

№11 (57), 2008 г.

**Информационно-технический
журнал.**

Учредитель — ЗАО «КОМПЭЛ»



Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-19835**Редактор:**Геннадий Каневский
*vesti@compel.ru***Помощник редактора:**
Анна Кузьмина**Редакционная коллегия:**Андрей Агеноров
Алексей Гуторов
Евгений Звонарев
Сергей Кривандин
Валерий Куликов
Александр Райхман
Борис Рудяк
Игорь Таранков
Илья Фурман**Дизайн, графика, верстка:**Елена Георгадзе
Владимир Писанко
Евгений Торочков**Распространение:**

Анна Кузьмина

Электронная подписка:
www.compeljournal.ru**Отпечатано:**«Гран При»
г. РыбинскТираж — 1500 экз.
© «Новости электроники»**Подписано в печать:**
17 августа 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПОНЕНТЫ

DSP

- Цифровые сигнальные контроллеры с плавающей точкой
(Texas Instruments)
Алексей Пантелейчук 3

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- GPS-модуль компании eRide с рекордной чувствительностью
Олег Пушкарев 6

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

- Интеллектуальные ключи International Rectifier
Евгений Звонарев 10

ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

- Алюминиевые электролитические конденсаторы Samwha
Сергей Швецов 17

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- Управление изолированным затвором IGBT.
Основные положения. Часть I
(Semikron)
Маркус Хермвиль, Андрей Колпаков 23

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

- Цепь защиты при резких изменениях напряжения
автомобильной сети
(Maxim Integrated Products)
Рональд Морадхан 27

ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

СТРАНИЦА ГЕОРГИЯ КЕЛЛА

- Суджи Накамура: творец синего цвета 29

ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ 31



ОТ РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели!

Этот номер нашего журнала получился летним, цветным и разнообразным, как салат. Но хорошие повара знают, что

в грамотно приготовленном салате, при всем богатстве ингредиентов, обязательно должна быть сквозная вкусовая нота. В данном случае в качестве такой ноты выступает «добавленный интеллект».

Компания **Texas Instruments** добавила в архитектуру цифровых сигнальных контроллеров, основанных на платформе C2000, модуль вычислений с плавающей точкой — и получилось семейство TMS320F2833x с увеличенной на 50% по сравнению с базовыми изделиями производительностью. Благодаря плавающей точке, математические действия можно выполнять быстрее в среднем в 2,5 раза (см. стр. 3).

Компания **eRide** добавила в навигационный GPS-модуль процессор на ядре ARM7 и чипсет собственной разработки OPUS III. Процессор позволил получить на выходе модуля готовые навигационные данные, которые в дальнейшем может обработать недорогой внешний 8-рядный контроллер. А чипсет позволил достичь рекордной на рынке чувствительности -161 дБ, что дает возможность строить на базе нового модуля EMD3622F навигационные системы для современного мегапо-

лиса со сложными внутригородскими коммуникациями (см. стр. 6).

Важной группой продукции компании **International Rectifier** являются интеллектуальные ключи. Их функции схожи с функциями МОП-транзисторов, но добавленный интеллект позволяет управлять ими непосредственно с логических схем, минуя драйверы, и реализовывать многочисленные схемы защиты — от перегрузок по току и напряжению, перегрева кристалла, включения с обратной полярностью и т.д. (см. стр. 10).

И, наконец, достойной вкусовой приправой к летнему салату служит увлекательная статья Георгия Келла о **Суджи Накамуре**. Этому японскому инженеру-исследователю удалось в 1993 году создать первый образец синего светодиода. Он послужил основой для сверхъярких белых светодиодов, без которых сейчас трудно представить себе электронную отрасль. Почти что детективная история открытия и коммерческих войн вокруг него — на стр. 29.

Приятного аппетита!

С уважением,
Геннадий Каневский



Алексей Пантелейчук (КОМПЭЛ)

ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ

Платформа цифровых сигнальных контроллеров TMS320C2000 компании Texas Instruments является одним из лидеров рынка среди процессоров для встраиваемых приложений. Недавно появились новые представители TMS320C2000 — семейство TMS320F2833x. Это семейство наследует архитектуру предшественников, но, в отличие от них, содержит модуль вычислений с плавающей точкой и контроллер прямого доступа к памяти, что позволяет эффективно реализовывать более сложные алгоритмы управления.

В настоящий момент семейство TMS320F2833x состоит из трех контроллеров, отличающихся объемом встроенной памяти и набором периферийных устройств (таблица 1). На рисунке 1 изображен старший представитель семейства, который содержит 512 кБ flash-памяти и 68 кБ ОЗУ. Вся встроенная Flash и 32 кБ RAM защищены 256-битным паролем. В число периферийных устройств входит до 16 каналов 12-битного АЦП со скоростью преобразования 12,5 MSPS (на сегодняшний день самый быстрый АЦП, встроенный в цифровой сигнальный контроллер), 18 каналов ШИМ (шесть из которых с разрешающей способностью 150 пс) для управления трехфазными приводами,

интерфейс внешней памяти, конфигурируемый как 16- или 32-битный. TMS320F2833x поддерживают множество коммуникационных интерфейсов для связи с внешними периферийными устройствами, процессорами и контроллерами. Контроллер имеет 88 цифровых портов ввода/вывода.

Все цифровые сигнальные контроллеры семейства TMS320F2833x полностью совместимы по выводам и программному коду, что позволяет оптимизировать приложение по цене, производительности и функциональности, переходя с одного контроллера на другой.

Контроллеры имеют производительность до 300 миллионов инструкций с плавающей точкой в



Инструментальный усилитель с околонулевым смещением

INA333 — новый малопотребляющий инструментальный усилитель с околонулевым смещением производства Texas Instruments. При токе покоя 75 мкА, напряжении смещения 25 мкВ, рабочем напряжении 1,8 В и самом высоком в своем классе соотношении сигнал/шум, INA333 позволяет получить высокую точность и стабильность при увеличении времени работы батареи в портативных медицинских, измерительных и промышленных системах сбора данных.

Основные преимущества:

- Низкое напряжение смещения: 25 мкВ (макс)
- Низкий уровень дрейфа: 0,1 мкВ/°C
- Низкий ток покоя: 75 мкА
- Низкий ток смещения: 200 пА
- Шум: 50 нВ/√Гц при 75 мкА
- Минимальное рабочее напряжение до 1,8 В
- Корпус MSOP-8.

Основные области применения:

- Портативные медицинские приборы
- Системы сбора данных
- Весовое оборудование.

секунду (MFLOPS), работают на частоте 150 МГц и являются самыми недорогими контроллерами с плавающей точкой.

Таблица 1. Отличия контроллеров внутри семейства

TMS320	МГц	Flash, кБ	RAM, кБ	DMA	PWM/HRPWM	CAP/QEP	Последовательные интерфейсы
F28335	150	512	68	Есть	12/6	6/2	SPI, 3xSCI, I ² C, 2xMcBSP, 2xCAN
F28334	150	256	68	Есть	12/6	4/2	SPI, 3xSCI, I ² C, 2xMcBSP, 2xCAN
F28332	100	128	52	Есть	12/4	4/2	SPI, 2xSCI, I ² C, McBSP, 2xCAN

Таблица 2. Основные математические операции и число тактов процессора

Операции	C28x 32-bit (Оптимизированный Ассемблер)	float32 (Оптимизированный Ассемблер)
Div	70	24 (2,92)
Sqrt	69	27 (2,56)
Sin & Cos	92	44 (2,09)
Atan2	118	53 (2,23)
Среднее значение увеличения производительности (эквивалентная частота F2812)		2,45 (367 МГц)

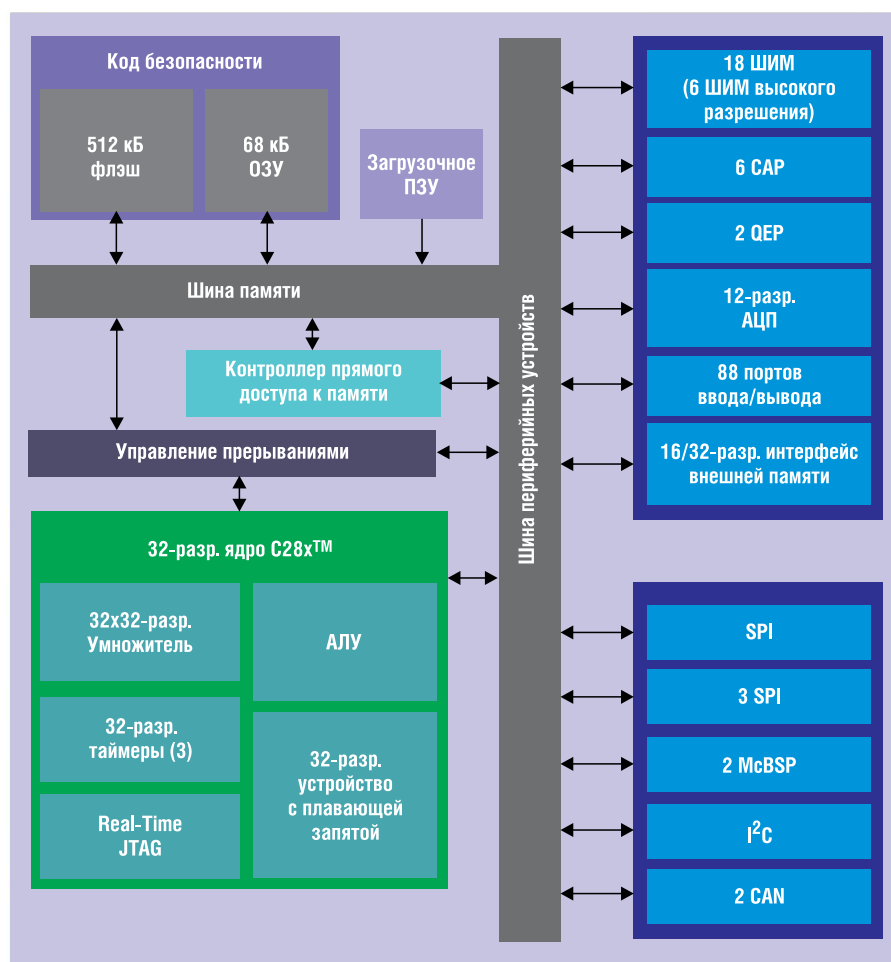


Рис. 1. Блок-схема архитектуры TMS320F28335

TMS320F2833x способны увеличить производительность на 50% и упростить программное обеспечение таких приложений, как трехфазные

инверторы для солнечных батарей, высококлассные источники мощности, автомобильные радиолокаторы, системы управления приводами.

Разработчики программного обеспечения обычно начинают разработку алгоритма, используя арифметику с плавающей точкой. Затем преобразуют полученный код для запуска его на процессоре с фиксированной точкой. Контроллеры TMS320F2833x позволяют исключить второй этап разработки программного обеспечения, что экономит много времени и способствует быстрому выходу устройства на рынок.

При реализации алгоритмов управления масштабирование и округление производится намного чаще, чем при реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов. Вот почему плавающая точка значительно увеличивает производительность в таких приложениях.

В таблице 2 представлены основные математические операции и количество тактов процессора, которые тратятся при их реализации с помощью процессоров C28x с использованием фиксированной и плавающей точки.

Из таблицы видно, что благодаря плавающей точке, математические действия можно выполнять в 2,5 раза быстрее. Эквивалентная частота означает, что разработчик, использующий F2812, должен разогнать процессор до 367 МГц, чтобы получить производитель-

Таблица 3. Изменение числа тактов при переходе на плавающую точку

Алгоритмы управления	C28x 32/64-битная математика (C/C++)	float32 (C/C++)
State Estimator	1563	~1137 (1,37)
Park Transform	107	~60 (1,78)
High Precision PID	110	~70 (1,57)
Среднее значение увеличения производительности (эквивалентная F2812 частота)		1,57 (236 MHz)

Таблица 4. Скорость выполнения алгоритмов DSP

DSP	C28x 16/32-bit (Оптимизированный Ассемблер)	float32 (Оптимизированный Ассемблер)
Vector Product (N=40)	57	59 (0,97)
Vector Max (N=40)	139	103 (1,35)
Vector Sum (N=40)	134	139 (0,96)
Ecludian Distance (N=40)	141	106 (1,33)
FFT Complex (256)	~27000	~11000 (2,45)
IIR Cascaded	14 cycles/filter	8 cycles/filter (1,75)
FIR Single Sample (N=1, T=16)	39	42 (0,93)
FIR LMS (N=1, T=16)	102	76 (1,34)
Среднее значение увеличения производительности (эквивалентная F2812 частота)		1,38 (207 МГц)

ность F28335. Рассмотрим, как изменится число тактов при переходе на плавающую точку в алгоритмах управления. Результаты представлены в таблице 3.

В таблице 4 представлены результаты сравнения скорости выполнения DSP-алгоритмов.

На рисунке 2 показано графически увеличение производительности при переходе на плавающую точку для математических функций, алгоритмов управления и алгоритмов цифровой обработки сигналов.

Для начала разработки приложения на базе процессоров TMS320F2833x рекомендуется отладочный комплект TMDXEZ28335, который содержит:

- Отладочную плату с процессором TMS320F28335;
- CD-ROM со средой разработки Code Composer Studio 3.1, ПО для диагностики и примеры программ;
- Инструкцию;

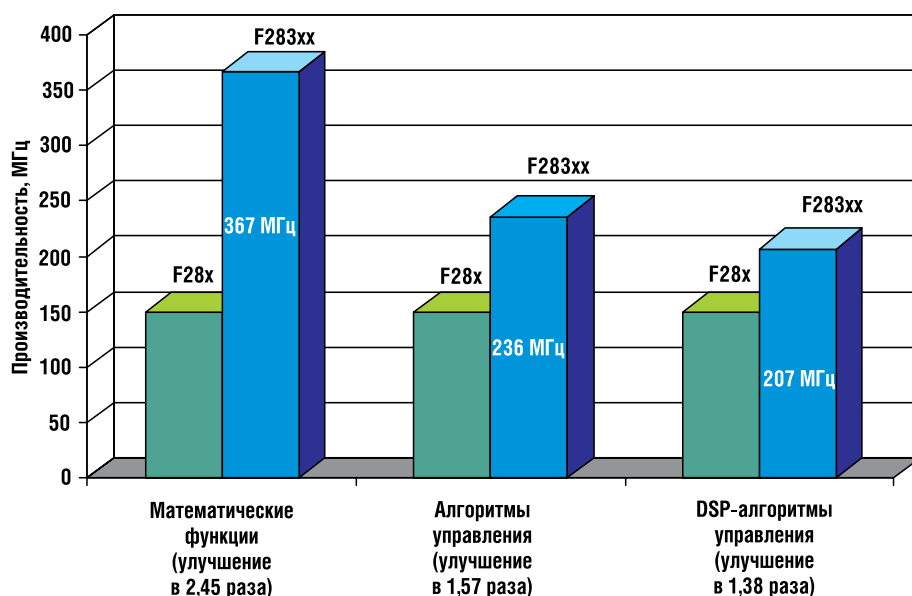


Рис. 2. Увеличение производительности при переходе на плавающую точку

- Руководство пользователя;
- USB-кабель для соединения платы с компьютером;
- Блок питания.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: dsp.vesti@compel.ru

НОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

TMS320F2833x

F2812:

1. 150 МГц
2. EMIF
3. McBSP
4. Корпус со 176 выводами

F2808:

1. Новый 12-битный АЦП
2. ePWMs, eCAP, eQEP
3. I²C
4. Двойной CAN

F2812:

1. Блок плавающей точки
2. 512 кБ Flash
3. 68 кБ RAM
4. 32 бит EMIF

www.compel.ru



Олег Пушкарев (КОМПЭЛ)

GPS-МОДУЛЬ КОМПАНИИ ERIDE С РЕКОРДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ



Новый GPS-приемник EMD3622F компании eRide является законченным GPS-модулем с самым высоким на сегодняшний день параметром чувствительности -161 дБм. Поддержка активных и пассивных антенн, два протокола выдачи информации и различные режимы энергопотребления делают этот модуль удачным выбором для построения автомобильных навигационно-охранных систем.

Компания eRide известна российским разработчикам как производитель GPS-модулей eMD1100Z и eMD1000K, которые используются совместно с беспроводными процессорами WAVECOM в решении C-GPS. Решение C-GPS [1] предполагает применение упрощенных GPS-модулей, содержащих только высокочастотную часть (RF front end) и микросхему корреляторов (Baseband). Последующая обработка сигналов и вычисление координат производится силами внешнего хост-процессора, от которого требуются некоторые вычислительные ресурсы (~ 6 MIPS) и достаточный объем памяти (~ 200 кБ) для программы окончательной обработки. Данное решение является оптимальным в том

случае, если в систему уже заложены процессор уровня ARM7 — оно позволяет избежать дублирования процессорных мощностей, снизить энергопотребление и себестоимость изделия. Однако для многих приложений необходим законченный GPS-приемник, выдающий координаты в виде стандартных NMEA-строк, обработка которых под силу даже 8-разрядному микроконтроллеру. Для подобных приложений компания eRide выпустила GPS-модуль EMD3622F.

Описание EMD3622F

Новый GPS-приемник EMD3622F/OPUS III ezRide-22 компании eRide (рис. 1) представляет собой высокочувствительный SMD-модуль разработанный спе-

циально для автомобильных применений, таких как навигаторы, охранные устройства и системы управления транспортным парком. EMD3622F обеспечивает быстрый захват сигналов спутников даже в условиях современного города с многоэтажной застройкой. Безпрецедентная чувствительность -161 дБм позволяет не терять сигнал в городских «каньонах», тоннелях и под мостами.

EMD3622F собран на базе радиочасти ePR3036/Prelude III RF Receiver IC и процессора основной обработки (baseband) ePV3600/OPUS IIIez IC (рис. 2). Эти микросхемы представляют собой новинку компании eRide — чипсет OPUS III, построенный на основе технологии CMOS 90 нм. Встроенный процессор на базе ядра ARM7TDMI (ROM+SRAM) осуществляет все вычисления, необходимые для получения навигационных данных в виде координат, времени, скорости, направления движения и т.д. GPS-приемник построен на базе архитектуры с одним преобразованием и низкой

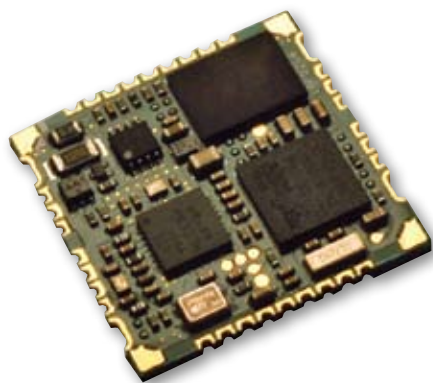


Рис. 1. GPS-модуль EMD3622F

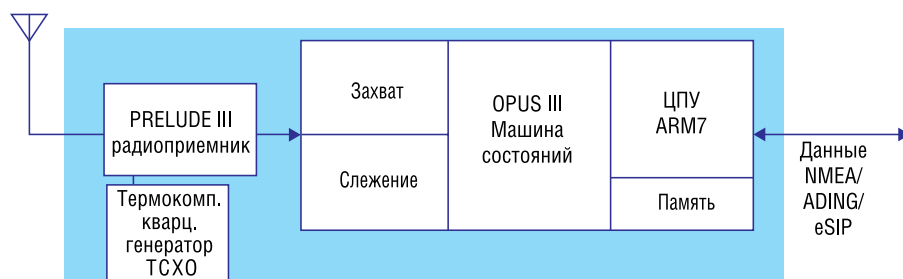


Рис. 2. Структурная схема EMD3622F

Таблица 1. Технические параметры EMD3622F

Параметр	Значение
Тип приемника	Частота L1
	32 канала в режиме захвата
	12 каналов в режиме слежения
	2 канала SBAS (EGNOS, WWAS и MSAS)
Максимальная частота обновления информации, Гц	1
Точность позиционирования	Вне помещений ¹ : 2,5 м, 50% СЕР
	Внутри помещений ² : 10 м, 50% СЕР
Время старта, с	Горячий старт: менее 1 вне помещений ¹ , менее 15 внутри помещений ²
	Теплый старт: 33 (тип.) при -135 дБм
	Холодный старт: 34 (тип.) при -135 дБм
Чувствительность, дБм	Захват: -145
	Слежение ³ : -161
Напряжение питания, В	3,0...3,6
Потребление энергии, мВт	0,025 в режиме RTC
	125 в режиме слежения вне помещений
	185 в режиме слежения внутри помещений
	195 в режиме поиска
Рабочая температура, °C	-40...80
Режим работы со вспомогательными данными	Загрузка сообщений через двунаправленный последовательный NMEA-порт (требуется доступ к сотовой сети)
Корпус, мм	22,0x22,0x3,0
Протоколы	NMEA 0183
	Фирменный протокол eRide eSIP
Процессор	Встроенный на базе ядра ARM7
Последовательный порт	Одиночный последовательный UART
Цифровые входы/выходы	3 В CMOS-уровни
Антенный интерфейс	Пассивная RHCP GPS-антенна

¹ Вне помещений: все видимые спутники принимаются с уровнем не хуже -140 дБм² Внутри помещений: все видимые спутники принимаются с уровнем не хуже -153 дБм³ С внешним малошумящим усилителем.

Таблица 2. Режимы работы EMD3622F

Режим	Состояние	VBK	VCC
0 — Off	Нет резервного питания, все данные потеряны	Выключен	Выключен
1 — RTC	Есть резервное питание, основной источник питания выключен. Работают часы реального времени и таймер, сохраняются данные в резервной памяти. EMD3622F может быть выведен из этого состояния подачей напряжения питания на вывод VCC	Включен	Выключен
2 — Standby	GPS-ядро и процессор отключены. Работают часы реального времени и таймер, сохраняются данные в резервной памяти. EMD3622F может быть выведен из этого состояния по событию RTC; сигналом ON/OFF/SBY; линией RXD; сигналом сброса NRST.	Включен или выключен	Включен
3 — MCU	GPS-ядро отключено. Процессор работает. GPS-ядро может быть запущено сигналом ON/OFF/SBY или приемом соответствующей команды по UART1	Включен или выключен	Включен
4 — GPS	Питание подается на все узлы устройства. GPS-ядро может выдавать координаты. GPS-ядро может быть отключено сигналом ON/OFF/SBY или приемом соответствующей команды по UART1	Включен или выключен	Включен

промежуточной частотой 1,276 МГц. Для улучшения селективности и повышения стойкости к блокированию в модуле применены два ПАВ-фильтра. Внутренний термокомпенсированный кварце-

вый генератор 27,456 МГц обеспечивает быстрый старт в различных условиях. Дополнительный работающий от батареи кварцевый генератор 32 кГц позволяет производить отсчет времени при

отключении основного питания. EMD3622F имеет широкий набор интерфейсов: последовательные порты UART и SPI/I2C/UART, порты GPIO. Достаточно широкий шаг краевых контактных площа-

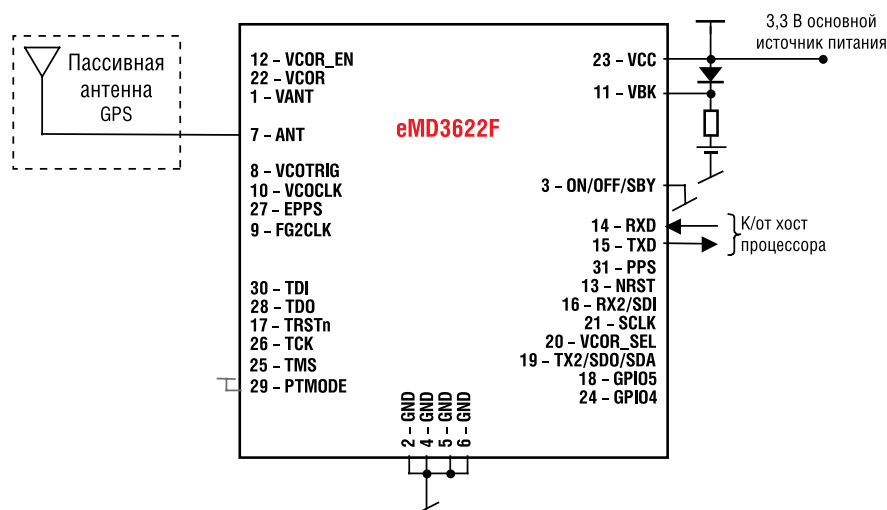
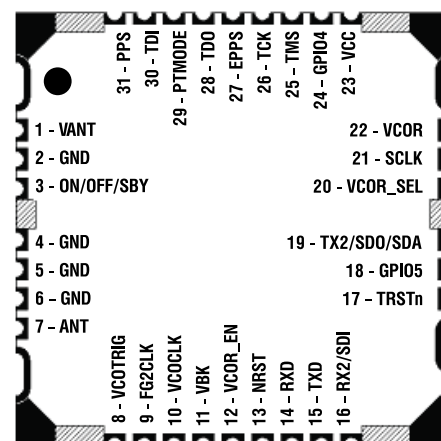


Рис. 3. Схема включения и расположение выводов EMD3622F



\$GPGGA,045936.640,5543.4802,N,03739.1583,E,1.06,1.0,163.4,M,14.6,M,,*5F
\$GPGSA,A,3,32,20,31,17,23,22,,,,,1.8,1.0,1.3*3E
\$GPGLL,5543.4802,N,03739.1583,E,045936.640,A,A*5E
\$GPZDA,045936.640,27,06,2008,,*50
\$GPGSV,3,1,10,32,81,270,36,20,46,273,43,14,39,058,22,31,32,127,38*7D
\$GPGSV,3,2,10,17,22,317,24,23,10,222,38,22,06,093,20,05,06,045,*79
\$GPGSV,3,3,10,30,01,066,,19,00,197,*7D
\$GPRMC,045937.640,A,5543.4802,N,03739.1583,E,0.00,194.80,270608,,A*67

Рис. 4. Набор NMEA-сообщений EMD3622F

док (1,5 мм) не предъявляет особых требований к классу точности печатной платы. SMD-модуль имеет размеры 22x22x3 мм и заключен в экранированный корпус.

GPS-приемник осуществляет поиск спутников по 32-каналам, обеспечивая точность 1,3 метра на открытом пространстве и 12,5 метров в помещениях. Модуль работает от одного источника питания с напряжением от 3 до 3,6 В. Ток потребления в режиме слежения составляет 40 мА. EMD3622F поддерживает работу с 2 протоколами, NMEA-183 v.3.0 (1 Гц) и собственным протоколом eSIP (eRide's Serial Interface Protocol). По умолчанию UART модуля имеет скорость 9600 бит/сек, используется посылка 8-бит, без бита четности, одиночный стоп-бит. Приемник может работать как с активными, так и с пассивными GPS-антеннами. Схема включения с пассивной антенной требует минимума внешних элементов (рис. 3). При использовании активной антенны необходи-

мо подать напряжение питания на линию VANT (вывод 1), при этом цепи развязки питания и схема защиты внешней активной антенны уже встроены в GPS-модуль. Технические характеристики модуля приведены в таблице 1.

Для нормальной работы модулю EMD3622F необходимо единственное напряжение питания. Для оптимизации потребляемой энергии разработчики модуля предусмотрели несколько аппаратных и программных режимов управления питанием. На аппаратном уровне это реализовано в виде отдельного вывода VBC для подачи напряжения питания памяти и часов реального времени. Дополнительно имеется возможность отключения внутреннего LDO и подачи внешнего напряжения питания 1,0 В непосредственно на ядро GPS-части (ePV3600). В процессе работы имеется возможность устанавливать один из четырех режимов функционирования модуля, существенным об-

разом влияющих на потребляемый ток (таблица 2).

Подробное описание режимов работы и соответствующие им токи потребления можно найти в технической документации на модуль [3], которую можно получить, посыл запрос по адресу wireless@compel.ru.

Протокол eSIP

Протокол NMEA 0183 является стандартом «де факто» и его описание можно найти на сайте Википедии [3]. На рисунке 4 приведен пример реальных NMEA-строк, выдаваемых по умолчанию модулем EMD3622F.

Протокол eSIP является фирменным протоколом компании eRide. Этот ASCII-протокол совместим со стандартом NMEA 0183. В отличие от NMEA все предложения eSIP начинаются со строки "\$PERD". Предусмотрено два типа предложений — «Запрос» и «Установка». Предложение «Запрос» (Query) позволяет считывать параметры модуля. Предложение «Установка» (Set) служит для конфигурирования параметров модуля или для передачи команды на исполнение модулем определенных действий. Для предложений «Установка» не предусмотрено автоматической отсылки подтверждения со стороны модуля. Все команды eSIP передаются в модуль по линии RXD (выв. 14).

Одной из интересных команд протокола eSIP является установка степени фильтрации разброса ко-

ординат модуля в неподвижном состоянии. Команда «PIN – Set Static Pinning Strength» позволяет оптимальным образом настроить модуль как для работы в составе персонального навигационного устройства (рекомендуемая установка OFF), так и для автомобильного навигатора (рекомендуемая установка MED или STRONG). Данная команда может быть подана в любое время, и переключение режима фильтрации происходит немедленно.

По умолчанию модуль имеет настройки, которые подходят для большинства возможных приложений. После подачи питания EMD3622z начинает каждую секунду посылать навигационные данные по линии TXD (вывод 15). Набор и частоту выдаваемых NMEA-сообщений можно изменить, используя специальную команду «OUT – Configure the Standard NMEA Outputs GPQ». Допустимый набор NMEA-предложений: GGA, GLL, GSA, GSV, RMC и ZDA. Команда «COMCTRL – Configure Serial Communications» изменяет настройки порта UART.

Для изменения настроек модуля рекомендуется сначала отключить GPS-часть с помощью команд STOP или STANDBY и после смены установок возобновить работу командой START.

Все команды протокола eSIP можно найти в описании [4], которое можно получить, отправив запрос по адресу wireless@compel.ru.

Литература

[1] Всеволод Нестеров. Использование C-GPS-решения от компании Wavecom в бортовом мобильном навигационном контроллере. Новости Электроники, №19, 2007

[2] Описание протокола NMEA <http://ru.wikipedia.org/wiki/NMEA>

[3] Техническое описание OPUS III ezRide-22 Data Sheet

[4] Описание протокола eRide Serial Interface Protocol (eSIP).

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: wireless.vesti@compel.ru

Jennic

TECHNOLOGY FOR A CHANGING WORLD

Jennic продемонстрирует беспроводное near video по IEEE802.15.4

Компания **Jennic Ltd.** продолжает использовать открытый стандарт радиосвязи IEEE802.15.4, демонстрируя беспроводную передачу "near video". Первая публичная демонстрация состоится на выставке беспроводных технологий в Международном Выставочном Центре Big Sight в Токио.

Демонстрация покажет передачу видео от камеры на экран со скоростью несколько кадров в секунду по беспроводному каналу связи IEEE802.15.4. Малое энергопотребление данного стандарта делают данную технологию особенно подходящей для приложений, требующих длительного срока службы батарей в сочетании с периодической передачей видеосигнала. Коммерческие применения данной технологии включают беспроводные камеры входных дверей («видеоглазки»), камеры видеонаблюдения, продукцию для мониторинга жилых домов, игры, а также продвинутое решение для дистанционного управления. Технология использует серийно выпускаемый чип кодирования изображения вместе с однокристальным беспроводным микроконтроллером **JN5139** производства Jennic, что даёт низкую стоимость и низкое потребление энергии.

Региональный менеджер офиса японского отделения компании Jennic **Тоши Сато** (Toshi Sato) прокомментировал: «Международный стандарт IEEE802.15.4 гармонично сосуществует с другими распространенными в мире радиостандартами IEEE, однако, в отличие от других стандартов, IEEE802.15.4 имеет гибкую область применения, позволяя разработчикам использовать беспроводные соединения в широком спектре новой продукции. Другие радиостандарты в основном разработаны для специфичных приложений, таких как точки доступа или беспроводные гарнитуры, где стандарт определяет всю функциональность. Это не совсем удобно для нестандартных приложений, что, наряду с низким потреблением энергии, и является преимуществом стандарта IEEE802.15.4.»

GPS-модуль EMD3622



БЕСПРЕЦЕДЕНТНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ - 161 ДБМ

Высокая чувствительность нового GPS-модуля, построенного на технологии Opus III™ (90 нм), позволяет не терять сигналы спутников даже в самых сложных условиях современного мегаполиса. Модуль EMD3622 создавался специально для использования в автомобильных системах и отличается исключительной простотой применения






www.compel.ru



Евгений Звонарев (КОМПЭЛ)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КЛЮЧИ INTERNATIONAL RECTIFIER

International
IR Rectifier

*Интеллектуальные ключи **International Rectifier** имеют несколько степеней защиты, оптимизированные для автомобильных приложений диапазоны рабочих напряжений, и не нуждаются в дополнительных драйверах МОП-транзисторов. Эти и другие преимущества позволяют с успехом использовать интеллектуальные ключи в автомобильной электронике и промышленной технике.*

Интеллектуальные ключи или IPS (Intelligent Power Switches) имеют высокую плотность тока и несколько степеней защиты, благодаря чему их надежность при перегрузках и обратном включении гораздо выше по сравнению с обычными МОП-транзисторами (MOSFET). Они защищены от включения с обратной полярностью, перегрузок по току и напряжению и от перегрева кристалла. Диапазоны рабочих напряжений и токов интеллектуальных ключей оптимизированы для автомобильных приложений с напряжениями питания 12, 24 и 42 В. Управление ключами непосредственно от логических схем позволяет отказаться от дополнительных драйверов МОП-транзисторов. В силу этих и многих других достоинств, интеллектуальные ключи находят

широкое применение в автомобильной электронике и промышленной технике.

Интеллектуальные ключи International Rectifier можно разделить на три группы:

- интеллектуальные ключи нижнего уровня;
- интеллектуальные ключи верхнего уровня;
- интеллектуальные ключи верхнего уровня с программируемой отсечкой тока.

Интеллектуальные ключи нижнего уровня

У интеллектуальных ключей нижнего уровня исток соединяется с общим силовым проводом, нагрузка подключается между стоком и шиной питания. Использование входа управления для диагностики корректности режимов

работы ключа позволяет обойтись всего тремя выводами корпуса. Низкое количество выводов корпуса и простота схемы интеллектуальных ключей нижнего уровня позволяют снизить цену этих приборов. Типовая схема включения ключа нижнего уровня показана на рисунке 1. Вход управления ключей этого типа одновременно является и входом диагностики рабочего состояния прибора по величине входного тока. Ключи этого класса защищены от перегрева кристалла (температура выключения 165°C), имеют оптимизированные длительности фронтов и спада импульсов для минимизации создаваемых электромагнитных помех, реализована функция активного ограничения тока (Active clamp). Максимальное значение ограничения тока у самых мощных ключей составляет 85 А. Низкий входной ток и совместимость с логическими уровнями позволяют упростить управление ключами от микроконтроллера и исключить дополнительные электронные компоненты. Разнообразие корпусов для интеллектуальных ключей нижнего уровня (типы корпусов приведены на рисунке 1) и широкий диапазон максимальных выходных токов позволяют сделать разработчику оптимальный выбор прибора. Основные параметры интеллектуальных ключей нижнего уровня сведены в таблицу 1.

Интеллектуальные ключи верхнего уровня

Чаще всего в автомобиле нагрузка подключается к общему силовому проводу («массе»). В этих случаях управлять нагрузкой удобно с помощью интеллектуальных ключей верхнего уровня. Ти-

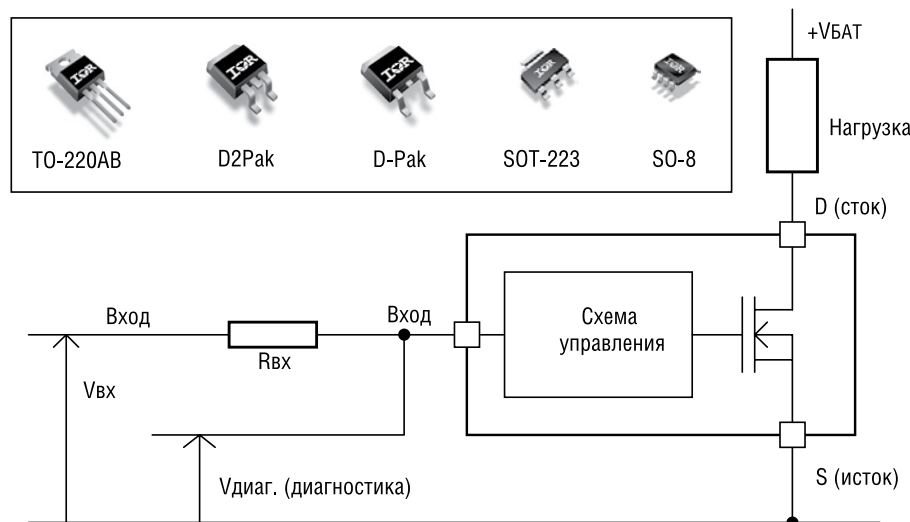


Рис. 1. Типовая схема включения интеллектуального ключа нижнего уровня

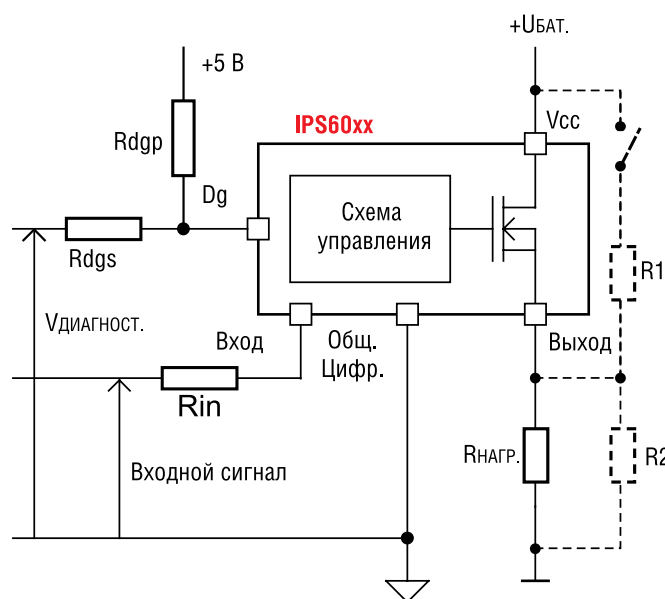
Таблица 1. Интеллектуальные ключи нижнего уровня International Rectifier

Наименование	Корпус	Число входов	Rси(вкл.), (мОм)	Uвых макс, (В)	Параметры защиты	
					Iвыкл, (А)	Tвыкл, (С°)
IPS1011	TO-220AB	1	13	36	85	165
IPS1011R	D-Pak	1	13	36	85	165
IPS1011RPBF	D-Pak	1	13	36	85	165
IPS1011S	D2-Pak	1	13	36	85	165
IPS1011SPBF	D2-Pak	1	13	36	85	165
IPS1021R	D-Pak	1	25	36	35	165
IPS1021RPBF	D-Pak	1	25	36	35	165
IPS1021S	D2-Pak	1	25	36	35	165
IPS1021SPBF	D2-Pak	1	25	36	35	165
IPS1021	TO-220AB	1	25	36	35	165
IPS1021PBF	TO-220AB	1	25	36	35	165
IPS1031	TO-220AB	1	50	36	18	165
IPS1031PBF	TO-220AB	1	50	36	18	165
IPS1031R	D-Pak	1	50	36	18	165
IPS1031S	D2-Pak	1	50	36	18	165
IPS1042GPBF	SO-8	2	100	39	6	165
IPS1041RPBF	D-Pak	1	100	39	6	165
IPS1041LPBF	SOT-223	1	100	39	6	165
IPS2041RPBF	D-Pak	1	130	68	5	165
IPS2041LPBF	SOT-223	1	130	68	5	165
IPS1052GPBF	SO-8	2	250	39	2,8	165
IPS1051LPBF	SOT-223	1	250	39	2,8	165

повая схема включения интеллектуальных ключей верхнего уровня на примере серии IPS60xx приведена на рисунке 2.

Интеллектуальные ключи верхнего уровня International Rectifier имеют пять выводов (вход основной, вход диагностики, общий цифровой, вывод для подключения питания и выход). На рисунке 3 проиллюстрировано правильное соединение общего силового и общего цифрового проводников для исключения протекания тока нагрузки через цифровую землю, что предотвращает ложные срабатывания ключа.

Дополнительный вход диагностики DG (diagnostics) позволяет контролировать состояние ключа во время работы и при включении. На примере интеллектуальных ключей верхнего уровня серии IPS60xx на рисунке 4 показаны режимы, диагностируемые ключами этой серии. Ключи этой серии способны определить обрыв (отключение) нагрузки, короткое замыкание выхода на общий провод или на шину питания, а также перегрев кристалла. При случайном отключении цифрового общего провода интеллектуальный ключ автоматически переходит



R1 и R2 необходимы для детектирования обрыва нагрузки или короткого замыкания выхода на +UБ.АТ.

Рис. 2. Типовая схема включения интеллектуальных ключей верхнего уровня (серия IPS60xx)

дит в аварийный режим работы и отключает нагрузку. Этот момент показан на рисунке 5. Резисторы Rдgp и Rвх ограничивают ток через микроконтроллер.

В интеллектуальных ключах верхнего уровня реализована защита от перегрева кристалла при резком увеличении выходного тока. Временные диаграммы, иллюстрирующие срабатывание защиты при превышении допустимой температуры кристалла показаны на рисунке 6. В момент достижения кристаллом максимально допустимой температуры Tогр+ происходит отключение ключа от нагрузки. После снижения температуры до уровня Tогр- работоспособность ключа восстанавливает-

люстрирующие срабатывание защиты при превышении допустимой температуры кристалла показаны на рисунке 6. В момент достижения кристаллом максимально допустимой температуры Tогр+ происходит отключение ключа от нагрузки. После снижения температуры до уровня Tогр- работоспособность ключа восстанавливает-

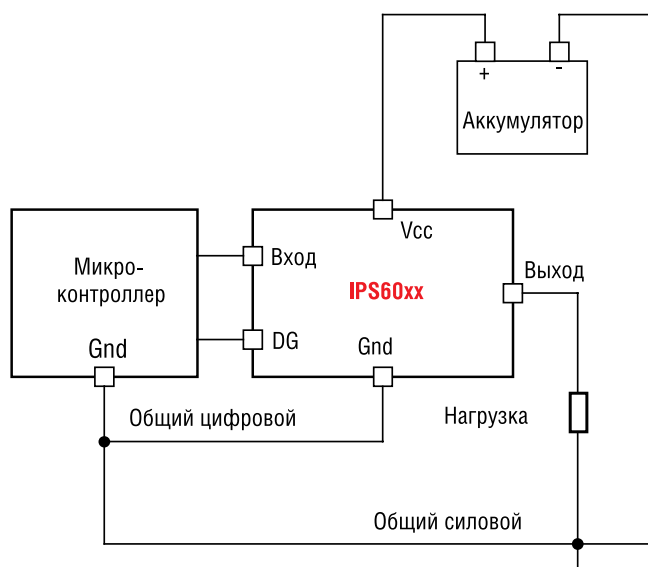


Рис. 3. Корректное соединение общих проводников интеллектуальных ключей верхнего уровня

ся. Если перегрузка не устранена, то такие температурные циклы будут периодически повторяться, что показано на рисунке 6.

При перегрузке в ключах верхнего уровня реализовано активное ограничение тока. Это освобождает микроконтроллер от постоянного контроля работоспособности интеллектуального ключа. Однако необходимо учитывать, что при перегрузке по току транзистор переходит в линейный режим, и рас-

сеиваемая на нем мощность может оказаться недопустимо большой. В документации для интеллектуальных ключей приводятся графики зависимости допустимой индуктивности нагрузки при максимальном токе (типовой график показан на рисунке 7). Типовые временные диаграммы, иллюстрирующие режим активного ограничения тока ключей серии IPS60xx приведены на рисунке 7. Подробно все эти процессы рассмотрены в руковод-

Режимы работы IPS60xx	Вход	Выход	Вход DG*
Нормальный режим	H**	H	H
Нормальный режим	L***	L	H
Отключенная нагрузка	H	H	L
Отключенная нагрузка (1)	L	H	L
КЗ на общий провод	H	L	L
КЗ на общий провод	L	L	H
КЗ на Улит.	H	H	L
КЗ на Улит. (2)	L	H	L
Перегрев кристалла	H	L	L
Перегрев кристалла	L	L	H

*Вход DG - вход для сигналов диагностики

**H (High) - высокий уровень напряжения

***L (Low) - низкий уровень напряжения

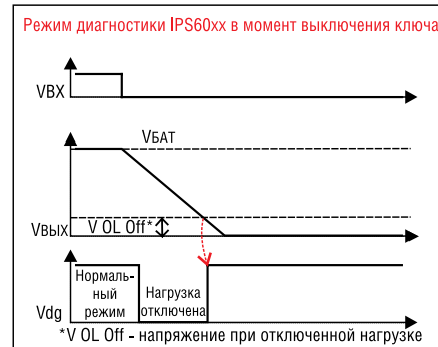
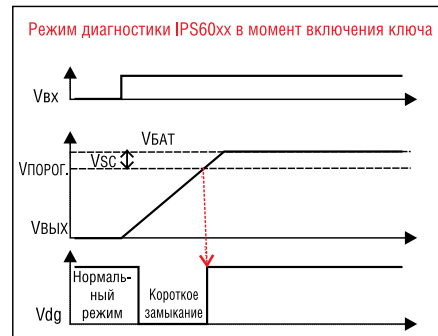


Рис. 4. Режимы диагностики интеллектуальных ключей серии IPS60xx

Таблица 2. Ключи верхнего уровня International Rectifier

Наименование	Корпус	Число входов	Rси(вкл), (мОм)	Uвых макс, (В)	Параметры защиты	
					Iстаб, (А)	Tвыкл, (C°)
IPS6011RPBF	D-Pak-5	1	14	39	60	165
IPS6011PBF	TO-220FL	1	14	39	60	165
IPS6011SPBF	D2-Pak -5	1	14	39	60	165
IPS6021RPBF	D-Pak-5	1	30	39	32	165
IPS6021PBF	TO-220FL	1	30	39	32	165
IPS6021SPBF	D2-Pak -5	1	30	39	32	165
IPS6031PBF	TO-220FL	1	60	39	16	165
IPS6031SPBF	D2-Pak -5	1	60	39	16	165
IPS6031RPBF	D-Pak-5	1	60	39	16	165
IPS7081RPBF	D-Pak-5	1	70	70	5	165
IPS7081PBF	TO-220AB	1	70	70	5	165
IPS7081SPBF	D2-Pak -5	1	70	70	5	165
IPS7071GPBF	SO-8	1	110	70	5	165
IPS7091SPBF	D2-Pak -5	1	120	70	5	165
IPS7091GPBF	SO-8	1	120	70	5	165
IPS7091PBF	TO-220AB	1	120	70	5	165
IPS6041RPBF	D-Pak-5	1	130	39	7	165
IPS6041PBF	TO-220FL	1	130	39	7	165
IPS6041GPBF	SO-8	1	130	39	7	165
IPS6041SPBF	D2-Pak -5	1	130	39	7	165

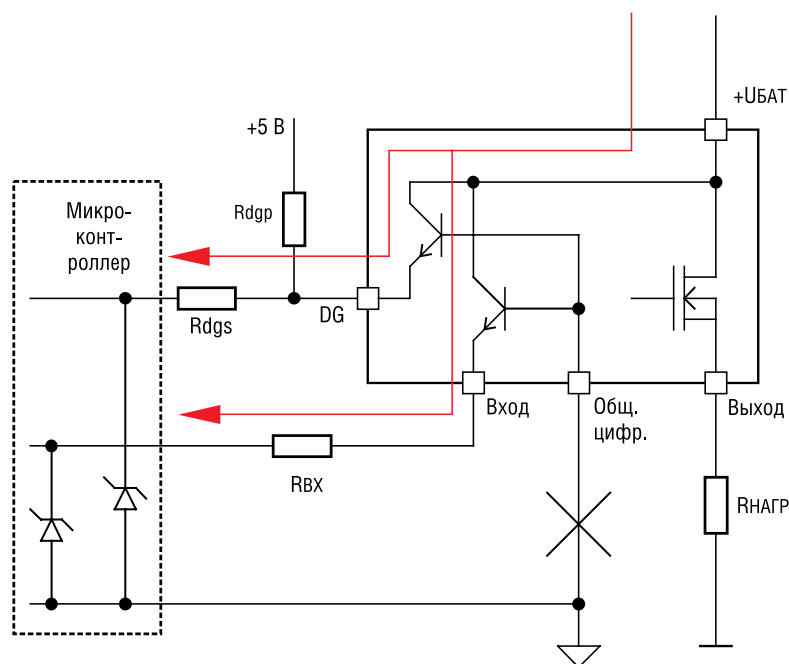


Рис. 5. Ограничение тока через микроконтроллер при обрыве общего цифрового провода

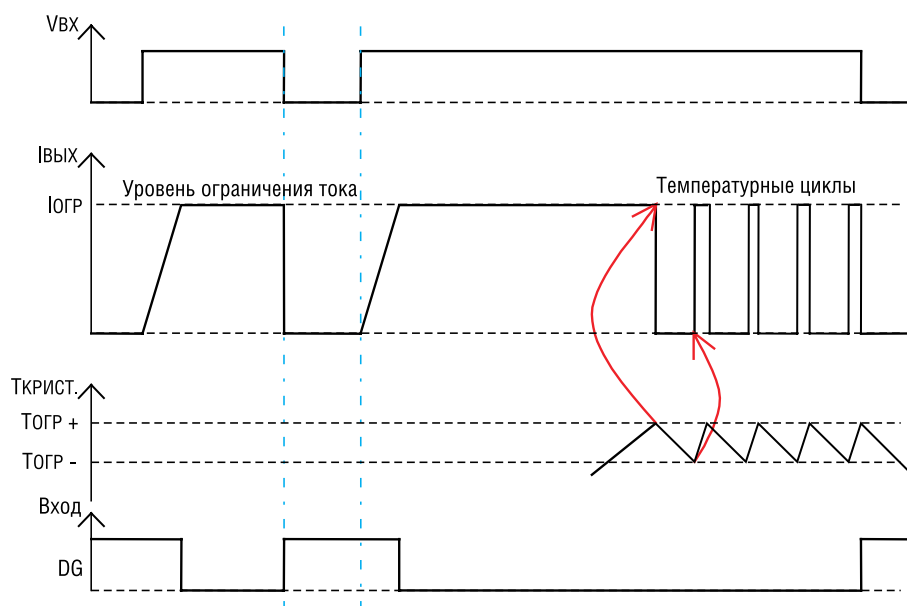
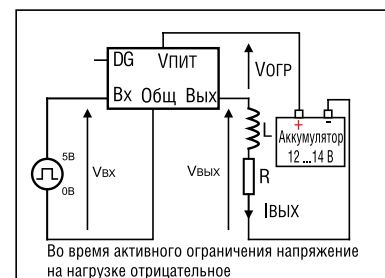


Рис. 6. Ограничение тока в циклах перегрева у ключей верхнего уровня серии IPS60xx



Во время активного ограничения напряжение на нагрузке отрицательное

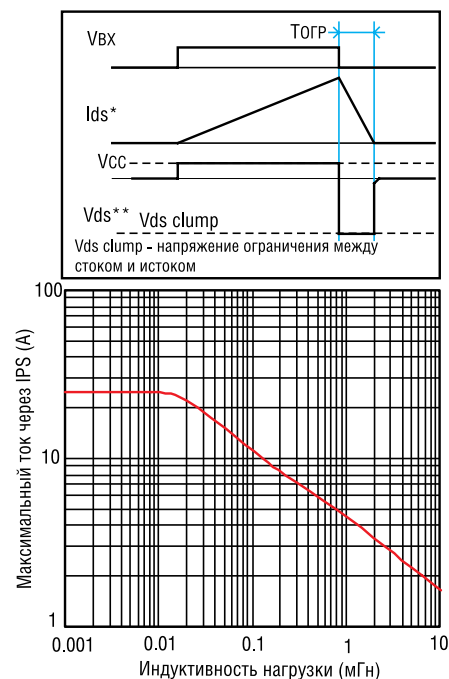


Рис. 7. Активное ограничение тока в линейном режиме работы ключа (типичные графики)

Таблица 3. Ключи верхнего уровня с программируемой отсечкой тока фирмы International Rectifier

Наименование	Корпус	Число входов	Rси(вкл), (мОм)	Uвых макс, (В)	Параметры защиты			Коэфф. ОС по току
					Iвыкл, мин, (А)	Iвыкл, макс, (А)	Tвыкл, (С°)	
IR3313PBF	TO-220FL	1	7	40	10	90	165	8800
IR3316S	D2-Pak -5	1	7	40	10	90	165	8800
IR3316SPBF	D2-Pak -5	1	7	40	10	90	165	8800
IR3313S	D2-Pak -5	1	7	40	10	90	165	8800
IR3313SPBF	D2-Pak -5	1	7	40	10	90	165	8800
IR3314SPBF	D2-Pak -5	1	12	40	6	58	165	5300
IR3314PBF	TO-220FL	1	12	40	6	58	165	5300
IR3315SPBF	D2-Pak -5	1	20	40	3	30	165	2800
IR3315PBF	TO-220FL	1	20	40	3	30	165	2800

Таблица 4. Рекомендуемые производителем International Rectifier замены для IPS предыдущих поколений

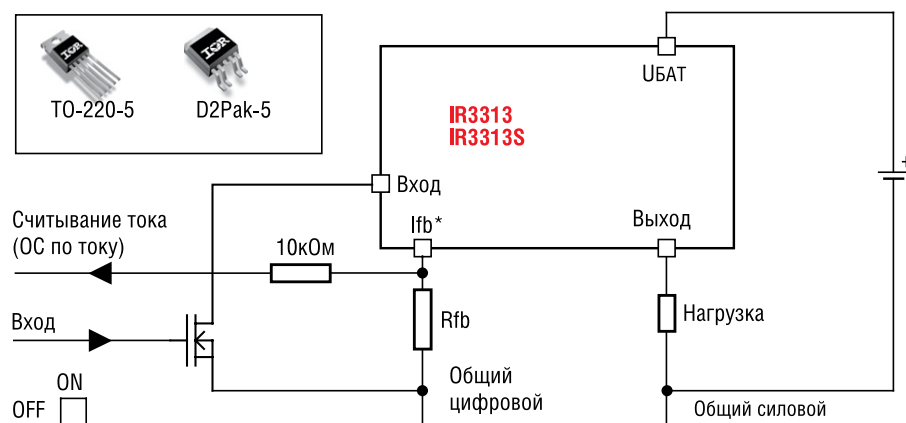
Наименование	Rdson, (мОм)	Корпус	Рекомендуемая замена*
IPS0151	25	TO-220	IPS1021
IPS0151S	25	D2Pak	IPS1021S
IPS021	150	TO-220	IPS1041
IPS021L	150	SOT-223	IPS1041L/IPS2041L
IPS021S	150	D2Pak	IPS1041S
IPS022G	2x150	SO-8	IPS1042G
IPS031	60	TO-220	IPS1031
IPS031R	60	DPak	IPS1031R
IPS031S	60	D2Pak	IPS1031S
IPS041L	500	SOT-223	IPS1051L
IPS042G	2x500	SO-8	IPS1052G
IPS511G	135	TO-220	IPS6041
IPS511G	150	SO-8	IPS6041G/IPS7091G
IPS511S	135	D2Pak	IPS6041S
IPS521	80	TO-220	IPS6031
IPS521G	100	SO-8	IPS6041G/IPS7081G
IPS521S	80	D2Pak	IPS6031S
IPS5451	25	TO-220	IPS6021
IPS5451S	25	D2Pak	IPS6021S
IPS5751	25	TO-220	IPS6021
IPS5751S	25	D2Pak	IPS6021S
IR3310	7	TO-220	IR3313
IR3310S	7	D2Pak	IR3313S
IR3311	12	TO-220	IR3314
IR3311S	12	D2Pak	IR3314S
IR3312	20	TO-220	IR3315
IR3312S	20	D2Pak	IR3315S

*Внимание! Производитель рекомендует рассматривать замены только в качестве ориентировочных! Необходимо обязательно внимательно изучать документацию (datasheets) на исходный компонент и рекомендуемую для него замену из этой таблицы

ничения при перегрузке, выбирая номинал резистора Rfb (fb = feedback — обратная связь), как показано на рисунке 8. При этом не требуются низкоомные прецизионные резисторы для датчика тока в выходной цепи. Ключи этого типа выпускаются в корпусах TO-220-5 и D2Pak-5. При срабатывании защиты (при перегреве или перегрузке по току) выходной транзистор выключается независимо от состояния ключа в данный момент времени. Минимальное значение тока отсечки составляет около 10 процентов от максимального уровня. Ключи также имеют активное ограничение тока, защиту от обратного включения источника питания, защиту от перегрева и от статического электричества. Структурная схема таких ключей показана на рисунке 9.

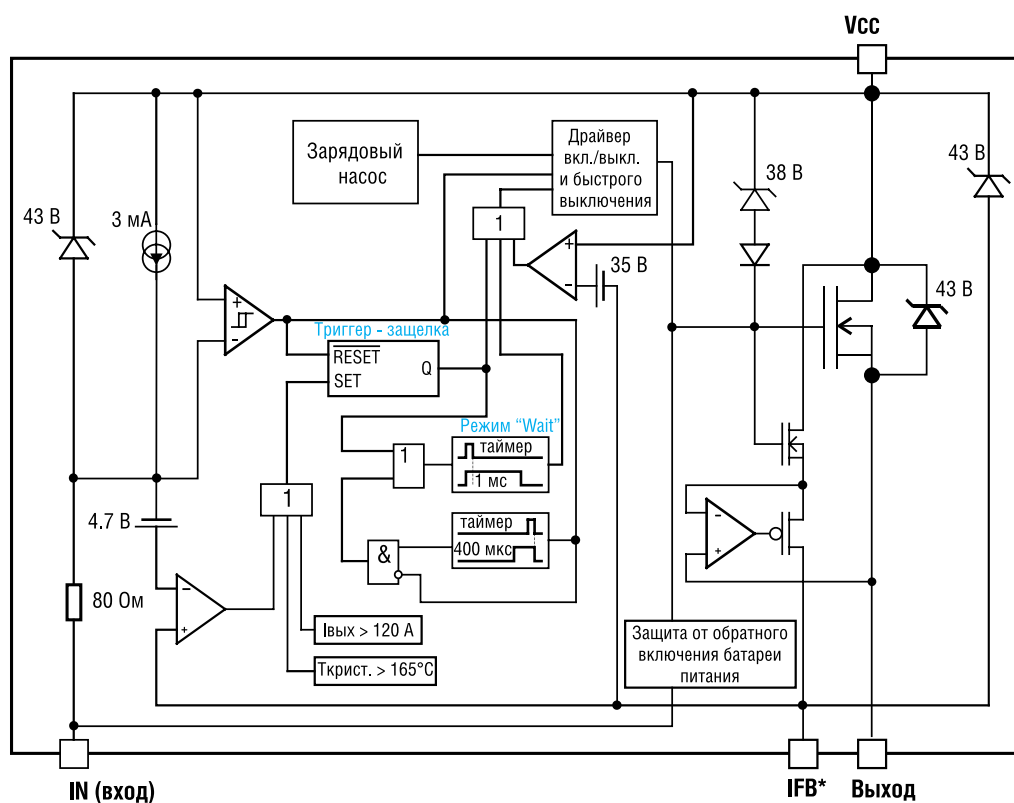
В интеллектуальных ключах с программируемой отсечкой тока реализована улучшенная функция защиты от перегрева под названием WAIT (ожидание, задержка включения). Временные диаграммы, иллюстрирующие работу функции WAIT в режиме перегрузки при длительных входных импульсах и относительно низкой частоте переключения, показаны на рисунке 10. При отсутствии функции WAIT температура кристалла может превысить максимально допустимое значение и достичь теплового пробоя (верхняя часть рисунка 10). Функция WAIT, реализованная с помощью таймера и логических элементов (рис. 9) обеспечивает задержку перезапуска ключа. Таким образом, транзистор получает дополнительное время на остывание, что исключает тепловое разрушение кристалла интеллектуального ключа.

Особенно наглядно работа функции WAIT проявляется в аварийном режиме при коротких входных импульсах и высокой частоте переключения (рис. 11). Схема WAIT обеспечивает пропуск нескольких импульсов в течение временного интервала, формируемого таймером и логическими схемами. Такая защита не исключает нарастания темпера-



*Ifb - Ifeedback - обратная связь по току (для программируемой отсечки по току)

Рис. 8. Типовая схема включения интеллектуальных ключей верхнего уровня с программируемой отсечкой тока



* IFB - Ifeedback - ОС по току (для реализации программируемой отсечки тока)

Рис. 9. Структурная схема интеллектуальных ключей с программируемой отсечкой тока

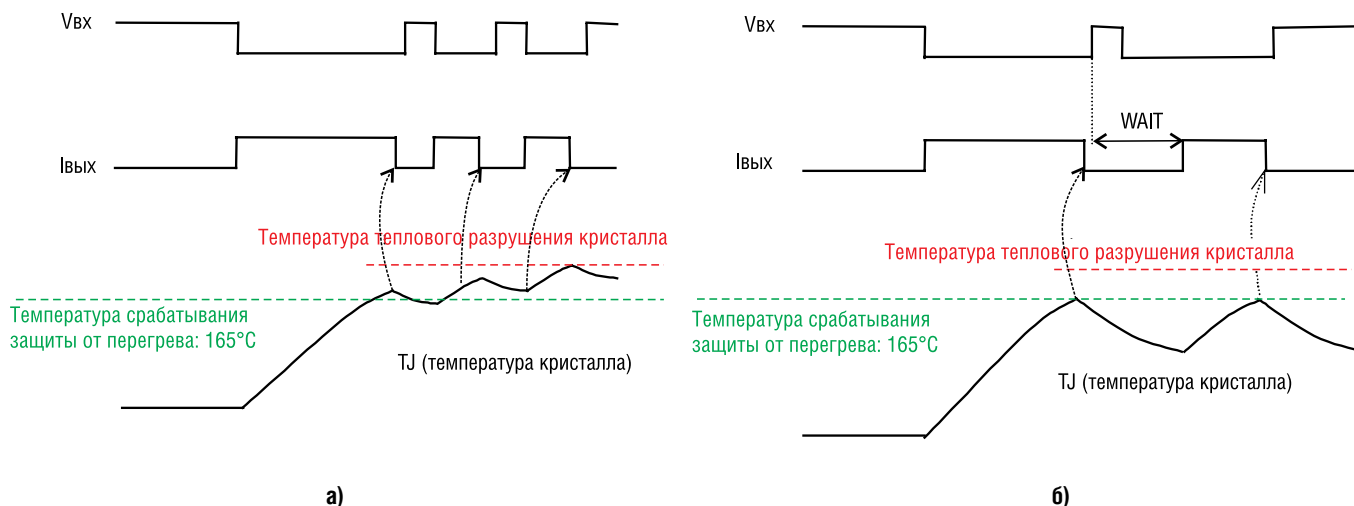


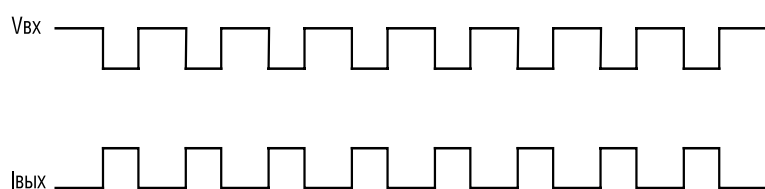
Рис. 10. Изменение температуры кристалла при длительных входных импульсах и низкой частоте переключения при отсутствии (а) и наличии (б) функции WAIT

туры кристалла до опасного значения, не допуская перегрева интеллектуального ключа.

Активное ограничение тока по функции аналогично ключам верхнего уровня без программируемой отсечки тока. Защита от статического электричества (ESD) и активная защита при аварийном обрыве нагрузки вносят свой

вклад в обеспечение высокой надежности интеллектуальных ключей с программируемой отсечкой тока. Для реализации программируемой отсечки тока в ключах этого типа введены дополнительный МОП-транзистор и операционный усилитель для считывания выходного тока. Ток ограничения определяется номиналом резисто-

ра R_{fb} и коэффициентом усиления операционного усилителя в цепи обратной связи. Ключи с программируемой отсечкой тока дают разработчику дополнительные возможности для организации максимально защищенной схемы по сравнению с остальными сериями интеллектуальных ключей. Основные параметры ключей

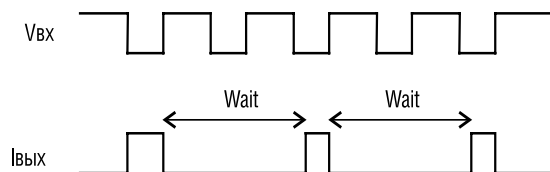


Температура теплового разрушения кристалла

Температура срабатывания защиты от перегрева: 165°C

TJ (температура кристалла)

а)



Температура теплового разрушения кристалла

Температура срабатывания защиты от перегрева: 165°C

TJ (температура кристалла)

б)

Рис. 11. Изменение температуры кристалла при коротких входных импульсах и высокой частоте переключения при отсутствии (а) и наличии (б) функции WAIT

с программируемой отсечкой тока сведены в таблицу 3.

Рекомендуемые новые замены для интеллектуальных ключей International Rectifier предыдущих поколений

Технологии производства силовых МОП-транзисторов International Rectifier постоянно совершенствуются, выпускаются новые поколения ключей для замены IPS старых поколений. Желательно

знать заранее о рекомендуемых заменах ключей предыдущих поколений, чтобы не быть застигнутыми врасплох, когда очень трудно и по высокой цене придется искать транзисторы старых серий. Переход на новые серии интеллектуальных ключей неизбежен, поэтому производитель в таблице 4 приводит рекомендуемые замены для старых серий. International Rectifier обращает особенное внимание на очень важный момент: замены необходимо рассматривать только в качестве рекомендуемых. Разработчик должен обязательно убедиться на 100 процентов в том, что рекомендуемая замена полностью удовлетворяет его требованиям.

Литература

(вся информация для статьи взята с сайта International Rectifier www.irf.com):

1. Fabio Necco «Features of the Low-Side Family IPS10xx»
2. David Jacquiod, Fabio Necco «Features of the High-Side Family IPS60xx»
3. David Jacquiod «Current Sensing High-Side Switch – P3»
4. Datasheets для рассматриваемых в статье интеллектуальных ключей.

International Rectifier

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИЛОВЫЕ КЛЮЧИ

Тип	Rds(on)max	Vdamp	Ток откл.	Ток откл.	Корпус
IPS1011/R/S/PBF	13мОм	36В	85А	165С	TO-220/D-Pak/D2 Pak
IPS1021/R/SPBF	25мОм	36В	45А	165С	TO-220/D-Pak/D2 Pak
IPS1031/R/S/PBF	50мОм	36В	18А	165С	TO-220/D-Pak/D2 Pak
IPS1042GPBF	100мОм	39В	6А	165С	SO-8
IPS1041R/LPBF	100мОм	39В	6А	165С	D-Pak/SOT-223
IPS2041R/LPBF	130мОм	68В	5А	165С	D-Pak/SOT-223
IPS1052GPBF	250мОм	39В	2.8А	165С	SO-8/SOT-223
IPS1051LPBF	250мОм	39В	2.8А	165С	SO-8/SOT-223

Компэл

www.compel.ru

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: power.vesti@compel.ru



Сергей Швецов (КОМПЭЛ)

АЛЮМИНИЕВЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ SAMWHA



В статье рассматривается широкая номенклатура алюминиевых электролитических конденсаторов корейской компании Samwha. Приводятся параметры для выбора конденсатора при разработках различных приложений.

Компания Samwha Electric Co. Ltd. является составной частью Samwha Capacitor Group — одной из старейших корейских компаний, производящей широкий спектр пассивных электронных компонентов. Samwha Capacitor Group была основана в 1956 году и называлась тогда Ohan Industry. Название Samwha компания обрела в 1960 году, а 1963 году она первой в Корее начала массовое производство электролитических конденсаторов.

В 1968 году Samwha выходит на международный рынок, начав экспорт своей продукции в Японию. В 2002 году Samwha Capacitor Group приобрела производство конденсаторов у одного из крупнейших мировых производителей — Samsung Electro-mechanics. Это событие выдвинуло компанию в передовые ряды производителей данной продукции в мире. На сегодняшний день Samwha Capacitor Group — холдинг, включающий в себя более десятка различных компаний, производящих самые разнообразные пассивные электронные компоненты: начиная от фильтров и кварцевых резонаторов и заканчивая высоковольтными электролитическими конденсаторами.

С 2003 года компания КОМПЭЛ является официальным дистрибьютором компании Samwha Electric.

Samwha Electric выпускает широкую номенклатуру электролитических конденсаторов. Среди конденсаторов, входящих в программу

поставок компании КОМПЭЛ можно выделить несколько категорий:

- миниатюрные электролитические конденсаторы;
- алюминиевые электролитические конденсаторы для поверхностного монтажа;
- алюминиевые конденсаторы на основе электропроводного полимера (Hi-Cap).

Краткие характеристики миниатюрных электролитических конденсаторов приведены в таблице 1.

Алюминиевые электролитические конденсаторы, благодаря электрохимическому принципу работы, обладают следующими преимуществами:

- высокая удельная емкость, позволяющая изготавливать конденсаторы емкостью свыше 1 Ф;
- высокий максимально допустимый ток пульсации;
- высокая надежность;

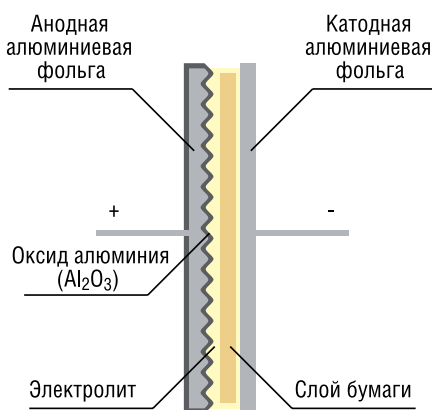


Рис. 1. Конструкция электролитического конденсатора

- оптимальное соотношение цена/емкость.

В электролитическом конденсаторе заряд накапливается между алюминиевой обкладкой, называемой анодом, и электролитом (электропроводная жидкость, твердый органический полупроводник или проводящий полимер), называемым катодом. Диэлектриком служит оксид алюминия (Al_2O_3), покрывающий поверхность анода (рис. 1). Второй слой алюминиевой фольги, служащий контактной поверхностью для проходящего через электролит тока, называется катодной фольгой. Слой бумаги (ткани) является носителем электролита, которым предварительно пропитывается, а так же механически разделяет анод и катод, предотвращая их от короткого замыкания.

Одним из факторов высокой удельной емкости электролитических конденсаторов является малая толщина диэлектрического слоя, которая даже для высоковольтных конденсаторов составляет менее 1 мкм (для примера,

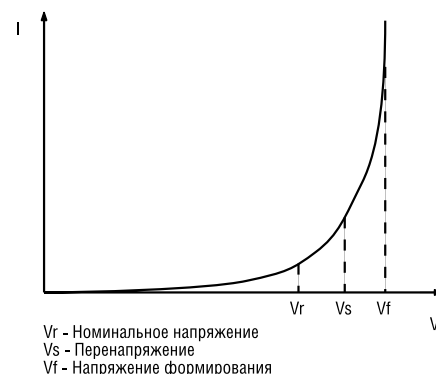


Рис. 2. Вольтамперная характеристика электролитического конденсатора

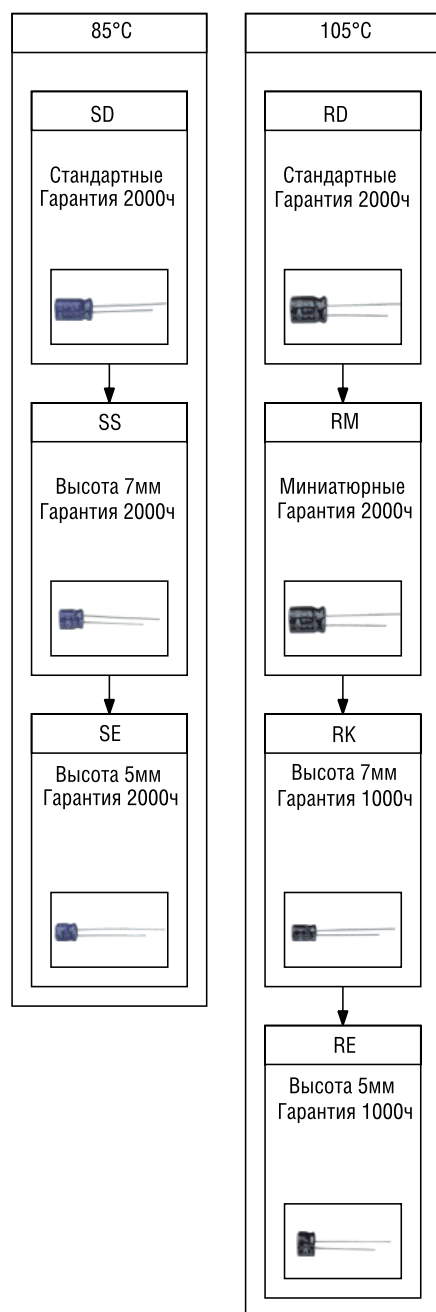


Рис. 3. Серии стандартных конденсаторов SAMWHA

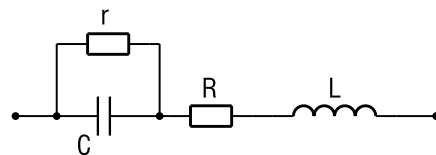


Рис. 4. Эквивалентная схема конденсатора

минимальная толщина бумажного диэлектрика равна 6-8 мкм). Еще более высокие удельные емкости достигаются за счет увеличения эффективной площади анода методом травления. Площадь при этом увеличивается до 200 раз, но при

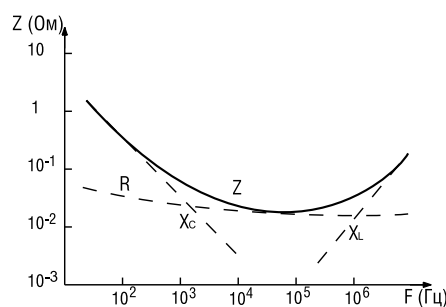


Рис. 5. Характер зависимости импеданса от частоты



Рис. 6. Серии конденсаторов Samwha с низким импедансом

некотором ухудшении электрических характеристик конденсатора. Преимущество жидкого электролита состоит в способности затекать в микроуглубления анода.

Оксидный слой формируют при производстве электролитическим окислением, а его толщина пропорциональна формирующему напряжению с коэффициентом 1,2 нм/В. Электролитический процесс продолжается и во время работы конденсатора при проте-

кании электрического тока через электролит (вольтамперная характеристика приведена на рисунке 2). При увеличении напряжения, сопротивление оксидного слоя уменьшается, что ведет к быстрому росту тока, а при превышении формирующего напряжения начинается процесс формирования оксидного слоя, сопровождающийся выделением большого количества тепла и газа, что может привести к выходу из строя конденсатора.

При выборе электролитического конденсатора общего назначения нужно обратить внимание на стандартные серии SD (85°C) и RD (105°C). Конденсаторы этих серий популярны, благодаря невысокой стоимости, широкому диапазону номинальных емкостей (0,1...33000 мкФ), напряжений (4...500 В) и рабочей температуры. Производятся также стандартные серии с низкопрофильными корпусами (рис. 3).

Однако неидеальность, присущая всем электролитическим конденсаторам, ограничивает их применение. Рассмотрим частотную зависимость импеданса реального конденсатора.

Импеданс определяется следующими компонентами эквивалентной схемы (рис. 4)

- емкостное реактивное сопротивление X_C
- эквивалентное индуктивное реактивное сопротивление X_L (ESL equivalent series inductance)
- эквивалентное последовательное сопротивление R (ESR equivalent series resistance)
- сопротивление утечки g .

На низких частотах импеданс определяется емкостным реактивным сопротивлением (рис. 5).

С ростом частоты емкостное реактивное сопротивление уменьшается, но лишь до тех пор, пока не приблизится к величине эквивалентного последовательного сопротивления, определяющегося потерями в диэлектрике, сопротивлением контактов и обкладок.

На резонансной частоте реактивная составляющая обращается в нуль, и импеданс равен R .

Выше резонансной частоты, за счет индуктивности выводов и

Таблица 1. Краткие характеристики миниатюрных электролитических конденсаторов

Серии		Особенности	Рабочий температурный диапазон, °C	Диапазон номинальных напряжений, В пост. тока	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Гарантированный срок службы, ч
Стандартные серии(85°C)	SD	Стандарт	-40 (-25)...85	6,3...500	1,0...39000	2000
	SS	Стандарт, высота 7 мм	-40...85	4...63	0,1...220	2000
	SE	Стандарт, высота 5 мм	-40...85	4...63	0,1...330	2000
Стандартные серии(105°C)	RD	Стандарт, широкий температурный диапазон	-55 (-40, -25)...105	6,3...450	2,2...22000	1000...2000
	RM	Широкий температурный диапазон	-40...105	6,3...450	1,0...33000	2000
	RK	Широкий температурный диапазон, высота 7 мм	-55...105	4...63	0,1...68	1000
	RE	Широкий температурный диапазон, высота 5 мм	-55...105	4...50	0,1...220	1000
Низкий импеданс	RZ	Очень низкий импеданс, высокая надежность	-55...105	6,3...63	0,47...15000	2000...5000
	WL	Очень низкий импеданс, миниатюрность	-55...105	6,3...35	150...10000	3000...5000
	WA	Очень низкий импеданс, высокое напряжение	-40 (-25)...105	6,3...450	0,22...15000	2000...5000
	WN	Очень низкий импеданс, большой срок службы	-55...105	6,3...50	1,0...15000	4000...10000
	RP	Очень низкий импеданс, миниатюрность, большой срок службы	-40...105	6,3...100	0,47...15000	5000...10000
	WF	Ультра низкий импеданс	-40...105	6,3...100	0,47...15000	2000...5000
	WB	Ультра низкий импеданс	-40...105	6,3...50	27...8200	6000...10000
	WK	Ультра низкий импеданс	-40...105	6,3...16	470...3300	5000
	WH	Низкий импеданс, высота 7мм	-40...105	6,3...16	470...3300	2000
Для балластных схем, зарядных устройств, адаптеров	BA	Для балластных схем, малые размеры корпуса	-40 (-25)...105	160...450	1,0...220	2000
	RH	Высокий ток пульсаций	-40 (-25)...105	160...400	1,0...150	5000
	BH	Для балластных схем, высокий ток пульсаций	-25...105	200...400	2,2...100	5000
	BL	Для балластных схем, большой срок службы	-25...105	160...450	6,8...150	8000...10000
	BK	Для балластных схем, высокая рабочая температура	-40 (-25)...125	160...400	2,2...47	5000
	BM	Для балластных схем, высокая рабочая температура	-40 (-25)...150	160...400	2,2...47	2000
	CH	Для зарядных схем, адаптеров	-25...85	400, 450	2,2...68	2000
Высокая надежность	RB	Широкий температурный диапазон, миниатюрность	-55 (-40)...125	6,3...250	1,0...15000	2000
	WT	Широкий температурный диапазон, большой срок службы, низкий импеданс	-40...125	6,3...50	10...3300	1000...5000
	VA	Широкий температурный диапазон (130°C)	-40...130	10...63	1,0...220	2000...4000
	VB	Широкий температурный диапазон (155°C)	-40...155	10...100	1,0...4700	1000
Неполярные	RN	Широкий температурный диапазон	-40...105	6,3...100	0,1...10000	1000
	NP	Стандарт	-40...85	6,3...250	0,47...10000	2000
	NS	Высота 7 мм	-40...85	6,3...63	0,1...47	2000
	NE	Высота 5 мм	-40...85	6,3...50	0,1...47	1000
	BP	Для гальванической развязки	-40...85	25, 50, 100, 200	1,0...100	2000
	BR	Для гальванической развязки, широкий темп. диапазон	-40...105	200	3,3...100	2000
	NF	Для схем строчной развертки	-40...85	25, 50	1,0...10	2000
Низкий ток утечки	NH	Для схем строчной развертки	-40...105	25, 50	1,0...10	2000
	RL	Низкий ток утечки, широкий температурный диапазон	-55...105	10...50	0,1...330	1000
	LL	Низкий ток утечки, стандарт	-40...85	10...100	1,0...470	2000
	LS	Низкий ток утечки, высота 7 мм	-40...85	6,3...63	0,1...100	2000
	LE	Низкий ток утечки, высота 5 мм	-40...85	4...50	0,1...100	1000

Таблица 2. Электролитические конденсаторы для поверхностного монтажа

Серии		Особенности	Рабочий температурный диапазон, °С	Диапазон номинальных напряжений, В пост. тока	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Гарантированный срок службы, ч
Поверхностный монтаж	SC	Стандарт	-40...85	4...450	0,1...10000	2000
	NC	Высота 5,5 мм, неполярные	-40...85	6,3...50	0,1...47	2000
	RC	Широкий температурный диапазон	-55...105	6,3...50	0,1...1000	1000
	ZC	Высота 5,5 мм, низкий импеданс	-55...105	6,3...35	0,1...100	1000
	JC	Широкий температурный диапазон, высокий коэффициент CV	55 (-40)...105	4...450	3,3...6800	2000
	CK	Низкий импеданс, высокий коэффициент CV	-55...105	6,3...100	10...1500	2000
	CD	Очень низкий импеданс	-55...105	6,3...50	10...1500	2000
	CM	Низкий импеданс, большой срок службы	-55...105	6,3...50	10...1500	3000...5000
	CN	Высота 5,5 мм, широкий температурный диапазон, неполярные	-40...105	6,3...50	0,1...47	1000
	CA	Высокий коэффициент CV, большой срок службы	-40...105	6,3...50	10...1000	5000
	CB	Большой срок службы	-55...105	4...50	0,1...100	5000
	CF	Широкий температурный диапазон (130°С)	-55...130	10...50	22...1000	2000...5000
	CT	Широкий температурный диапазон (130°С), низкий импеданс	-55...130	10...50	33...470	2000
	CW	Высокая надежность	-55...150	10...50	33...1000	1000

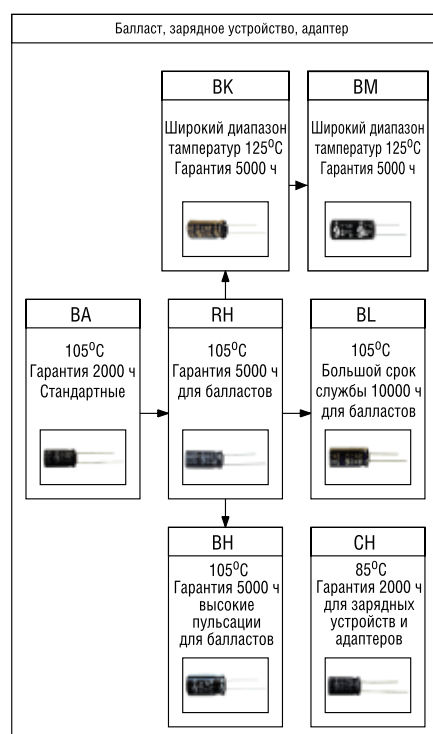


Рис. 7. Серии конденсаторов Samwha для балластов и зарядных устройств

внутренней структуры конденсатора, импеданс растет. Поэтому стандартные электролитические конденсаторы плохо работают на высоких частотах.

Фирмой Samwha выделяют-
ся серии конденсаторов с низким

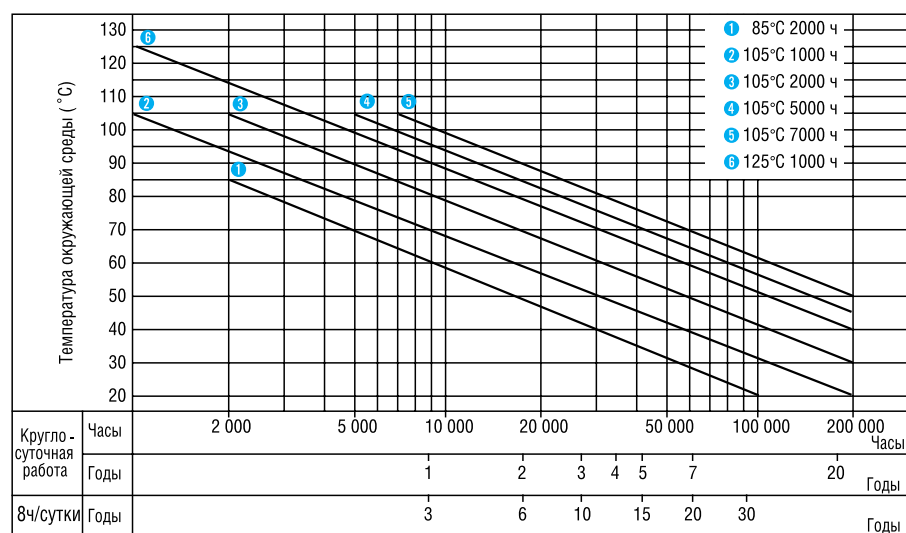


Рис. 8. Типовой срок службы

полным сопротивлением (рис. 6). В документации на эти конденсаторы, помимо остальных параметров, указывается импеданс, измеренный на частоте 100 кГц при температуре окружающей среды 20°С. Конденсаторы этих серий идеальны для применения в импульсных источниках питания и других цепях, работающих в широком диапазоне частот.

Любое изменение напряжения на обкладках конденсатора (будь то пульсация, или изменение по-

стоянного напряжения) вызывает протекание переменного тока через конденсатор (ток пульсации). Из-за омических потерь ток пульсации приводит к нагреванию конденсатора. Превышение тока пульсации выше указанного производителем значения приведет к быстрому старению конденсатора, ухудшению его параметров и преждевременному выходу из строя.

Для цепей электронного балласта, зарядных устройств, адаптеров и других устройств с высоким

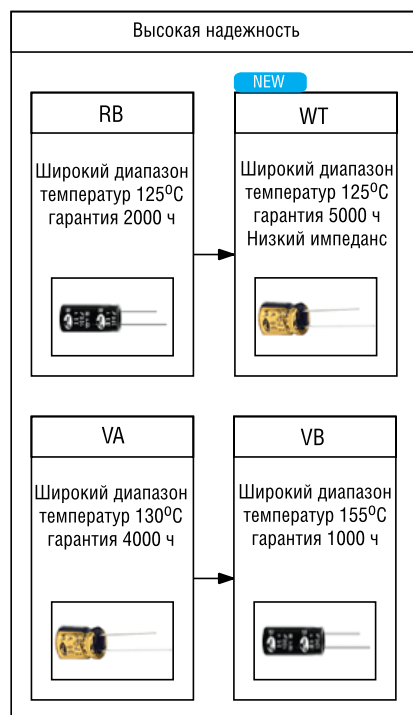


Рис. 9. Серии высоконадежных конденсаторов

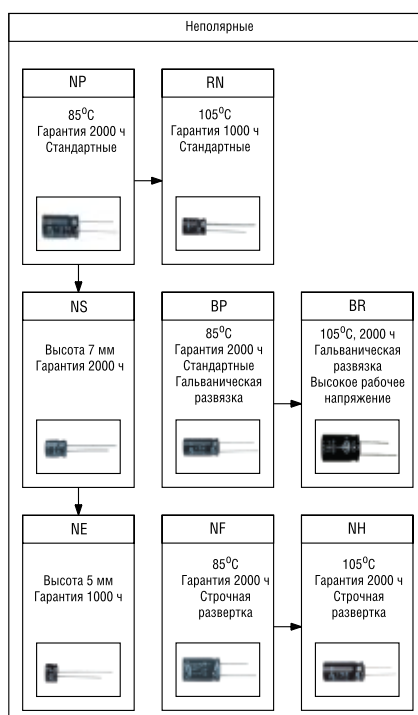


Рис. 10. Серии неполярных конденсаторов Samwha

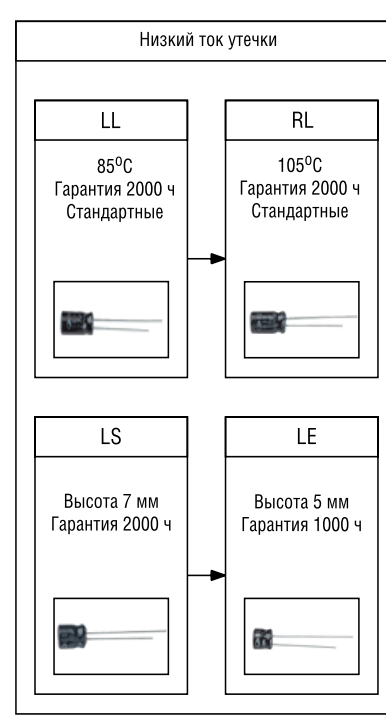


Рис. 11. Серии конденсаторов с низким током утечки

рабочем напряжением и высокими токами пульсации компания Samwha выпускаются серии конденсаторов, представленные на рисунке 7.

Один из важнейших параметров устройства — срок службы. Гарантированный срок службы конденсатора определяется производителем как время, в течение которого интенсивность отказов не превышает установленную. Срок службы указывается для наиболее жесткой эксплуатации, то есть при максимальной температуре, максимальном напряжении и максимальном токе пульсации на этой температуре. Использование конденсатора в более мягких условиях увеличивает его реальный срок службы. Так снижение рабочей температуры на 10°C увеличит срок службы примерно вдвое. (рис. 8).

На рисунке 9 представлены серии высоконадежных конденсаторов с расширенным температурным диапазоном и большими сроками службы. Конденсаторы этих серий рекомендуются к использованию для повышения надежности и сроков службы электронной аппаратуры, а также незаменимы для использования

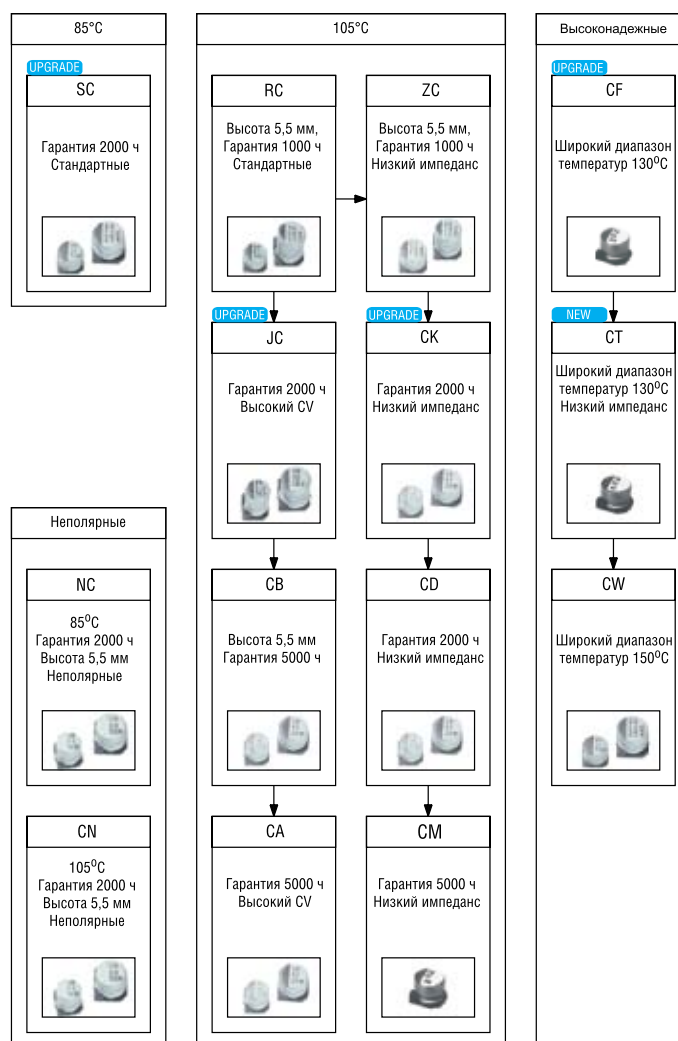


Рис. 12. Электролитические конденсаторы для поверхностного монтажа

Таблица 3. Серии алюминиевых электролитических конденсаторов Hi-Cap с твердым диэлектриком

Серии		Особенности	Рабочий температурный диапазон, °С	Диапазон номинальных напряжений, В пост. тока	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Гарантиро- ванный срок службы, ч
Выводной монтаж	FB	Hi-CAP	-55...105	2,5...25	6,8...3300	2000
	FJ	Hi-CAP, высокая емкость, низ- кий ESR	-55...105	2,5...16	180...2700	2000
«Поверхностный монтаж»	FA	Hi-CAP	-55...105	2,5...25	3,3...1500	2000
	FH	Hi-CAP, высокая емкость, низ- кий ESR	-55...105	2,5...16	39...2700	2000
	FZ	Hi-CAP, большой срок службы	-55...105	4...25	10...160	5000
	FT	Hi-CAP, широкий температур- ный диапазон	-55...125	10...35	8,2...82	2000
	FC	Hi-CAP	-40...105	2...16	2,2...470	1000

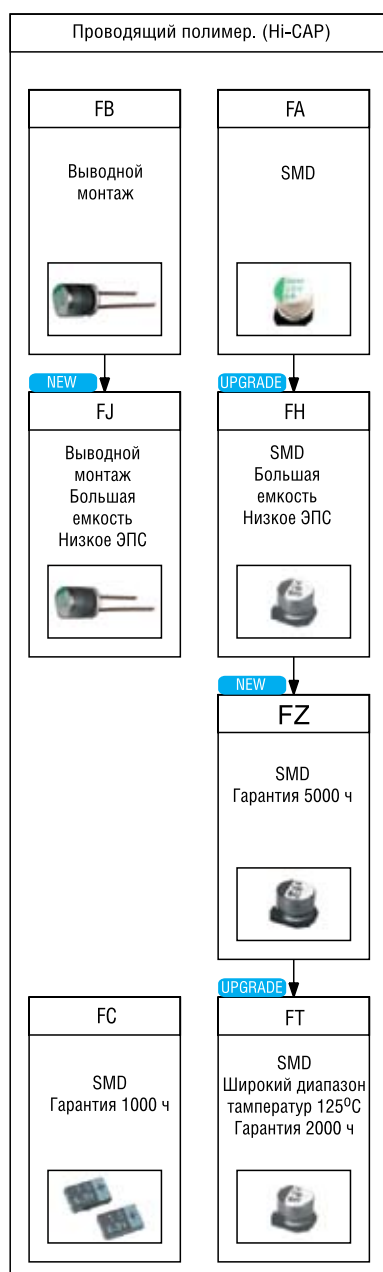


Рис. 13. Hi-CAP конденсаторы

при высоких температурах (до 155°C).

Электролитический конденсатор, конструкция которого соответствует рисунку 1, будет работать только при подключении к аноду положительного полюса, а к катоду отрицательного. Противоположная полярность вызовет электролитический процесс формирования диэлектрического слоя на катодной фольге, сопровождаемый выделением большого количества тепла и газа, что может вывести конденсатор из строя.

Для гальванической развязки и других цепей с переменным рабочим напряжением разработаны специальные серии неполярных конденсаторов, представленных на рисунке 10.

Если схемотехника диктует необходимость длительного хранения электрического заряда, следует особенно внимательно относиться к выбору конденсатора по параметру тока утечки. Причина появления тока утечки — неидеальный характер поляризации диэлектрика, наличие примесей и влаги в диэлектрике. Величина тока утечки может быть уменьшена только на этапе изготовления конденсатора и характеризует его качество.

Линейка недорогих популярных стандартных серий (SC, RC) алюминиевых электролитических конденсаторов для поверхностного монтажа представлена в таблице 2. Серии конденсаторов с повышенной надежностью, низким

импедансом, расширенным диапазоном рабочих температур позволят сделать выбор при более жестких требованиях.

Разнообразие алюминиевых электролитических конденсаторов для поверхностного монтажа показано на рисунке 12.

Конденсаторы серий Hi-Cap используют в качестве электролита твердый электропроводный полимер. Этим конденсаторам присущи высокая стабильность емкости, импеданса и ESR во всем температурном диапазоне благодаря термостабильности использованного полимера. По сравнению с другими электролитическими конденсаторами, Hi-Cap обладает более низким импедансом. Низкий импеданс на высоких частотах (100 кГц...10 МГц) делает их идеальными для применения в цифровых цепях. Благодаря низкому эквивалентному последовательному сопротивлению (ESR), Hi-Cap надежно работает при высоких токах пульсаций.

Hi-Cap-конденсаторы производятся как для поверхностного, так и для выводного монтажа. Серии алюминиевых электролитических конденсаторов Hi-Cap с твердым диэлектриком представлены на рисунке 13 и таблице 3.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка —
e-mail: discret.vesti@compel.ru

Маркус Хермвиль (SEMIKRON Int. GmbH), Андрей Колпаков (ООО СЕМИКРОН)

УПРАВЛЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ IGBT. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ЧАСТЬ 1.

Любому разработчику электроники знаком термин «драйвер». В силовой электронике так называют микросхему или устройство, управляющее полупроводниковым модулем (MOSFET, IGBT, тиристор и т.д.) и выполняющее защитные и сервисные функции.

Главной задачей, решаемой схемой управления затвором, является согласование уровней импульсов, вырабатываемых контроллером, с сигналами управления входами силовых ключей. В статье рассматриваются базовые принципы управления изолированным затвором, даются рекомендации по расчету характеристик и выбору устройств управления.

Характеристика затвора и динамические свойства IGBT

Драйвер изолированного затвора MOSFET/IGBT, как связующее звено между контроллером и силовым каскадом, является одним из ключевых компонентов преобразовательного устройства. Характеристики схемы управления во многом определяют параметры самого преобразователя — величину статических и динамических потерь, скорость переключения, уровень электромагнитных помех. С этой точки зрения расчету режимов управления и выбору драйвера следует уделять самое пристальное внимание.

Поведение IGBT в динамических режимах в первую очередь зависит от значения емкостей затвора, а также внутреннего и внешнего импеданса цепи управления. На рисунке 1 показаны основные паразитные емкости переходов, нормируемые в технических характеристиках:

C_{GE} — емкость «затвор — эмиттер»;

C_{CE} — емкость «коллектор — эмиттер»;

C_{GC} — емкость «затвор — коллектор» (или емкость Миллера).

Емкости затвора не изменяются с температурой, а их зависимость от напряжения «коллектор-эмиттер» становится более выраженной при снижении значения V_{CE} . Заряд затвора Q_G , опре-

деляемый значениями C_{GC} и C_{GE} , является ключевым параметром при расчете мощности, рассеиваемой схемой управления.

Поведение IGBT при его открывании полностью определяется характеристикой заряда затвора. Упрощенные эпюры напряжения «затвор-эмиттер» V_{GE} , тока затвора I_G , тока коллектора I_C и напряжения «коллектор-эмиттер» V_{CE} в процессе перехода транзистора в насыщенное состояние представлены на рисунке 2.

Процесс включения IGBT условно можно разделить на три этапа, которые связаны с первичным зарядом входной емкости C_{GE} , зарядом емкости Миллера C_{GC} и, наконец, полным зарядом C_{GE} , идущим до насыщения транзистора.

Рассмотрим более подробно процесс включения транзистора, эпюры которого представлены на рисунке 2. На отрезке времени t_0 происходит начальный заряд входной емкости затвора C_{GE} . Для упрощения будем считать, что заряд производится постоянным током, поэтому данному этапу соответствует первый линейный участок нарастания напряжения V_{GE} , который продолжается до момента времени t_1 . В этой точке напряжение затвора достигает порогового значения отпирания транзистора $V_{GE(th)}$. В зависимости от свойств транзистора

SEMIKRON
innovation+service

Новый цифровой драйвер IGBT

Компания **Semikron** представила новое поколение устройств управления затвором IGBT. Драйвер **SKYPER® 52**, созданный на основе цифрового сигнального процессора, позволяет осуществлять передачу изолированных сигналов управления и сенсорных сигналов, а также индивидуальную настройку схемы защиты. Применение драйвера SKYPER® 52 дает возможность упростить и удешевить процесс разработки мощных преобразовательных устройств и повысить надежность работы всей системы.

Цифровой драйвер SKYPER® 52 предназначен для управления IGBT с рабочим напряжением 1200 и 1700 В. При мощности 9 Вт на канал и выходном пиковом токе до 50 А он способен работать с параллельным соединением модулей, общий ток коллектора которых составляет 9000 А. Кроме того SKYPER® 52 пригоден для высокочастотных применений, где требуется мощная схема управления, способная работать на частотах до 100 кГц. Напряжение изоляции драйвера составляет 4 кВ, а напряжение выключения затвора -15 В. Уровень входных сигналов 3,3 и 5 В (LVDS стандарт) дает возможность подключать SKYPER® 52 непосредственно к выходу микроконтроллера.

и импеданса цепи управления, ток затвора I_G на данном участке может достигать значения в несколь-

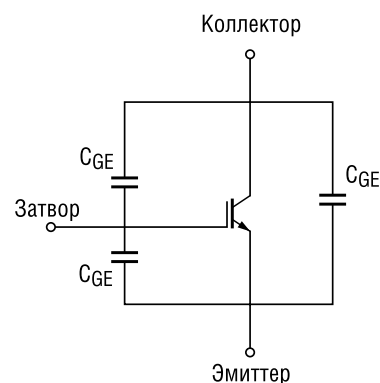


Рис. 1. Паразитные емкости IGBT

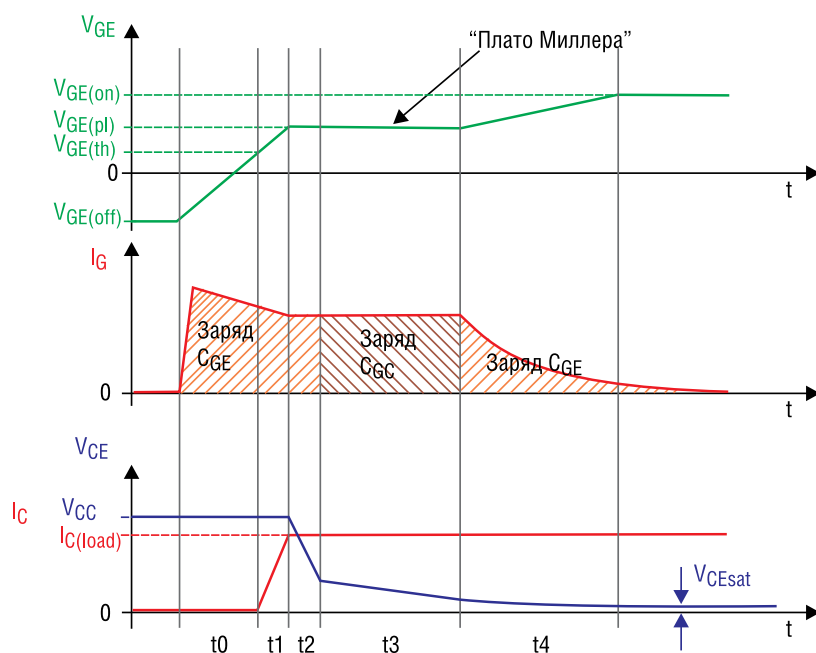


Рис. 2. Упрощенные эпюры процесса включения IGBT

ко десятков Ампер. Поскольку до точки t_1 напряжение затвора находится ниже порога отпирания, отсутствует ток коллектора I_C , а напряжение «коллектор-эмиттер» V_{CE} остается равным напряжению питания V_{CC} .

Как только сигнал управления становится выше порогового значения, начинается включение IGBT, характеризующееся ростом тока коллектора до значения, ограничиваемого нагрузкой (I_{Cload}). Сказанное справедливо при использовании идеального оппозитного диода, в реальных схемах амплитуда тока в момент включения несколько превышает величину I_{Cload} . Причиной этого является процесс обратного восстановления диода, в результате чего ток восстановления I_{rr} добавляется к I_C на время перехода диода в непроводящее состояние. Именно поэтому напряжение V_{CE} на отрезке времени t_1 остается на прежнем уровне.

Далее сигнал управления затвором достигает величины $V_{GE(pl)}$, носящей название «плато Миллера», она поддерживается в течение промежутков времени t_2 и t_3 . На этом же этапе после полного выключения оппозитного диода начинается спад напряжения коллектора V_{CE} , скорость которого dV_{CE}/dt во время t_2 достаточно высока. Она снижается на промежутке t_3 , в течение которого тран-

зистор переходит в насыщенное состояние. Все это время в соответствии с графиком, приведенным на рисунке 1b, емкость Миллера C_{CG} возрастает и заряжается частью тока затвора I_{GC} , что и обуславливает стабилизацию сигнала управления затвором на уровне $V_{GE(pl)}$.

В начале временного отрезка t_4 транзистор уже полностью включен, а емкость C_{CG} — заряжена. Экспоненциально спадающий ток затвора продолжает поступать во входную емкость C_{GE} , доводя напряжение на ней до максимального значения $V_{GE(on)}$, определяемого схемой управления. В конце данного этапа величина V_{CE} достигает своего минимума, называемого напряжением насыщения V_{CEsat} .

При выключении транзистора описанные процессы происходят в обратном порядке.

Измерение характеристик затвора

На рисунке 3а показана схема, которая может быть использована для измерения заряда затвора. Включение и выключение IGBT производится от источника стабилизированного тока $+I_G/-I_G$. К транзистору прикладывается напряжение питания V_{CC} , амплитуда импульса тока коллектора I_{Cpulse} ограничена величиной нагрузки R_L . Поскольку ток

затвора стабилен, напряжение V_{GE} изменяется линейно на каждом временном участке, так же линейно, в соответствии с соотношением $Q_G = I_G \times t$ идет накопление заряда. Вследствие этого, изменение напряжения на затворе оказывается эквивалентно характеристике затвора: $V_{GE} = f(t) \leftrightarrow V_{GE} = f(Q_G)$, как показано на рисунке 3б. Данный метод определения характеристики Q_G описан в документе IEC 60747-9, Ed.2: «Semiconductor Devices — discrete Devices — Part 9: Insulated-Gate Bipolar Transistors (IGBT)».

Если в спецификации транзистора приводится только положительная область характеристики, то суммарное значение Q_G может быть определено с помощью экстраполяции, как показано на рисунке 3с. Светло-зеленый прямоугольник представляет собой квадрант величин, нормированных в технических характеристиках. С помощью параллельного переноса этой зоны вдоль графика Q_G до значения $V_{G(off)}$ можно получить характеристику, расположенную в 1 и 3 квадрантах.

Заряд затвора Q_G можно также определить расчетным способом на основании величины входной емкости C_{iss} :

$$Q_G = C_G \times (V_{G(on)} - V_{G(off)}), \text{ где } C_G = k_C \times C_{iss}$$

Коэффициент пересчета емкости затвора k_C определяется в соответствии с выражением $k_C = Q_{G(ds)}/(C_{ies} \times (V_{G(on)} - V_{G(off)}))$,

где $Q_{G(ds)}$ — номинальное значение заряда, нормируемое в спецификациях при заданных напряжениях управления $V_{G(on)}/V_{G(off)}$.

Ток затвора и выходная мощность драйвера

Мощность, необходимая драйверу для коммутации IGBT, является функцией частоты коммутации f_{sw} и энергии E , необходимой для заряда и разряда емкостей затвора. Таким образом, выходная мощность схемы управления изолированным затвором $P_{GD(out)}$ определяется по следующей формуле: $P_{GD(out)} = E \times f_{sw}$.

В свою очередь величина E зависит от значения заряда затвора Q_G и перепада управляющего на-

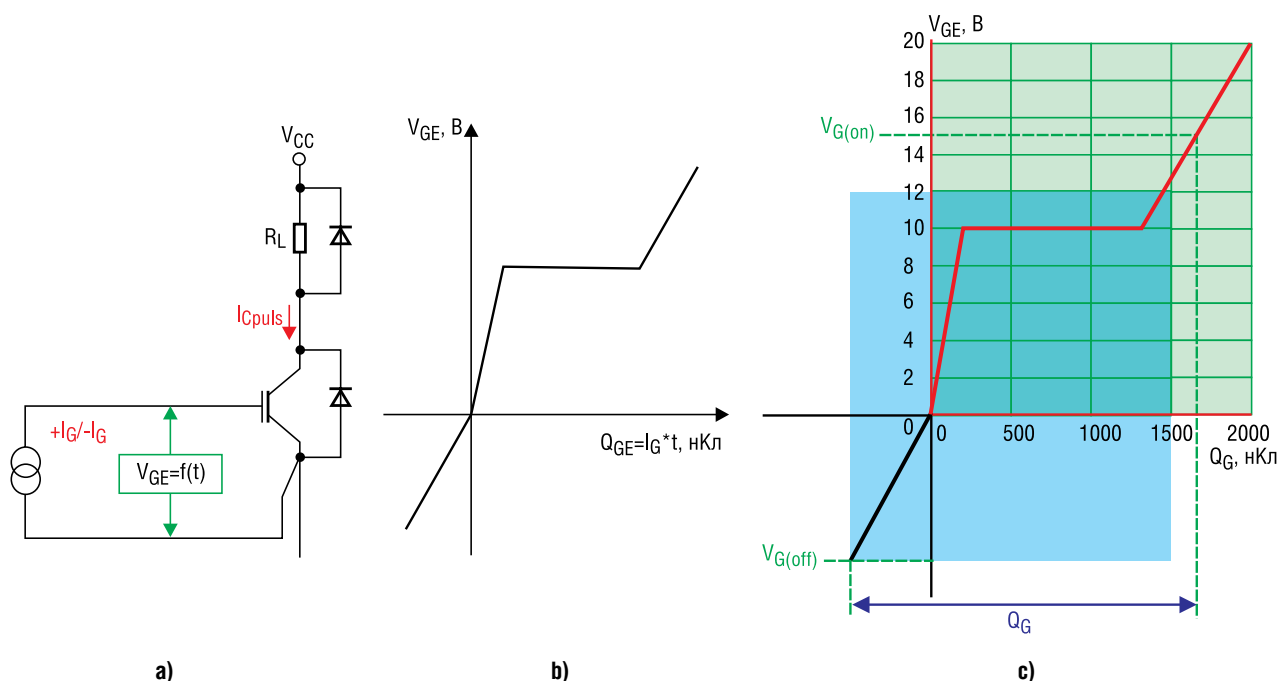


Рис. 3. а) схема измерения заряда затвора, б) типовая характеристика затвора $V_{GE} = f(t) \leftrightarrow V_{GE} = f(Q_G)$, в) экстраполяция характеристики

пряжения dV_G : $E = Q_G \times (V_{Gon} - V_{Goff})$. Отсюда результирующее выражение для определения мощности драйвера: $P_{GD(out)} = Q_G \times (V_{Gon} - V_{Goff}) \times fsw$.

Еще одним важным параметром является величина тока затвора I_G , которого должно быть достаточно для коммутации упомянутых выше емкостей и, следовательно, для переключения IGBT. На рисунке 4 показано, как распределяется ток управления затвором IGBT I_G между его входными емкостями C_{GE} и C_{GC} . Минимальная величина I_G может быть рассчитана следующим образом: $I_G = I_{GE} + I_{GC} = Q_G \times fsw$.

В свою очередь пиковое значение тока затвора I_{Gpeak} , определяющее скорость перезаряда Q_G , непосредственно влияет и на скорость переключения IGBT. При увеличении значения I_{Gpeak} сокращается время включения t_{on} и выключения t_{off} и соответственно уменьшаются коммутационные потери. Это неизбежно влияет и на другие важные динамические свойства IGBT, например, на величину коммутационного всплеска напряжения при выключении, зависящего от скорости спада тока di/dt . С этой точки зрения повышение скорости коммутации является в большей степени негативным фактором, снижающим надежность работы устройства.

Теоретическое пиковое значение тока затвора определяется по формуле $I_{Gpeak} = (V_{G(on)} - V_{G(off)}) / (R_G + R_{G(int)})$, где $R_{G(int)}$ — внутренний импеданс цепи управления, включающий резистор, устанавливаемый внутри модуля IGBT. На практике амплитуда тока оказывается несколько меньше расчетного уровня из-за наличия распределенной индуктивности цепи управления.

Максимально допустимое значение выходного тока, как и минимальная величина R_G , как правило, указывается в спецификации драйвера. Необходимо учесть, что несоблюдение требований по ограничению предельной величины I_{Gpeak} может привести к выходу схемы управления из строя.

Выбор драйвера

При выборе устройства управления затвором IGBT необходимо принимать во внимание следующие требования:

- справочное значение среднего тока драйвера I_{Gav} должно быть выше расчетного значения, а максимально допустимая величина его пикового тока I_{Gpeak} должна быть равной или превышать реальное значение, ограниченное импедансом цепи управления;
- выходная емкость схемы управления (емкость, установ-

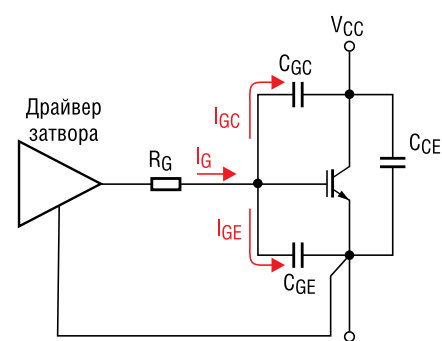


Рис. 4. Емкости и токи затвора

ленная по питанию выходного каскада) должна быть способной запасать заряд ($Q_C = C \times U$), необходимый для коммутации IGBT;

С помощью приведенных выше формул и выражений разработчик может определить все необходимые параметры схемы управления затвором. Для автоматизации этого процесса специалисты компании SEMIKRON разработали простую программу DriverSEL, позволяющую определить все необходимые параметры и произвести выбор соответствующего драйвера.

Программа DriverSEL доступна для свободного пользования на сайте компании www.semikron.com. Следует отметить, что она позволяет проводить анализ режимов работы схемы не только при управлении модулем IGBT (или их параллельным соединением)

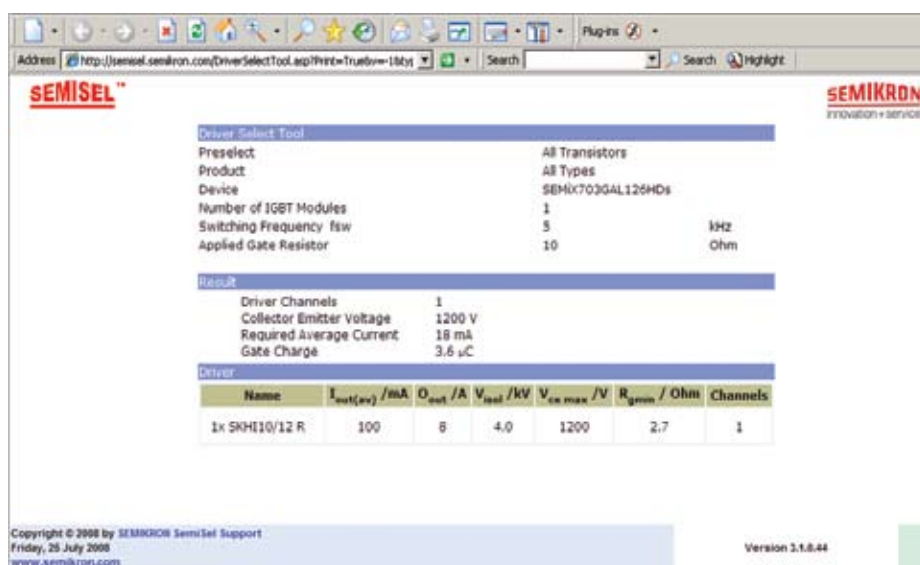


Рис. 5. Рабочее окно программы DriverSel

SEMIKRON, но и любого другого производителя. В первом случае параметры цепи затвора берутся из встроенной базы данных, во втором они должны быть описаны пользователем с помощью меню «User Defined Module Parameters».

На рисунке 5 показано рабочее окно программы DriverSel, состоящее из трех фрагментов: меню ввода данных, результаты расчетов и типы драйверов, рекомендуемые SEMIKRON для заданных режимов работы.

Для расчета DriverSel необходима следующая информация:

1. тип модуля (в данном случае SEMiX 653GD176HDS), при этом программа получает из базы данных информацию о заряде затвора QG, рабочем напряжении и конфигурации модуля;

2. количество параллельно соединенных модулей — это число позволяет определить суммарный заряд затвора, на основании чего производится расчет мощности, рассеиваемой драйвером;

3. рабочая частота fsw — информация, также необходимая для определения рассеиваемой мощности;

4. номинал резистора затвора.

Если выбрать режим «User Defined Module Parameters» (параметры модуля, определяемые пользователем), то появится дополнительное меню, состоящее из трех окон:

- Gate charge per module (заряд затвора модуля в мкКл);

- Collector — Emitter Voltage (напряжение «коллектор — эмиттер»);

- Number of switch per module (количество ключей в модуле: 1 — одиночный ключ, 2 — полумост, 6 — 3-фазный мост, 7 — 3-фазный мост с тормозным чоппером).

Для корректной работы DriverSel, требуется указать два значения заряда затвора: для напряжения открывания транзистора +15 В и напряжения запирающего -8 В.

Величина резистора затвора R_G необходима для вычисления пикового тока управления. На основании полученных данных программа будет выбирать драйвер с соответствующим значением предельного тока. Если номиналы резисторов для режимов включения и выключения R_{Gon}/R_{Goff} различаются, то нужно использовать минимальное значение. Если величина резистора неизвестна, можно задать величину 10 Ом, при этом необходимо учесть, что рекомендуемое минимальное значение R_{Gmin} будет показано в результатах расчетов.

Введя требуемые данные, Вы получите в результате рекомендации «Suggestion for SEMIKRON IGBT driver» в виде, представленном в нижней части рисунка 2:

- Number of Drivers — необходимое для данного модуля количество схем управления (например, три полумостовых драйвера для 3-фазного модуля);

- $I_{outPEAK}$ — пиковое значение выходного тока драйвера, определяемое по формуле $I_{outPEAK} = V_{GE}/R_G$;

- $I_{outAVmax}$, R_{Gmin} , V_S — справочные значения среднего тока, минимального резистора затвора и напряжения питания для драйвера данного типа.

Программа выдает замечание «A suitable driver could not be found», если для заданных условий корректно выбрать устройство управления невозможно. Это может быть в случае, если суммарный заряд затвора оказывается недопустимо большим (большое количество параллельно соединенных модулей), слишком велика частота коммутации или указанный резистор затвора меньше минимально возможного значения.

Литература

1. Материалы сайта www.semikron.com
2. Application Manual Power Modules, SEMIKRON International
3. M. Hermwille, «Plug and Play IGBT Driver Cores for Converters», Power Electronics Europe Issue 2, pp. 10-12, 2006
4. M. Hermwille, «Gate Resistor — Principle and Application», Application Note AN-7003, SEMIKRON
5. P. Bhosale, M. Hermwille, «Connection of Gate Drivers to IGBT and Controller», Application Note AN-7002, SEMIKRON
6. IEC 60747-9, Ed.2: Semiconductor Devices — Discrete Devices — Part 9: Insulated-Gate Bipolar Transistors (IGBTs)
7. M. Hermwille, IGBT Driver Calculation, Application Note AN-7004, SEMIKRON
8. А. Колпаков. «DriverSEL — простой и эффективный инструмент разработчика». Силовая Электроника №2, 2005.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: theory.vesti@compel.ru

Рональд Моррахан (Maxim Integrated Products Inc.)



ЦЕПЬ ЗАЩИТЫ ПРИ РЕЗКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ СЕТИ

Во многих областях автомобильной электроники необходимо обеспечить постоянное напряжение питания, которое остается неизменным даже в случае кратковременного отсутствия энергии. В данной статье речь пойдет о **MAX6495**, который выдерживает перепады входного напряжения до 72 В.

Цепь, демонстрируемая на рисунке 1, сохраняет питание на нагрузке независимо от короткого замыкания или обрывов электрической сети. Этот автомобильный источник питания выдерживает перепад входного напряжения до 72 В и сохраняет регулируемое выходное напряжение, удерживая напряжение на входе даже в случае непродолжительного короткого замыкания и нарушения электроснабжения (обрывов проводов). Слаботочная защита от перенапряжения IC (MAX6495) также сохраняет нагрузку в случае неустойчивого напряжения (до 72 В).

Цепь действует с номинального входного напряжения 13 В. При аварийных кратковременных отключениях питания большое емкостное сопротивление на вхо-

де DC/DC-преобразователя (C1) поддерживает напряжение постоянным, обеспечивая питание преобразователя в течение приблизительно 5 миллисекунд. В случае кратковременного короткого замыкания источника питания цепь предотвращает разрядку C1 и вновь защищает выход преобразователя от перебоев в подаче электроэнергии в цепи питания.

Если входное напряжение 13 В падает при замыкании на землю, необходимо защитить накопительный конденсатор C1 от обратной разрядки из-за короткого замыкания. Эта задача выполняется транзисторами Q1 и Q2: Q1 включается при коротком замыкании на затвор транзистора, а Q2 — при подаче 13 В на C1 к затвору Q2. Q2 шунтирует на землю внутренний генератор подкачки заря-

да у затвора, который отключает проходные транзисторы Q3 и Q4 путем быстрой разрядки емкости затвора. При выключенных транзисторах Q3-Q4 невозможна разрядка C1 при коротком замыкании, и выходное напряжение на рисунке 1 остается в данном случае неизменным. Как видно из рисунка 2, на выходное напряжение на рисунке 1 (нижняя траектория) не влияет кратковременное короткое замыкание входной цепи (верхняя траектория).

Общий заряд транзисторов Q3 и Q4 должен быть низким для обеспечения быстрого включения и выключения, и значение VDS(макс) должно быть достаточно высоким с учетом самого высокого ожидаемого напряжения. Значение RDS(вкл) для Q3-Q4 должно быть низким, чтобы свести к минимуму падение напряжения и рассеивание мощности.

Значение C1 зависит от мощности нагрузки, максимально допустимого статизма по напряжению (рисунок 3) и предполагаемой

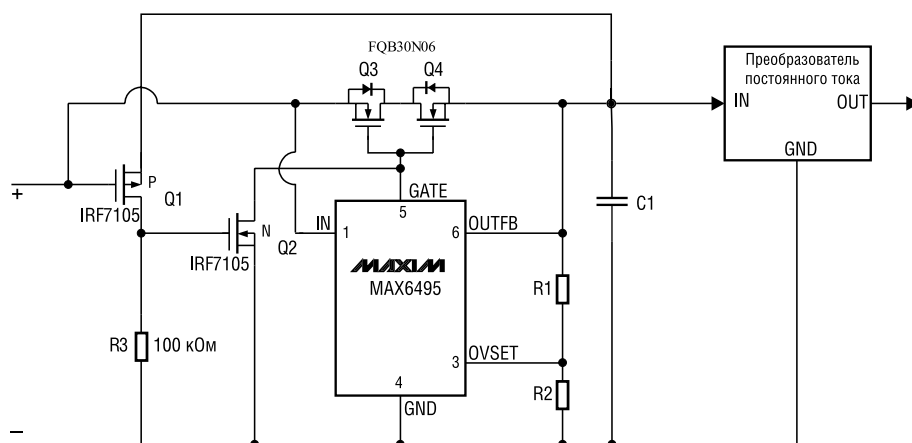


Рис. 1. Схема цепи слаботочной защиты от перенапряжения

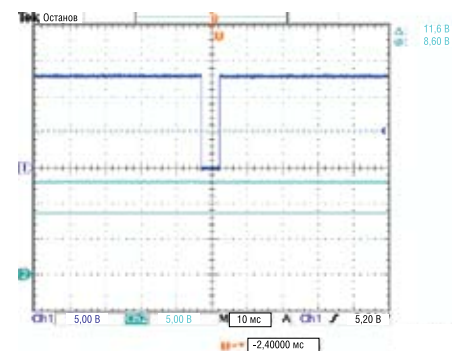


Рис. 2. Осциллограмма зависимости выходного напряжения от входного, при кратковременном коротком замыкании

длительности падения входного напряжения (время непрерывности электроснабжения):

Энергия, сохраняемая в конденсаторах, рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{1}{2} CV^2,$$

$$\text{то есть } E = P\Delta t = \frac{1}{2} C(\Delta V)^2.$$

$$\therefore C = \frac{2P\Delta t}{(\Delta V)^2}, \text{ где}$$

E = накопленная энергия

C = емкость

ΔV = максимально допустимая степень неравномерности (стабильность) регулирования

P = мощность при нагрузке

ΔT = предполагаемая длительность падения входного напряжения

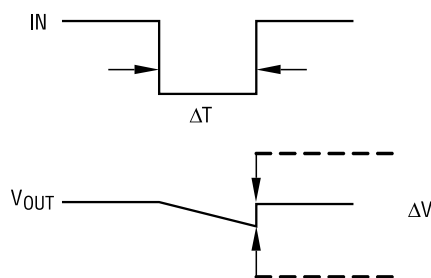


Рис. 3. Снижение напряжения на конденсаторе в результате разрядки

Более подробная информация об устройстве MAX6495 — на сайте www.maxim-ic.com.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: theory.vesti@compel.ru

Широкополосный PLC-модем со скоростью передачи до 100 Кбит/с



Компания **Maxim Integrated Products** представила **MAX2990** — модем для связи по сетям питания (*power-line communication — PLC*) на основе OFDM для таких приложений, как автоматические считыватели показаний, управление энергопотреблением и нагрузкой, управление освещением, а также системы автоматики для промышленности, зданий и дома. MAX2990 использует усовершенствованную технологию широкополосной связи для снижения стоимости при 2-канальной связи по сетям питания постоянного и переменного тока на скорости до 100 Кбит/с. Использование существующих сетей питания позволяет исключить необходимость применения дополнительных кабелей для связи между узлами сети. MAX2990 поддерживает широкий частотный диапазон от 10 до 490 кГц и соответствует всем международным требованиям, включая CENELEC, FCC и ARIB. Прибор, выполненный по архитектуре

«система на кристалле», идеально подходит для приложений, требующих высокой скорости передачи данных на длинные расстояния, например, таких как автоматические считыватели показаний, управление энергопотреблением и нагрузкой, управление освещением, а также системы автоматики для промышленности, зданий и дома.

MAX2990 использует технологию OFDM с DBPSK модуляцией и коррекцией ошибок (*forward error correction — FEC*) для обеспечения надежной связи при наличии всех видов помех, групповой задержки сигнала и ослабления сигнала на выборочных частотах. MAX2990 — это единственная в отрасли широкополосная PLC микросхема, которая осуществляет передачу данных на частоте от 10 до 490 кГц.

MAX2990 содержит физический (PHY) и MAC-уровни в одном кристалле, а также 16-разрядный RISC MAXQ® микроконтроллер с 32 Кбайт флэш-памятью и 8 Кбайт ОЗУ данных. Кроме того, MAX2990 поддерживает интерфейсы UART, SPI™ и I²C.

Микросхема поставляется в 64-выводном корпусе LQFP и полностью специфицирована для температурного диапазона от -40 до 85°C.

Компания **Maxim Integrated Products** представила **DS2710**



Это зарядное устройство, питающееся от USB-порта и исключающее перезаряд, идеально подходит для встроенных в систему однокомпонентных **NiMH** аккумуляторов. **DS2710** содержит входы для подключения источника напряжения от USB и адаптера с напряжением 5 В. ИС контролируют температуру, напряжение и время зарядки для выбора соответствующих быстро заряжающих контролируемых алгоритмов для никель-металгидридных (NiMH) или никель-кадмиевых (NiCd) батарей. В DS2710 включены тесты для батарей, определяющие дефективные или неподходящие элементы питания.

Ключевые функции

- Заряжает одноэлементные никель-металгидридные аккумуляторы
- Топологии режима переключения, поддерживаемые технологией контроля гистерезиса
- Предварительно заряжает сильно разряженные элементы питания
- Быстро заряжает NiMH (никель-металгидридные) аккумуляторы с предельной чувствительностью в 2 мВ (тип)
- Контролирует напряжение, температуру и безопасное время заряда и отключения
- Регулирует ток зарядки
- Подходит для внешних р-канальных МОП-транзисторов
- Rail-to-rail MOSFET драйвер
- Компактный корпус (3x4 мм) с 10-ю выводами

Применение

- Детские игрушки на батарейках
- Беспроводные компьютерные мыши
- Компактные перезаряжаемые устройства
- Диктофоны

СУДЖИ НАКАМУРА: ТВОРЕЦ СИНЕГО СВЕТА



Известный специалист по рынку электронных компонентов **Георгий Келл** на своей авторской странице рассказывает о творцах современной электроники.

Электронные компоненты бывают разными. Естественно, что полупроводниковые компоненты (*semis*), как самые «молодые», но доминирующие на рынке в стоимостном выражении, привлекают к себе наибольшее внимание. Но если с микросхемами все в порядке, то генезис дискретных полупроводников очень редко прослеживается. Однако и в этой сфере можно найти интересные примеры возникновения новых направлений, по большей части связанных с технологическими прорывами. Примером такого прорыва можно считать создание синего светодиода японским инженером Суджи Накамура.

Суджи Накамура (*Shuji Nakamura*) родился 22 мая 1954 года в японском городе Иката.

Окончив в 1977 году университет в Токусиме по специальности электроника, молодой специалист мог рассчитывать на работу в бурно развивавшихся в то время компаниях типа Sony или Toshiba, но он уже обзавелся семьей и переезжать в мегаполис с маленьким ребенком не хотелось. Поэтому он поступил по рекомендации своего университетского профессора в небольшую компанию **Nichia Chemicals**, которая находилась в том же городе Токусима и занималась производством фосфора для ЭЛТ и флуоресцентных ламп. Суджи попал в НИРовскую лабораторию, состоявшую из трех человек, которые вели исследования галлия. Арсенид галлия и фосфид галлия были основой для изготовления красных и инфракрасных светодиодов, и Накамура решил попробовать себя в этой сфере.

Через три года ему удалось получить коммерческие кристаллы красных светодиодов из фосфида галлия, но они не могли конкурировать с изделиями, к примеру, Toshiba. Тогда, в 1982 году Накамура переключился на арсенид галлия и через три года получил рабочие кристаллы, но история повторилась — Nichia проигрывала конкурентам по цене и качеству. В 1985 году Накамура начал работать с AlGaAs и опять же через три года получил готовые к коммерческим поставкам образцы, но хотя по цене и качеству они не уступали продукции конкурентов, но малая известность Nichia на рынке не позволила нарастить продажи. Так могло бы продолжаться долго: каждые три года он осваивал новые материалы, создавал рабочие образцы, но... продаж не было, компания терпела

убытки, и отношение к деятельности Накамуры становилось все более негативным. Хотя научные цели, которые ставил перед собой Накамура — для получения степени PhD ему были нужны публикации — были достигнуты. Ему даже удалось в 1988 году поработать приглашенным исследователем в Университете штата Флорида.

То, что по прошествии 10 лет Накамура остался единственным сотрудником НИР лаборатории Nichia, сделало его универсальным специалистом — он был и химиком, и технологом, и конструктором — реакторы для получения материалов он делал сам. Это позволило ему накопить уникальный опыт и дало четкое понимание перспектив различных направлений оптоэлектроники. Он понимал, что важнейшей задачей для всех коллективов, разрабатывающих светодиоды, стало создание ярких СИД синего цвета. Ему эта задача казалась разрешимой, и Суджи пошел ва-банк, обратившись напрямую к владельцам Nichia Chemicals — Нобуо и Эджи Огава (*Nobuo Ogawa* и *Eji Ogawa*). К его удивлению они согласились выделить 3 млн. долларов на разработку синих СИД.



Профессор Суджи Накамура



Доклад Суджи Накамура на вручении премии «Приз тысячелетия»

В 1989 году были известны два материала для изготовления синих СИД — селенид цинка (ZnSe) и нитрид галлия (GaN), причем первый считался более перспективным, и большинство исследователей работало именно с ним. В первую очередь из-за меньшей удельной плотности дислокаций у ZnSe — 10^3 на см^3 против 10^{10} на см^3 для GaN. Прошлый опыт подсказывал Накамуре, что конкуренция в мейнстриме слишком высока и не позволит маленькой компании добиться успеха. И он сделал ставку на нитрид галлия. В первую очередь Накамура приобрел реактор для осаждения пленок из паров металлоорганических соединений — MOCVD (metal organic chemical vapor deposition) и занялся его усовершенствованием, создав в 1991 году свой знаменитый двухпотоковый метод. За счет подачи двух перпендикулярных потоков газа Накамуре удалось получить пленки нитрида галлия n-типа с уникально высокой подвижностью неосновных носителей. В 1992 году он получил нитрид галлия p-типа и затем

излучающий слой из InGaN — итогом стало создание в конце 1993 года первого коммерческого образца синего светодиода.

Как это обычно бывает, в компании Nichia Chemicals не сразу осознали значимость изобретения, но последовал вал поздравлений от коллег со всего мира, и стало ясно, что прорыв совершен. Американская компания **Cree**, лидировавшая в области СИД синего цвета на основе карбида кремния, тут же предложила производственный альянс, но Nichia отвергла это предложение, решив эксплуатировать «золотую жилу» самостоятельно. И ей это удалось — продажи синих светодиодов составляли \$200 млн. в 2000 году. И это без учета продаж лицензий.

Суджи Накамура тем временем продолжил свои изыскания и в 1995 году выпустил первый сверхъяркий InGaN зеленый светодиод. Затем он «переключается» на лазерные диоды и в 1996 году создает первый УФ лазерный диод, который сделал возможным формирование нового рынка DVD-видеозаписи. А синие СИД, изобретенные Накамурой, стали ключевым элементом всей современной оптоэлектроники, нацеленной на повсеместное внедрение белых светодиодов, которые есть ничто иное, как кристаллы синих СИД, покрытые люминофором.

К концу XX века Накамура возглавляет лабораторию в Nichia, в которой работают уже 20 сотрудников, и считается признанным авторитетом японской индустрии оптоэлектроники. Однако в 2000 году Суджи Накамура

ра перебирается в США и начинает работать в Университете штата Калифорния (Санта-Барбара). Годом позже компания Cree жертвует университету \$2,2 млн. на создание кафедры *Solid State Lighting and Display* и Накамура становится ее профессором (*Cree Professor*). Практически одновременно компания **Mitsubishi** создает свою кафедру и ее профессор (*Mitsubishi Professor*) Стивен ДенБаарс (*Steven DenBaars*), работавший ранее в компании **Hewlett-Packard**, совместно с Накамурой создают и возглавляют междисциплинарный исследовательский центр (SSLEC), финансируемый известными в сфере оптоэлектроники компаниями: **Mitsubishi Chemical**, **Rohm**, **Stanley Electric**.

Вся эта деятельность пришлась не по душе компании Nichia, и в 2001 году она подает на Накамур в суд, обвиняя своего бывшего сотрудника в передаче технологических секретов конкурентам. Накамура отвечает встречным иском, беспрецедентным для Японии, требуя достойного вознаграждения за свои открытия. По японским законам все изобретения принадлежат компаниям, и Накамура лишь однажды получил премию в \$200. Суд первой инстанции признает правоту Накамуры и присуждает Nichia к уплате \$189 млн. компенсации. По апелляции Nichia токийский верховный суд снижает эту сумму до \$8,1 млн., но все равно это крупнейшая в истории Японии компенсационная выплата компании своему бывшему сотруднику!

В 2006 году Суджи Накамура был удостоен ежегодной премии правительства Финляндии Millennium Technology Prize (\$1,2 млн.) за заслуги в создании новых источников света. По последним сведениям, Накамура и ДенБаарс активно работают над созданием нового поколения полупроводниковых лазеров для Blu-Ray приложений.

О Суджи Накамуре издана книга: *Brilliant!: Shuji Nakamura and the Revolution in Lighting Technology* by Bob Johnstone; Prometheus Books, Amherst, N.Y., 2007.

СВЕРХЪЯРКИЕ СВЕТОДИОДЫ XLAMP®

CREE
LED Light

- Световой поток до 114 лм
- Цветовая температура 2600...10000 K
- Более 70% остаточной яркости после 50 тыс. часов работы

Компэл
www.compel.ru

ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ

?

Мне необходим мало-мощный источник питания для промышленного контроллера в шкаф управления электроприводом, работающий от 3-х фазной сети, 380 В, 50 Гц. Среди готовых AC/DC-источников питания от различных производителей я ничего не нашел.

Отвечает инженер по применению силовой электроники
Виталий Берелидзе

Действительно, большинство производителей, доступных на отечественном рынке, выпускают источники питания для работы в однофазной сети переменного тока 115...127 В или 220...230 В, 50...60 Гц. Источники питания с трехфазным входом выпускаются ограниченным числом производителей и с выходной мощностью более 1 кВт. Тем не менее, вопрос питания аппаратуры от сети 380 В остается открытым и актуальным, в особенности для промышленных применений. Каждый специалист решал этот вопрос самостоятельно, разрабатывая собственный источник питания. Как правило,

он строился по классической схеме с применением понижающего трансформатора, выпрямителя, сглаживающего конденсатора и линейного стабилизатора напряжения. Такое простое решение имело целый ряд недостатков — нестандартный, заказной трансформатор, линейный источник питания с низким КПД, большие габариты, вес, невозможность работы при глубоких просадках напряжения питающей сети.

Компания **Power Integrations** предлагает простое и эффективное решение на базе типового ШИМ контроллера импульсного источника питания с интегрированным силовым ключом, серии LinkSwitch-TN. В случае применения контроллера с ключом на 700 В для питания от промышленной сети ключ работает практически без запаса по напряжению. И в случае всплесков напряжения в сети, переходных процессов, сочетание ряда неблагоприятных факторов может привести к выходу из строя силового ключа и к фатальным последствиям для всей аппаратуры в целом.

Изюминкой в применении контроллера, рассчитанного на сеть 220...230 В, является схема с включением последовательно силового ключа контроллера и дешевого MOS-транзистора на 600 В (Технология StackFET). Применение дополни-

тельного ключа позволяет перераспределить рабочее напряжение между двумя ключами и расширить рабочий диапазон напряжений по звену постоянного тока вплоть до 1200 В.

Кроме того, применение LinkSwitch-TN позволяет существенно расширить диапазон рабочих напряжений источника питания — 57...580 В переменного тока. Такое решение особенно актуально при работе в сетях с глубокой просадкой питающего напряжения. Сюда можно отнести пуск мощного электропривода, сварочное оборудование, электролизные установки, установки индукционной плавки и нагрева металлов.

Более подробно материал по технологии StackFET опубликован на английском языке в статье Rahul Joshi «Designing Wide Range Power Supplies for Three Phase Industrial Applications»: http://www.powerint.com/PDFFiles/articles/15_RJoshi_PSDE_3Phase_Nov2006.pdf. Перевод статьи на русском языке опубликован в журнале «Электронные компоненты» №6/2008, Раул Йоши (Rahul Joshi) «Разработка источника питания с широким диапазоном входного напряжения для промышленной трехфазной сети»: http://www.russianelectronics.ru/files/16106/EC2008_06_057-59%20Joshi-1.pdf.

?

В данное время наш проект находится на этапе выбора центрального ARM-микроконтроллера системы. Одно из основных требований — высокое быстродействие, и в частности, быстродействие памяти. На каком производителе остановиться, если выбирать между микроконтроллерами от Atmel (AT91SAM7S), NXP (LPC2000) и ST (STR7)?

Отвечает инженер по применению ARM-микроконтроллеров
Александр Квашин

Во всех микроконтроллерах данных производителей одинаковое процессорное ядро — ARM, работающее на примерно одинаковых частотах. Однако узким местом для быстродействия является доступ к внутренней Flash памяти, из которой обычно и выполняется программа. Потому в микроконтроллерах применяются конвейерные системы получения инструкций из памяти. В контроллерах SAM7S flash работает на частоте до 30 МГц с внутренней шиной 32 бит, а 2-х ступенчатых конвейер можно включить только в режиме TUMB (16-ти битные инструкции). В LPC2000 память работает на частоте 20 МГц, однако, шина по которой поступают данные — 128-битная,

что позволяет за один такт получать 4 инструкции и при последовательном выполнении команд из памяти достигать частоты 80 МГц. У STR7 частота выборки до 32 МГц, и имеется режим одновременного считывания 2 инструкций, потому, при последовательном выполнении инструкций из Flash памяти достигается частота 60 МГц. Итак, резюме: максимальное быстродействие может дать LPC2000 (с 80 МГц), но случайное время доступа у них хуже, чем у конкурентов. Следующим по скорости идет STR7 с 60 МГц при последовательном и 32 МГц при случайном доступе (наиболее сбалансированный выбор) и хуже других смотрятся микроконтроллеры SAM7S с 30 МГц.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ ЖУРНАЛА!

Вниманию потенциальных авторов!

Редакция журнала «Новости электроники» ищет новых **авторов** статей в рубрики «Аналоговые микросхемы», «Управление питанием», «Микроконтроллеры», «DSP», «Беспроводные технологии» (с акцентом на практическое применение).

Желателен личный опыт реальной практической работы в области разработки электроники, опыт написания научных или практических материалов по данной тематике, знание тенденций развития мировой электроники.

Оплата материалов от 1500 руб. за 5000 печатных знаков с пробелами.

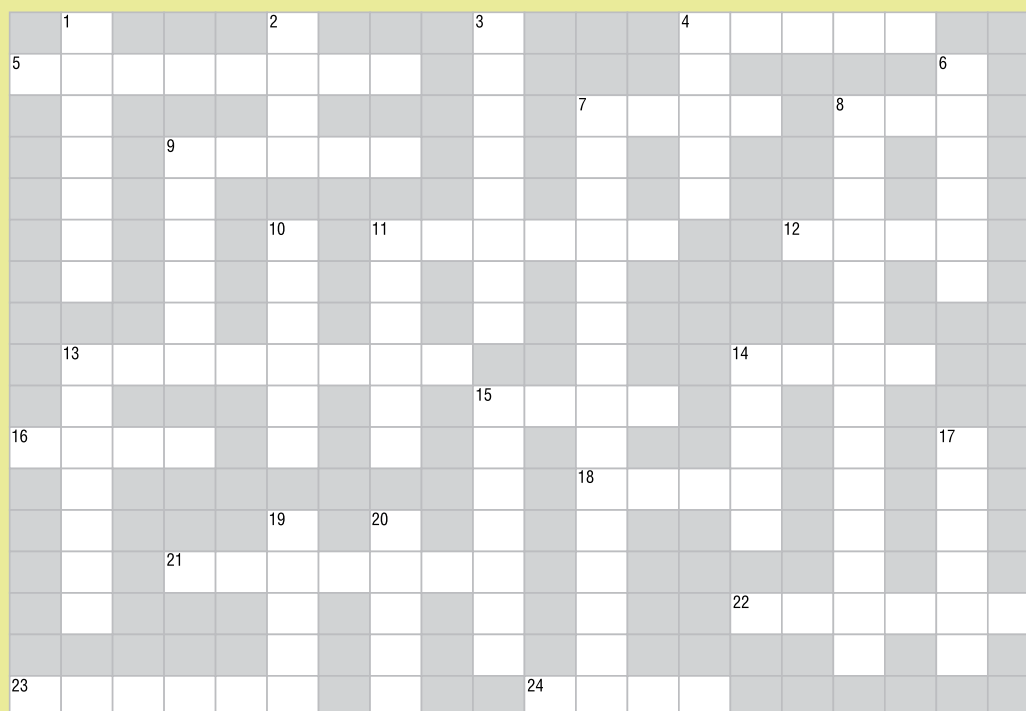
Предложения просьба присылать на электронный адрес: vesti@compel.ru, указав в теме письма «автор».

«ША» – кроссворд «Технический» от Карима Азизова

В этом кроссворде все слова начинаются на букву «Ш», и все являются техническими терминами

По горизонтали: 4. Деталь в виде плоского кольца. 5. Приспособление для временного присоединения к электрической сети переносных аппаратов. 7. Колесо с широким ободом. 8. Выступ на торце или боковой поверхности детали. 9. Важная деталь кривошипно-ползунного механизма. 11. Подвижное (вращательное) соединение двух деталей. 12. Винтовой конвейер для перемещения различных материалов на небольшое расстояние. 13. Стержень шарнира поворотного соединения частей транспортных машин. 14. Электрическая или магнитная цепь для ослабления тока (магнитного потока) в основной цепи. 15. Стержень, соединяющий поршень цилиндра двигателя с ползунком и шатуном. 16. Инструмент с заостренным концом. 18. В полиграфии — тонкая металлическая пластинка для увеличения промежутков между строками набора. 21. Лопатка для перемешивания и заделки щелей, углублений, и т.п. 22. Полукруглый проволоочный стержень с ушком для предупреждения смещения деталей. 23. Разновидность п. 5 по горизонтали, имеющая один штырь для одно- или двухполюсного подключения к электрической цепи. 24. Вставной п. 8 по горизонтали для соединения деталей из древесины.

По вертикали: 1. Инструмент для измерения внутреннего диаметра или расстояния между двумя поверхностями. 2. Стержень из различных материалов. 3. Меньшее, обычно ведущее колесо в зубчатой передаче. 4. Цилиндрический или конический стержень для неподвижного соединения двух деталей. 6. Соединительный элемент, установленный в пазок вала и насаженный на него детали. 7. Подшипник качения, в котором телами качения являются шарики. 8. Измерительный инструмент для определения линейных размеров в металлообработке. 9. Устройство для установки и закрепления различных приборов. 10. Заслонка фотографического затвора. 11. Металлический стержень, используемый как деталь во многих инструментах и механизмах. 13. Стальной инструмент для гравирования, резец. 14. В столярном деле — продольный гребень на ребре доски или бруса. 15. Крепежная деталь, стержень с резьбой на обоих концах. 17. Поперечно-строгальный станок. 19. Режущий инструмент в виде заточенного стержня для выравнивания металлических поверхностей. 20. В металлообработке — зуборезный инструмент для обработки зубчатых колес.



По горизонтали: 4. Шайба. 5. Штепсель. 7. Шкив. 8. Шип. 9. Шпату. 11. Шарнир. 12. Шнек. 13. Шкворень. 14. Шпунт. 15. Шток. 16. Шило. 18. Шпон. 21. Шпатель. 22. Шпиль. 23. Штеркер. 24. Шкант.
По вертикали: 1. Штанга. 2. Шест. 3. Шестерня. 4. Штифт. 6. Шпиль. 7. Шпатель. 8. Шпатель. 9. Штатив. 10. Шторка. 11. Штанга. 13. Штихель. 14. Шпунт. 15. Шпилька. 17. Шепит. 19. Шабер. 20. Швер.

©Карим Азизов