобки (рис. 33). После этого необходимо ввести директиву изменения емкости конденсатора, нажав верхнюю правую кнопку на панели управления со значком **.op**. Директива имеет вид

.step dec param C 100p 1000p 5.

Пояснить значение параметров директивы проще на примере ее редактирования. Для изменения директивы изменения шага емкости конденсатора достаточно подвести курсор "мышки" к строке с директивой и нажать правую кнопку. В открывшемся окне .step Statement Editor (рис. 34) очевидным становится значение записей в директиве. При изменении емкости в 10 раз от 100 до 1000 пФ необходимо задать 5 дискретных значений емкости плюс

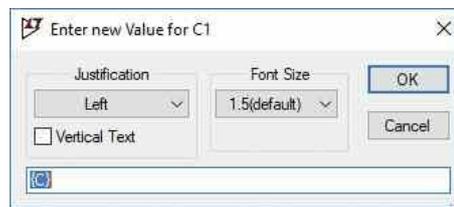


Рис. 33. Окно Enter new Value for C1

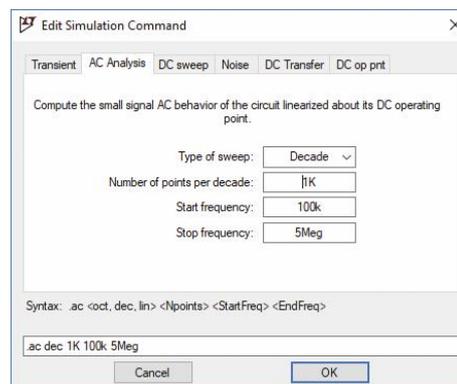


Рис. 34. Окно редактирования шага изменения емкости конденсатора

одно значение.

Результат анализа АЧХ колебательного контура приведен на рис. 35. Пунктирными линиями на графике выводятся ФЧХ контура. Как следует из рис. 35, число графиков равно 6, хотя параметр **Number of points per decade** (рис. 34) задан равным 5.

Значения емкости конденсатора C1, изменяющиеся в процессе моделирования, приведены на рис. 36.

Если необходимо изменение емкости с фиксированным шагом ее изменения, то следует выбрать закон изменения **Linear** и задать шаг изменения емкости вместо числа точек на декаду или октаву.

Для автоматизации процесса измерения амплитуды и фазы на частоте резонанса достаточно добавить директиву **.meas ac par1 MAX V(Out)**, которая предусматривает измерение максимального значения напряжения на всех частотах резонанса. В процессе редактирования директивы имеется возможность просмотреть результат моделирования по искомому параметру. Для этого достаточно в окне **.meas Statement Editor** нажать кнопку **Test** в левом нижнем углу (рис. 36) и на экран будет выведен результат измерения параметра **par1** – значение напряжения в дБ и фазы в градусах.

Рассмотрим пример анализа усилителя во временной и в частотной области, используя одну схему. Схема усилителя приведена на рис. 37.

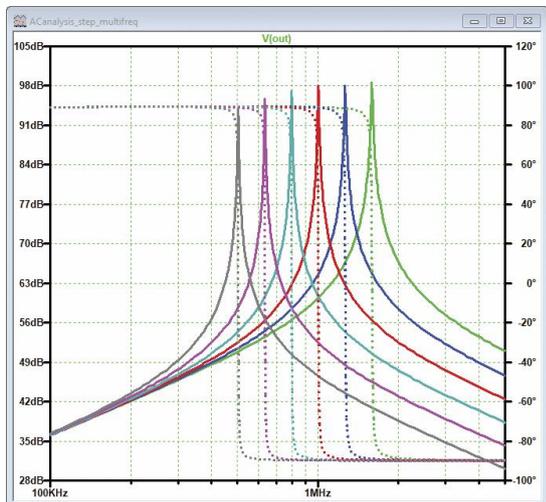


Рис. 35. Результат анализа АЧХ и ФЧХ колебательного контура при изменении емкости конденсатора

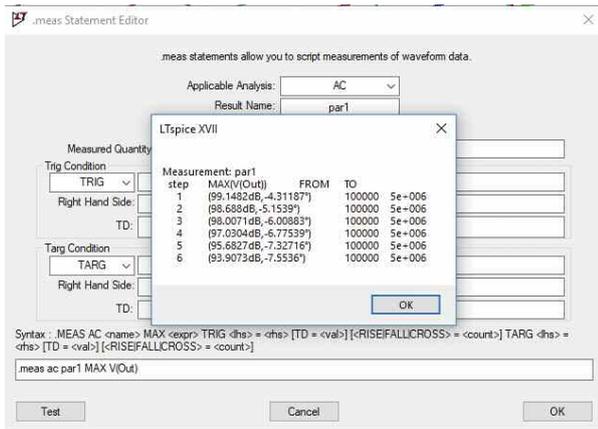


Рис. 36. Изменение емкости конденсатора C1 в процессе анализа

Для анализа во временной области (Transient) задана директива `.tran 50m`, которая не требует особых пояснений. Параметры генератора синусоидального сигнала, подаваемого на вход усилителя: амплитуда сигнала 0.15 В, а его частота 1 кГц.

Директива для анализа в частотной области (AC Analysis) имеет вид `.ac dec 10 10 10Meg`. Так как программа не может выполнять оба вида анализа, необходимо директиву выполняемого анализа пометить как **SPICE directive**, а директиву другого анализа как **Comment**. Для этого достаточно подвести курсор "мышки" к нужной директиве и нажать правую кнопку. В открывшемся окне (рис. 38) отметить нужную позицию. Комментарий будет отображаться на рабочем листе синим цветом, а spice-директива активного анализа – черным.

При установке активным анализа по переменному току программа сообщила об ошибке и потребо-

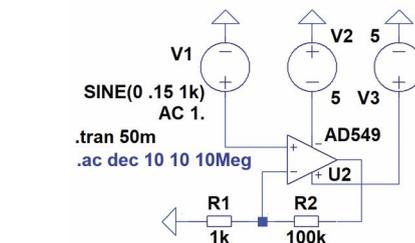


Рис. 37. Схема для анализа во временной и в частотной области

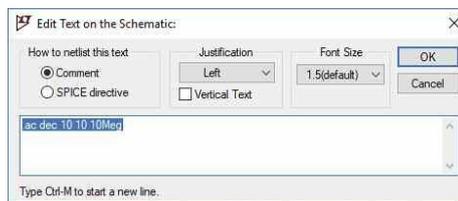


Рис. 38. Установка признака Comment на директиве неактивного анализа

вала задать **AC Amplitude**, равной 1 В (рис. 39). После этого анализ проводится нормально.

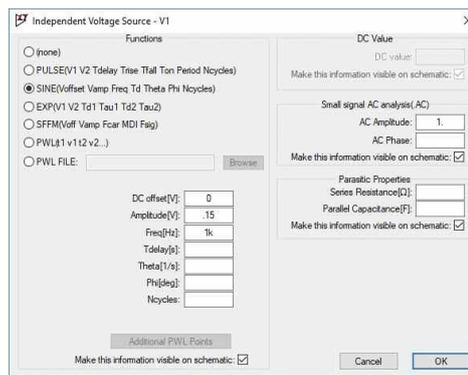


Рис. 39. Установка значения амплитуды для анализа по переменному току

Неожиданный результат был получен при анализе во временной области. С учетом напряжения источников питания равного ± 5 В, входного напряжения и коэффициента усиления, равного 101, на выходе должно быть сформировано ограниченное напряжение амплитудой не более ± 5 В. Результат, полученный при моделировании, приведен на рис. 40,а.

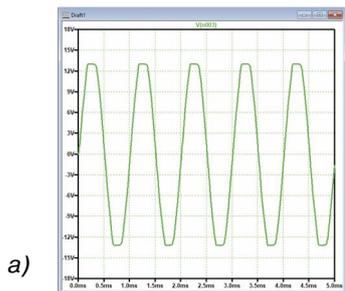
Ограничение наступает при напряжении ± 13 В. Заданное на схеме напряжение лежит в диапазоне напряжений для ИМС AD549, который составляет $\pm 5 \dots \pm 18$ В. После замены на ОУ типа AD8047 получен верный результат (рис. 40,б), что свидетельствует о неточностях модели ОУ AD549.

Для корректного анализа входное напряжение было задано равным 10 мВ и амплитуда сигнала на

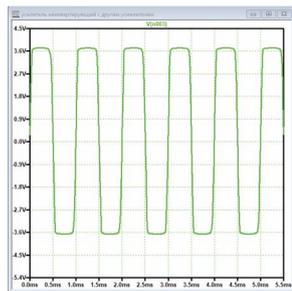
выходе не превысила 1.2 В.

Измеренные АЧХ и ФЧХ приведены на рис. 41.

Для анализа поведения АЧХ при изменении коэффициента усиления зададим директиву **.step dec param R 1k 10k 5**, которая определяет изменение сопротивление резистора R1 в пределах от 1 до 10 кОм. А для измерения коэффициента гармоник зададим директиву **.four 1k 10 V(n003)**, которая осуществляет вычисление Фурье-компонентов и коэффициента гармоник после анализа переходных процессов. Т.е. выполнять измерение коэффициента гармоник необходимо при активной директиве **.tran**.



а)



б)

Рис. 40. Напряжение на выходе усилителя при $U_{вх} = 0.15 \text{ В}$ для ОУ AD549 (а) и ОУ AD8047 (б)

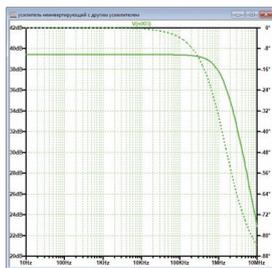


Рис. 41. АЧХ и ФЧХ неинвертирующего усилителя на ОУ AD8047

Усовершенствованная модель приведена на рис. 42, результат анализа частотных характеристик на рис. 43, а Фурье-анализа – на рис. 44.

На рис. 44 приведен фрагмент файла .log с отчетом о результатах вычисления Фурье-компонентов для первых двух значений коэффициента усиления.

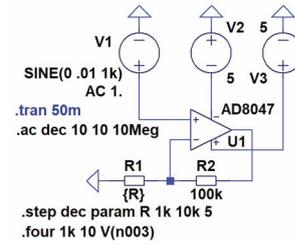


Рис. 42. Модель для измерения коэффициента нелинейных искажений и АЧХ при разных коэффициентах усиления

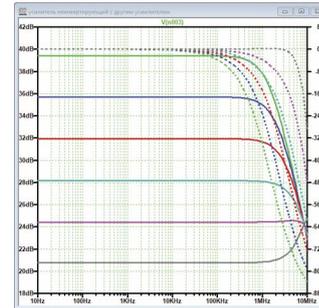


Рис. 43. АЧХ и ФЧХ неинвертирующего усилителя на ОУ AD8047 при различных коэффициентах усиления

Direct Newton iteration for .op point succeeded.

step r=1000
N-Period=1
Fourier components of V(n003)
DC component:0.274992

Harmonic Number	Frequency [Hz]	Fourier Component	Normalized Component	Phase [degree]	Normalized Phase [deg]
1	1.000e+03	9.152e-01	1.000e+00	0.03°	0.00°
2	2.000e+03	1.781e-03	1.938e-03	-94.12°	-94.15°
3	3.000e+03	5.455e-03	5.935e-03	-163.14°	-163.17°
4	4.000e+03	8.258e-04	8.983e-04	57.21°	57.19°
5	5.000e+03	6.336e-03	6.893e-03	9.06°	9.03°
6	6.000e+03	1.399e-03	1.522e-03	69.57°	69.54°
7	7.000e+03	9.613e-04	1.046e-03	-142.84°	-142.87°
8	8.000e+03	1.039e-03	1.131e-03	83.20°	83.17°
9	9.000e+03	6.089e-04	6.528e-04	149.19°	149.16°
10	1.000e+04	1.432e-04	1.558e-04	-123.78°	-123.81°

Total Harmonic Distortion: 0.961472%(0.987860%)

step r=1584.89
N-Period=1
Fourier components of V(n003)
DC component:0.317329

Harmonic Number	Frequency [Hz]	Fourier Component	Normalized Component	Phase [degree]	Normalized Phase [deg]
1	1.000e+03	6.007e-01	1.000e+00	-0.03°	0.00°
2	2.000e+03	4.255e-04	7.064e-04	-79.60°	-79.57°
3	3.000e+03	2.330e-03	3.880e-03	-169.55°	-169.52°
4	4.000e+03	2.620e-03	4.479e-03	77.28°	77.31°
5	5.000e+03	2.750e-03	4.578e-03	13.39°	13.41°
6	6.000e+03	8.708e-04	1.450e-03	92.24°	92.27°
7	7.000e+03	7.986e-03	3.306e-03	-164.32°	-164.29°
8	8.000e+03	4.990e-04	8.308e-04	-81.52°	-81.50°
9	9.000e+03	2.458e-04	4.092e-04	96.61°	96.64°
10	1.000e+04	4.895e-04	8.100e-04	-56.15°	-56.12°

Total Harmonic Distortion: 0.843320%(0.879884%)

Рис. 44. Результаты вычисления коэффициента гармоник при различных коэффициентах усиления

ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt8650s.pdf/](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt8650s.pdf)
2. http://www.analog.com/media/en/simulation-models/LTspice-demos-circuits/LT8650S_DC2407A.asc
3. Володин В. Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

ПОНИЖАЮЩИЙ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СО СВЕРХНИЗКИМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ДЛЯ IoT

В статье приведена краткая информация о DC/DC-преобразователе ADP5301, выпускаемом компанией Analog Devices. Преобразователь характеризуется сверхмалым током потребления в режиме покоя, широким диапазоном входных и выходных напряжений.

В. Макаренко

Разработчики устройств и систем IoT постоянно совершенствуют микроконтроллеры, датчики и различные цифровые модули, уменьшая потребляемую ими мощность. Однако, без эффективных и надежных источников питания система способна исчерпать и этот ресурс, разрядив батарею раньше ожидаемого времени.

Высокоэффективный источник питания – важнейшее звено для поддержания длительного времени работы от батареи. Основное время своего жизненного цикла устройство находится в ждущем режиме и "просыпается" лишь на короткий временной промежуток за длительное время, чтобы передать данные по каналу связи. В ждущем режиме потребление энергии определяется током покоя. В рабочем режиме (при использовании в системе устройств с малым потреблением) ток покоя источника питания может внести большой вклад в энергоэффективность всей системы. Поэтому одним из важнейших факторов при выборе преобразователя для питания устройств систем IoT является собственное потребление энергии в режиме покоя.

Компания Analog Devices выпускает большое количество различных ИМС для применения в системах IoT. Рассмотрим кратко основные характеристики понижающего DC/DC-преобразователя ADP5301, предназначенного для использования в счетчиках газа и воды, медицинском и другом оборудовании, которое работает в течение длительного времени в автономном режиме от встроенного источника питания.

Основные характеристики преобразователя [1]:

- диапазон входных напряжений 2.15...6.5 В
- сверхнизкое энергопотребление в режиме покоя (180 нА при отсутствии нагрузки)
- выбор диапазона регулировки выходного напряжения 1.2...3.6 В или 0.8...5.0 В

STEP-DOWN DC/DC CONVERTER WITH ULTRALOW CONSUMPTION FOR IoT

Abstract – The article presents brief information about DC/DC-Converter ADP5301 manufactured by the company Analog Devices. The Converter is characterized by ultra-low current consumption at rest, a wide range of input and output voltages

V. Makarenko

- точность поддержания выходного напряжения $\pm 1.5\%$ во всем диапазоне рабочих температур
- режим гистерезиса или широтно-импульсной модуляции (ШИМ)
- максимальный выходной ток 50 мА в режиме гистерезиса и 500 мА в режиме ШИМ
- формирование сигнала VOUTOK
- частота переключения 2 МГц
- возможность работы в режиме внешней синхронизации сигналом частотой 1.5...2.5 МГц
- функция быстрого размыкания цепи QOD (Quick Opening Device)
- защита от защелкивания при низких напряжениях питания (UVLO), защита от перегрузки по току (OCP) и от перегрева (TSD)
- корпус 9-WLCSP 1.6×1.87 мм
- диапазон рабочих температур $-40...125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Типовая схема включения преобразователя приведена на рис. 1. При наличии на входе

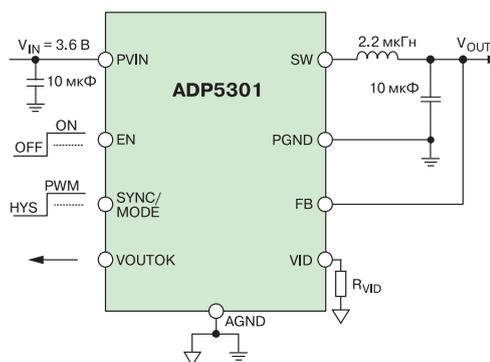


Рис. 1. Типовая схема включения преобразователя ADP5301

SYNC/MODE импульсов синхронизации в диапазоне частот 1.5...2.5 МГц преобразователь переходит в режим работы с внешней синхронизацией. При отсутствии сигнала внешней синхронизации осу-

ществляется переход в режим с внутренним генератором, а вывод SYNC/MODE управляет режимом работы. При подаче низкого потенциала на этот вход преобразователь работает в режиме с гистерезисом, а высокий уровень включает режим ШИМ.

Выходное напряжение преобразователя регулируется изменением сопротивления резистора R_{VID} в соответствии с таблицей.

Конфигурация вывода VID для установки выходного напряжения

Конфигурация вывода VID	V_{OUT} , В	
	Заводская установка 0	Заводская установка 1
Соед. с общим	3.0	3.1
Соед. с PVIN	2.5	1.3
$R_{VID} = 499$ кОм	3.6	5.0
$R_{VID} = 316$ кОм	3.3	4.5
$R_{VID} = 226$ кОм	2.9	4.2
$R_{VID} = 174$ кОм	2.8	3.9
$R_{VID} = 127$ кОм	2.7	3.4
$R_{VID} = 97.6$ кОм	2.6	3.2
$R_{VID} = 76.8$ кОм	2.4	1.9
$R_{VID} = 56.2$ кОм	2.3	1.7
$R_{VID} = 43.0$ кОм	2.2	1.6
$R_{VID} = 32.4$ кОм	2.1	1.4
$R_{VID} = 25.5$ кОм	2.0	1.1
$R_{VID} = 19.6$ кОм	1.8	1.0
$R_{VID} = 15.0$ кОм	1.5	0.9
$R_{VID} = 11.8$ кОм	1.2	0.8

В ИМС ADP5301 предусмотрен режим плавного пуска, который позволяет контролировать выходное напряжение при запуске и ограничивать пусковой ток. Это предотвращает возможность падения напряжения на входе из-за большого внутреннего сопротивления источника питания преобразователя. Типовое значение времени мягкого пуска 350 мкс. Предусмотрена возможность установить время плавного пуска 2800 мкс на заводе изготовителе.

Устройство защиты от перегрева срабатывает если температура кристалла ADP5301 превышает 142 °C и ИМС выключается. Внутреннее устройство контроля включит преобразователь только в том случае если температура перехода упадет ниже 127 °C.

В [1] даны рекомендации по выбору типа катушки индуктивности, а также по расчету емкостей и выбору типа конденсаторов в зависимости от требуемых параметров преобразователя.

На рис. 2 приведены зависимости КПД преобразователя от тока нагрузки при выходном напряжении 1.2 В в режиме работы с гистерезисом, а на рис. 3 – в режиме работы с ШИМ.

Это самый тяжелый режим работы для преобра-

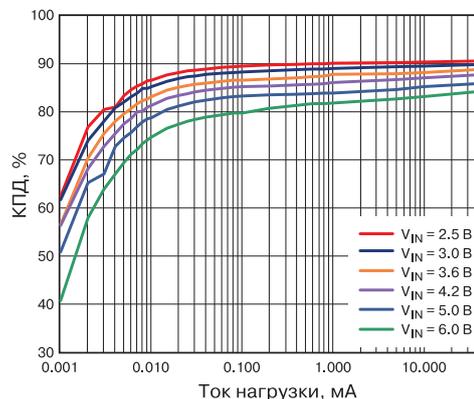


Рис. 2. Зависимости КПД преобразователя от тока нагрузки при выходном напряжении 1.2 В в режиме работы с гистерезисом

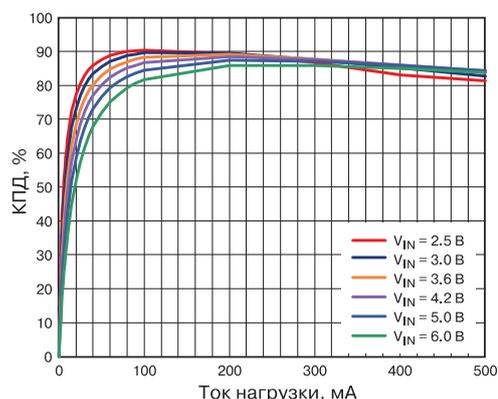


Рис. 2. Зависимости КПД преобразователя от тока нагрузки при выходном напряжении 1.2 В в режиме работы с ШИМ

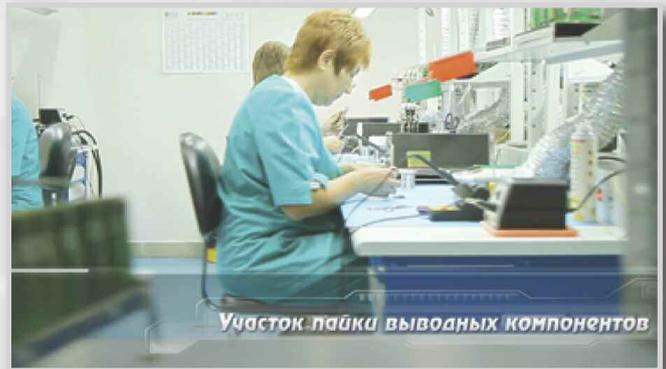
зователя. При повышении выходного напряжения КПД преобразователя растет. Например, при выходном напряжении 3.3 В в режиме работы с гистерезисом максимальный КПД преобразователя при токе нагрузки 50 мА достигает 98%, в то время как при выходном напряжении 1.2 В не превышает 90%.

Преобразователь можно использовать для формирования на выходе отрицательного напряжения. Подробная информация и схемы включения инвертирующего преобразователя в различных режимах работы приведены в [2].

Более подробную информацию о характеристиках и рекомендуемых режимах работы преобразователя можно найти в [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP5301.pdf>.
2. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1406.pdf>.



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Полный цикл контрактного производства электроники:

- проектирование и изготовление печатных плат и трафаретов по стандарту IPC-A-600H
- комплексная поставка комплектующих элементов
- автоматизированный монтаж компонентов по технологии SMT и THT, включая монтаж в азотной среде, в соответствии со 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
- проведение климатических испытаний (по заказу)

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.

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

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

НПФ VD MAIS

Центральный офис:

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

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

Региональные представительства:

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

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

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

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

69000 Запорожье
бульвар Шевченко, 25, оф. 14
Руслан Моисеенко
r.moiseienko@vdmajs.ua
тел. (095) 274-6897