



DD2  
ATMEGA128

FM25640-S

XP1

R2 10 k

C1 100

C2 100

C3 0,01 мк

C4 0,1 мк

C5 100

C6 1 мк

C8 0,1 мк

C9 22

C10 22

ZQ2 3,6864 МГц

INT6

INT7

SS

SCK

MDSI

MISO

PB4

PB5

PB6

PB7

TOSC2

TOSC1

RESET

Vcc

GND

XTAL2

XTAL1

SCL

SDA

INT2

INT3

PD4

PD5

PD6

PD7

PC6

PC5

PC3

PC2

PC1

PC0

PG1

PG0

80724, 82117

## Зам. главного редактора

Сергей Кузнецов

## Редакционная коллегия

Павел Асташкевич  
Александр Фрунзе  
Виктор Йовчик  
Юлия Герасимова

## Дизайн и верстка

Ирина Чикина

## Отдел распространения

Марина Трофимова  
Юрий Царев  
Сергей Лукин  
(495) 775-16-76  
e-mail: sales@dian.ru

## Отдел рекламы

Юлия Суханова

## Адрес редакции:

Москва, Ленинградское ш., д. 18, оф. 342  
Для писем: 125047 Москва, а/я 202  
«ИД Скимен»  
тел./факс: (495) 775-16-76  
www.dian.ru  
e-mail: editor@dian.ru  
editordian@mail.ru

## Издатель и учредитель ООО «ИД Скимен»

Отпечатано в ОАО Ордена Трудового  
Красного Знамени «Чеховский  
полиграфический комбинат»  
142300 г. Чехов Московской области,  
Сайт www.chpk.ru  
E-mail: marketing@chpk.ru  
Факс 8(49672)6-25-36,  
факс 8(496)270-73-59  
Отдел продаж услуг многоканальный:  
8(499)270-73-59

Тираж 5 200 экз.  
Заказ № 5904

Журнал зарегистрирован  
в Министерстве РФ по делам печати,  
телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций  
Пер. № ПИ77-5262

Журнал включен в Реферативный  
журнал и Базы данных ВИНТИ.  
Сведения о журнале ежегодно  
публикуются в международной  
справочной системе по  
периодическим и продолжающимся  
изданиям «Ulrich's Periodicals  
Directory».

Редакция не несет ответственности  
за информацию, приведенную  
в рекламных материалах

За содержание статьи  
и ее оригинальность несет  
ответственность автор

Полное или частичное  
воспроизведение материалов  
допускается только с разрешения  
ООО «ИД Скимен»

Информацию о подписке  
см. на последней странице журнала

# Содержание

## КОМПОНЕНТЫ

- В. Дьяконов.** Современная лаборатория разработчика электронных схем 2
- С. Бирюков.** Микросхемы для активных корректоров коэффициента мощности MC34261 и MC33261 6

## ИСКУССТВО СХЕМОТЕХНИКИ

- В. Морозов.** Расчет и моделирование повышающе-понижающего преобразователя напряжения 9
- Б. Шевкопляс.** Обнаружение узких мест трасс передачи данных в компьютерной сети и оценка их пропускной способности 13
- О. Борисевич.** Влияние длинных линий передачи на быстродействующие микросхемы КМОП 16

## СОФТ

- С. Сувор.** Контроллер с классическим ЖКИ и часами реального времени 18
- О. Петраков.** Расчет электромагнитных компонентов в Transformer Designer Orcad V10,5 23
- В. Баранов.** Использование USART микроконтроллера для обеспечения связи с компьютером 27
- О. Вальпа.** Карты flash-памяти типа Multi Media Card 29
- В. Дьяконов.** Работа цифровых осциллографов TDS 1000 B/2000 B с системой компьютером математики Matlab 32

## ПРАКТИКА

- В. Олейник.** Снижение мощности, потребляемой реле 37
- И. Нургалеев, В. Шарков.** Терморегулятор с ПИД алгоритмом управления для охлаждения полупроводниковых лазеров 38
- Ю. Садиков.** Автоматический выключатель освещения на базе датчика движения 41
- О. Пахоменков.** Преобразователь сигналов шунтов в цепях постоянного тока 44

Вниманию авторов (с. 15). Новые книги. А. Фрунзе. «Микроконтроллеры фирмы Philips семейства x51» (с. 31). Подписка-2007 (с. 48).



# Современная лаборатория разработчика электронных схем

*В статье рассмотрены возможные наборы приборов для современных лабораторий разработчиков электронных схем. Предлагаются варианты для лабораторий начального, среднего и высшего уровня.*

В последнее время заметно оживился интерес к разработке электронных схем. Этим занимаются как радиолюбители, так и специалисты. Для настройки и тестирования современной электронной аппаратуры, проведения исследований в области радиоэлектроники и для изучения физических процессов в технических устройствах и системах требуются разнообразные электро- и радиоизмерительные приборы. В первую очередь наряду со ставшими общедоступными мультиметрами для лаборатории разработчика электронных схем нужны электронные осциллографы и источники сигналов самой разнообразной формы.

Выбор этих приборов в наше время весьма велик. К примеру, осциллографические приборы [1] представлены ныне аналоговыми, аналого-цифровыми и цифровыми моделями, осциллографами смешанных сигналов, логическими анализаторами, анализаторами сигналов и спектров и т. д. Современные функциональные генераторы способны генерировать сигналы нескольких простых форм, таких как синусоидальная, прямоугольная и треугольная [2]. Звуковые, ВЧ- и СВЧ генераторы генерируют синусоидальные сигналы с высокой стабильностью в широком диапазоне частот. Однако это только очень малая часть сигналов, которые могут потребоваться в практике выполнения измерений и отладки сложных устройств и систем.

## ЛАБОРАТОРИЯ НАЧАЛЬНОГО УРОВНЯ

Для построения лаборатории начального уровня следует учитывать, что измерительные приборы — довольно дорогостоящие изделия. Минимум приборов в лаборатории начального уровня включает в себя мультиметр, генераторы НЧ- и ВЧ-сигналов, импульсный генератор и универсальный или сервисный осциллограф. Вполне пригодные, хотя уже не современные НЧ- и ВЧ-генераторы советской разработки можно приобрести через интернет-магазины ряда

фирм. После распада СССР огромные складские запасы этих приборов оказались доступными и ныне распродаются по умеренным ценам.

Если качество сигналов не очень критично, полезным может оказаться генератор синусоидальных колебаний, работающий в диапазоне частот 0,1...150 МГц (с гармониками до 450 МГц) GRG-450B фирмы Good-Will. Эта фирма поставляет на рынок множество сравнительно дешевых (бюджетных) моделей измерительных приборов — генераторов различных сигналов, осциллографов, анализаторов спектра и др.

В качестве источника сигналов нескольких форм целесообразно приобрести функциональный генератор [2]. Большинство таких генераторов генерирует сигналы синусоидальной, прямоугольной и треугольной форм в диапазоне частот от долей Гц до 2...5 МГц. Есть модели с частотой генерации до 15...20 МГц, например генераторы фирмы Metex MSG-9810A/9816A (частота генерации до 10/16 МГц).

К довольно дешевым осциллографам относятся китайские приборы серии MPC (ОСУ), например, двухканальный осциллограф ОСУ-20 (полоса пропускания 20 МГц). Даже в лаборатории начального уровня является актуальной передача результатов вычислений прямо в персональный компьютер (ПК). К сожалению, обычные осциллографы эту возможность не обеспечивают.

Достаточно эффективную лабораторию можно создать на основе виртуальных функциональных генераторов и осциллографов, выполненных в виде приставок к ПК. К примеру, в [1, 3] описаны такие лаборатории на основе приставок к ПК фирмы Vellemfn, а в [4] — виртуальная лаборатория на базе прибора АСК-4106, который является комбинацией двухканального функционального генератора (диапазон частот до 10 МГц) с двухканальным цифровым запоминающим осциллографом (диапазон частот до 100 МГц).

Обширную номенклатуру виртуальных измерительных устройств выпус-

кает объединение «АКТАКОМ». Среди них многоканальные (двух-четырёхканальные) аналоговые и цифровые осциллографы, генераторы, осциллографы смешанных сигналов, логические анализаторы, функциональные генераторы, генераторы телевизионных сигналов, управляемые от компьютера источники питания и другие приборы. Их стоимость заметно меньше узкоспециализированных приборов и они дают возможность совместной работы с ПК с помощью специального поставляемого с ними программного обеспечения.

## ЛАБОРАТОРИЯ СРЕДНЕГО УРОВНЯ

Лаборатории опытных радиолюбителей, научных и образовательных организаций должны быть обеспечены десятками различных измерительных приборов в соответствии с их профессиональной деятельностью. Попробуем оценить тот минимум приборов, который необходим для исследования и отладки схем общего и промышленного применения, работающих в диапазоне частот от долей герц до 200...300 МГц. Заметим, что в этом диапазоне частот работают многие бытовые электронные приборы, в частности радиоприемные и телевизионные устройства, DVD- и MP3-плееры, устройства силовой электроники и др.

Прежде всего, в лаборатории среднего уровня нужны источники разнообразных сигналов. Это генераторы звуковых, инфразвуковых, ультразвуковых, ВЧ и СВЧ синусоидальных колебаний, генераторы импульсов различной формы, длительности и частоты, функциональные генераторы, генераторы качающейся частоты и, наконец, программируемые генераторы сигналов произвольной формы. Приобретение этих приборов не только влетит в «копеечку» (точнее во многие тысячи долларов), но и потребует организации нескольких рабочих мест, заставленных всеми указанными приборами. Это не всегда возможно, поскольку площадь рабочих помещений стоит дорого.

В последнее время появился выход из этого положения. Корпорация Tektronix — один из лидеров в области разработки и производства высококачественных измерительных приборов — недавно выпустила на рынок серию генераторов произвольных сигналов AFG3000 умеренной (для этого класса приборов) стоимости [5]. Новая серия представлена шестью моделями — AFG3021, AFG3022, AFG3101, AFG3102, AFG3251, AFG3252. Аббревиатура AFG — от слов Arbitrary

Function Generator (генератор произвольных функций).

Последняя цифра в названии приборов указывает на число каналов: 1 — одноканальные приборы и 2 — двухканальные. Двухканальные генераторы способны формировать независимые сигналы по обоим каналам, в том числе и синхронные (например, дифференциальные или сигналы с заданным сдвигом фазы между ними). Возможна синхронная работа многих генераторов для создания нескольких серий сигналов. Две средние цифры в названии приборов указывают на максимальную частоту генерации синусоидальных сигналов: 02 — 25 МГц, 10 — 100 МГц и 25 — 240 МГц. Минимальное значение частоты и шаг ее изменения равны 0,001 Гц (1 мГц).

Генераторы AFG3000 (рис. 1) являются, в сущности, комбинацией всех указанных выше генераторов.

Они генерируют сигналы 12 стандартных форм, включая сигналы произвольной формы, задаваемые пользователем. Возможна амплитудная, частотная и широтно-импульсная модуляция сигналов. И хотя их стоимость составляет обычно 2000...10000 долл. в зависимости от диапазона частот и числа каналов, она намного ниже стоимости отдельно приобретаемых генераторов, указанных выше. Приборы (рис. 1) выполнены в небольшом корпусе (для настольной конфигурации его размеры 329,6×156,3×168 мм). Вес прибора составляет 4,5 кг, в упаковке — 5,9 кг. Диапазон рабочих температур — 0...50 °С, температура хранения — 30...+70 °С. Есть опции для монтажа генераторов в стойки для промышленного измерительного оборудования.

Основные технические характеристики моделей генераторов серии AFG3000 представлены в табл. 1.

Приборы отличаются числом каналов (1 или 2), максимальной частотой синусоидального напряжения (25, 100 и 240 МГц) и низкой максимальной частотой повторения импульсного напряжения (прямоугольного, импульсного и произвольного). Импульсы с дополнительными формами, определяемыми математическими функциями, можно формировать в диапазоне частот от 1 мГц и до 1 МГц. Однако, используя их как шаблоны для генерации произвольных сигналов, можно повысить частоты до предельных значений. Частота дискретизации сигналов — 250 МГц, но у старших моделей она может быть 1 и даже 2 ГГц при

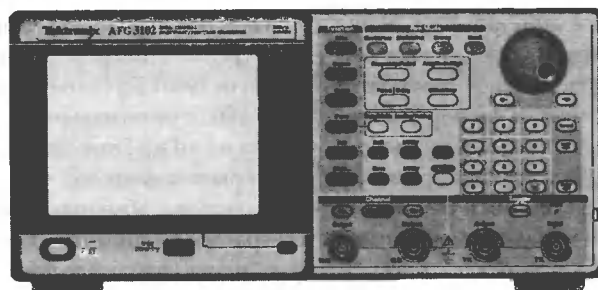


Рис. 1

разрядности 14 бит, обеспечивающей малый шаг дискретизации сигналов.

Эти приборы используют новейшие методы генерации множества сигналов с помощью одной СБИС и методы прямого цифрового синтеза частот, обеспечивая при этом максимальную нестабильность частот выходных сигналов не более  $10^{-6}$  (или 0,0001 %) за

год работы в диапазоне температур 0...50 °С. Для большинства схематических разработок генераторы выполняют еще и функции источников (синтезаторов) сигналов с высокой стабильностью частоты.

Для изменения частоты и других параметров можно использовать как прямой цифровой ввод значений па-

Таблица 1

| Характеристики         | Параметры                            | AFG3021/3022                                                                                                                                                                                 | AFG3101/3102                                 | AFG3251/3252                                            |
|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Выходные параметры     | Число каналов                        | 1/2                                                                                                                                                                                          |                                              |                                                         |
|                        | Виды выходного сигнала               | Синус, меандр, пила, треугольник, $\sin(x)/x$ , нарастающая и спадающая экспонента, функции Гаусса, Лоренца и Хевисайда, шум                                                                 |                                              |                                                         |
|                        | Выходной уровень на нагрузке 50 Ом   | 10 мВ...10 В                                                                                                                                                                                 | 20 мВ...10 В                                 | 50 мВ...5 В (до 200 МГц)<br>60 мВ...4 В (свыше 200 МГц) |
|                        | Погрешность установки частоты        | $\pm 1 \cdot 10^{-6}$                                                                                                                                                                        |                                              |                                                         |
|                        | Постоянное смещение                  | $\pm 5$ В пик (AC+DC)                                                                                                                                                                        | $\pm 5$ В пик (AC+DC)                        | $\pm 2,5$ В пик (AC+DC)                                 |
| Синусоида              | Частотный диапазон                   | 1 мГц...25 МГц                                                                                                                                                                               | 1 мГц...100 МГц                              | 1 мГц...240 МГц                                         |
|                        | Погрешность установки уровня         | $\pm (1\% + 1 \text{ мВ})$                                                                                                                                                                   |                                              |                                                         |
|                        | Неравномерность АЧХ                  | $\pm 0,5$ дБ до 25 МГц                                                                                                                                                                       | $\pm 0,5$ дБ до 100 МГц                      | $\pm 1$ дБ до 240 МГц                                   |
|                        | Коэффициент гармоник (уровень 1 В)   | $< -40$ дБн на частотах до 25 МГц                                                                                                                                                            | $< -37$ дБн на частотах до 100 МГц           | $< -30$ дБн на частотах до 240 МГц                      |
| Меандр                 | Диапазон частот                      | 1 мГц...12,5 МГц                                                                                                                                                                             | 1 мГц...50 МГц                               | 1 мГц...120 МГц                                         |
|                        | Время нарастания/спада               | 18 нс                                                                                                                                                                                        | 5 нс                                         | 2,5 нс                                                  |
| Импульс                | Диапазон частот                      | 1 мГц...12,5 МГц                                                                                                                                                                             | 1 мГц...50 МГц                               | 1 мГц...120 МГц                                         |
|                        | Длительность                         | 30 нс...999 с                                                                                                                                                                                | 8 нс...999 с                                 | 4 нс...999 с                                            |
| Дополнительные сигналы | Изменяемое время нарастания          | 18 нс...625 с                                                                                                                                                                                | 5 нс...625 с                                 | 2,5 нс...625 с                                          |
|                        | Диапазон частот                      | 1 мГц...200 кГц                                                                                                                                                                              | 1 мГц...1 МГц                                | 1 мГц...2,4 МГц                                         |
| Произвольная форма     | Полоса шума                          | 25 МГц                                                                                                                                                                                       | 100 МГц                                      | 240 МГц                                                 |
|                        | Диапазон частот                      | 1 мГц...12,5 МГц                                                                                                                                                                             | 1 мГц...50 МГц                               | 1 мГц...120 МГц                                         |
|                        | Частота дискретизации и объем памяти | 200 МГц<br>2...64 кБ                                                                                                                                                                         | 200 МГц<br>16...128 кБ<br>1 ГГц<br>2...16 кБ | 200 МГц<br>16...128 кБ<br>1 ГГц<br>2...16 кБ            |
|                        | Разрешение по вертикали              | 14 Бит                                                                                                                                                                                       |                                              |                                                         |
| Модуляция              | Виды модуляции                       | АМ (0...120 %), ЧМ (девиация до 120 МГц), частотная манипуляция, ШИМ (0...50 % от длительности импульса), ИМ, качание частоты (время 10 мс...100 с) по линейному или логарифмическому закону |                                              |                                                         |
|                        | Несущая                              | Все виды сигналов кроме импульса, шума и постоянного напряжения                                                                                                                              |                                              |                                                         |
|                        | Модулирующий сигнал                  | Частота 2 мГц...50 кГц. Синус, меандр, пила, шум и произвольный сигнал                                                                                                                       |                                              |                                                         |
| Общие данные           | Питание                              | 220 В $\pm 15\%$ , 50/60 Гц                                                                                                                                                                  |                                              |                                                         |
|                        | Габариты                             | 156×329×168 мм                                                                                                                                                                               |                                              |                                                         |
|                        | Масса                                | 4,5 кг                                                                                                                                                                                       |                                              |                                                         |

раметров, так и поворотную ручку с кнопками направления. Ручка может имитировать плавное изменение параметра, возможен выбор малого (нередко очень малого) шага дискретизации у регулируемого параметра. Это создает эффект почти непрерывного изменения параметра, например частоты или амплитуды.

Генераторы имеют самый современный, простой и наглядный интерфейс, подобный интерфейсу современных цифровых осциллографов [1]. Большой жидкокристаллический цветной дисплей (черно-белый только у модели AFG3021) с размером по диагонали 5,6 дюйма отображает достаточно крупными знаками основные параметры сигналов и режимы работы генераторов и представляет форму создаваемых сигналов (рис. 2).

Интерфейс генератора может иметь надписи на восьми языках, включая русский. Для изменения языка надписей на передней панели поставляется наклейка, которая крепится на передней панели прибора. Локализация прибора для России успешно решена.

Основные выходы (или выход в одноканальной модели) изолированы, поэтому генератор может использоваться как «подвешенный» источник сигналов. Правда максимальное напряжение (постоянное плюс импульсное) относительно его внутреннего общего провода не должно превышать  $\pm 42$  В.

Возможно изменение фазы синусоидального и иного периодического сигнала в диапазоне  $-180...+180^\circ$ , осуществление амплитудной, частотной и фазовой модуляции, а также частотной манипуляции. Для импульсных сигналов возможна еще и широтно-импульсная модуляция, которая используется в преобразовательных устройствах для управления мощностью в нагрузке, например, для изменения яркости свечения светодиодов или изменения температуры нагрева нагревателей в электрических печах.

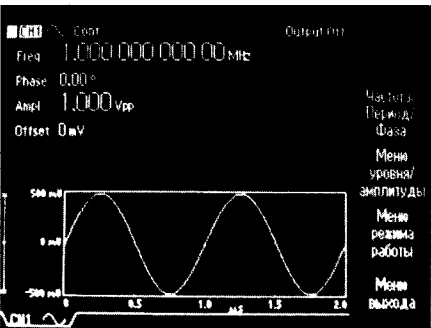


Рис. 2

Как генератор синусоидальных сигналов AFG3000 генерирует сигналы с частотой от 0,001 Гц (1 мГц) до 25, 100 или 240 МГц (с минимальным шагом изменения в 1 мГц). Этот диапазон намного перекрывает диапазон частот звуковых генераторов и обычных аналоговых ВЧ-генераторов стандартных сигналов старых аналоговых моделей. Обновление программного обеспечения генераторов позволяет снизить минимальные частоты и разрешение по частоте до 1 мкГц и расширить диапазон изменения скважности импульсов.

Возможна модуляция синусоидальных и других сигналов (кроме сигнала шума и постоянного напряжения). Основные формы генерируемых сигналов представлены на рис. 3.

Здесь показаны осциллограммы сигнала на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) — синусоидальный сигнал (а), синусоидальный сигнал с амплитудной модуляцией (б), прямоугольные импульсы (в) и пилообразный сигнал (г). Они получены с помощью цифрового осциллографа DS-1250 фирмы EZ-Digital, подключенного к персональному компьютеру ПК через интерфейс скоростной последовательной шины USB. Это сравнительно дешевый вариант для второго важного прибора лаборатории — электронного осциллографа.

Всего генераторы серии AFG3000 имеют 12 стандартных форм сигналов. Все они полезны и позволяют использовать генераторы для различных сервисных, научных и учебных целей. Так,

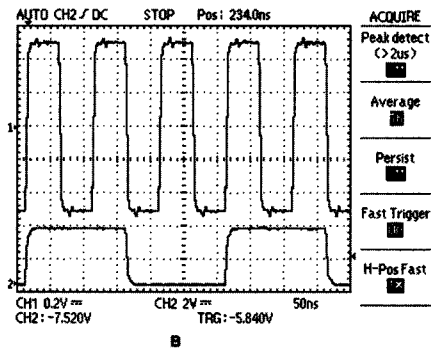
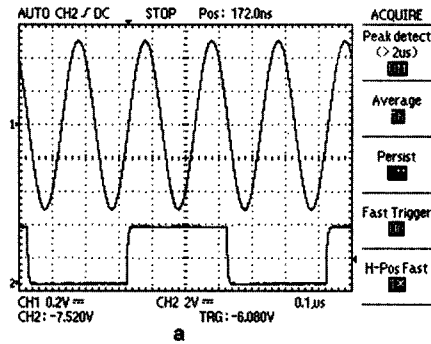
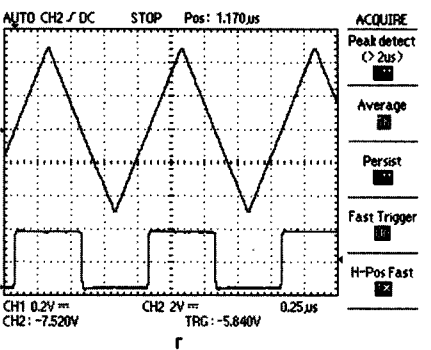
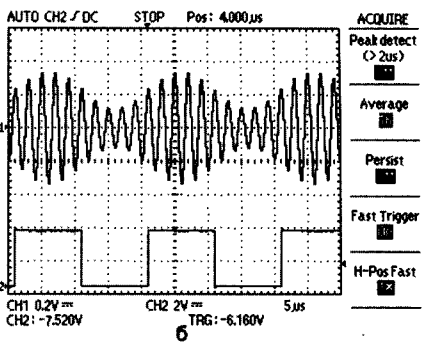


Рис. 3

у импульсных сигналов отдельно регулируются время нарастания и спада, длительность и частота, коэффициент заполнения и временная задержка. Это позволяет использовать прибор как универсальный генератор импульсных сигналов трапецеидальной формы.

Однако в полной мере уникальные возможности генераторов проявляются в режиме генерации сигналов произвольной формы — меню и кнопка «Произвольн.» (в оригинале — Arb.). Полоса частот для произвольных сигналов нормируется до 25, 100 и даже 240 МГц. Созданный сигнал имеет разрядность 14 бит, а частота его дискретизации составляет до 1 Гвыб/с у генераторов AFG3101/3102 и даже 2,5 Гвыб/с у AFG3251/3252. В качестве шаблона (образца) сигнала произвольной формы можно выбрать любой сигнал стандартной формы.

Для хранения созданных пользователем сигналов есть два вида памяти — встроенная и внешняя. Встроенная память позволяет создать пять файлов, имена которых можно выбрать из специального окна, которое вызывается нажатием кнопки «Произвольн.» из меню функций и выбором позиции «Сигнал произвольн. формы» экранного меню. В окне представлены имена файлов, хранящихся во внутренней памяти. В позиции экранного меню «Память» есть возможность выбора окон внутренней, либо внешней памяти flash-карты, которая вставляется в гнездо под экраном. Возможно сохранение пяти настроек генератора.



Инструкция по эксплуатации прибора достаточно подробно описывает применение генераторов AFG3000 как самостоятельных приборов, однако их возможности наиболее полно раскрываются при совместной работе с ПК. В этом случае возможно дистанционное управление генератором (в том числе по сети), задание и редактирование пользователем сигналов произвольной формы и генерация сигналов, полученных от цифровых осциллографов фирмы Tektronix. Для этого используется программа ArbExpress, которая входит в комплект поставки. Для использования этих возможностей требуется установка программы и подключение генератора к свободному разьему USB компьютера. Требования к ПК вполне обычные, и любой современный ПК им удовлетворяет.

Пожалуй, оптимальным по возможностям и цене типом осциллографа для данной лаборатории является цифровой запоминающий осциллограф из серии Tektronix TDS 1000B/2000B (рис. 4).



Рис. 4

Этот прибор лучше всего сочетается с генераторами серии AFG3000 по электрическим параметрам (прежде всего по диапазону частот исследуемых сигналов), типу подключения ПК (через скоростной USB-порт и шину) и по применяемому программному обеспечению. Приобретая осциллограф другой фирмы, можно потерять совместимость по программному обеспечению.

Основные технические характеристики осциллографов серии TDS 1000 B/2000 B наглядно представлены в табл. 2.

Стоимость этих приборов находится в пределах 1000...2500 долл. Полоса частот приборов 40...200 МГц и время нарастания до 1,8 нс

Таблица 2

| Модель   | Число каналов | Полоса частот, МГц | Частота выборки, Гвыб/с | Дисплей     |
|----------|---------------|--------------------|-------------------------|-------------|
| TDS1001B | 2             | 40                 | 0,5                     | Монохромный |
| TDS1002B | 2             | 60                 | 1                       | Монохромный |
| TDS1012B | 2             | 100                | 1                       | Монохромный |
| TDS2002B | 2             | 60                 | 1                       | Цветной     |
| TDS2004B | 4             | 60                 | 1                       | Цветной     |
| TDS2012B | 3             | 100                | 1                       | Цветной     |
| TDS2014B | 4             | 100                | 1                       | Цветной     |
| TDS2022B | 2             | 200                | 2                       | Цветной     |
| TDS2024B | 4             | 200                | 2                       | Цветной     |

открывают возможности исследования и отладки огромного числа схем на различных полупроводниковых и иных приборах и микросхемах. Похожие по внешнему виду и возможностям осциллографы TDS 1000 B/2000 B имеют входы с гальванической развязкой и возможность питания от аккумуляторной батареи. Они очень удобны для исследования и тестирования источников электропитания и различных устройств энергетики и промышленной электроники. Приборы имеют возможность проведения курсорных измерений, 11 автоматических измерений и встроенный цифровой частотомер.

Приемлемый ценовой диапазон и у цифровых запоминающих осциллографов серии TDS-3000 с технологией цифрового фосфора (DPO). Они выпускаются с максимальными частотами исследуемых сигналов в диапазоне 100...500 МГц и частотами дискретизации 1,25...5 ГГц. К сожалению, стоимость старших моделей этих приборов достигает 14000 долл.

Большинство современных цифровых осциллографов реализует быстрое преобразование Фурье (БПФ) — особый алгоритм дискретного преобразования Фурье (ДПФ), позволяющий уменьшить число комплексных умножений до  $(N/2) \cdot \log_2 N$ . Это достигается, если число отсчетов составляет  $2^k$ , где  $k$  — целое число. Обычное ДПФ требует  $N^2$  комплексных умножений. Рис. 5 дает представление о том, как сильно уменьшается объем вычислений при БПФ в сравнении с ДПФ.

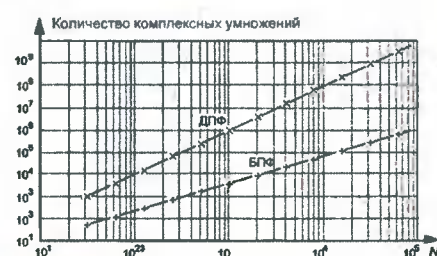


Рис. 5

Резкое уменьшение времени БПФ позволило реализовать его в цифровых осциллографах и превратить их анализатор спектра для массовых применений. Для повышения разрешающей способности спектрального анализа используется оконное преобразование с окнами различного типа (прямоугольным, Ханнинга, Блэкмана и др.).

Окончание следует

## ЛИТЕРАТУРА:

1. А. А. Аффонский, В. П. Дьяконов. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. — М.: СОЛОН-Пресс, 2007.
2. В. П. Дьяконов. Функциональные генераторы. — Схемотехника, 2006, № 9, с. 10—12, № 10, с. 13, 14.
3. В. П. Дьяконов. Виртуальные лаборатории. Обзор приставок и плат к персональному компьютеру. — Ремонт и сервис, 2005, № 7.
4. А. А. Аффонский, Е. В. Суханов. Измерения по заданной траектории в USB-лаборатории (измерительный комплекс АСК-4106). — Контрольно-измерительные системы и приборы, 2004, № 2.
5. В. П. Дьяконов. Многофункциональные генераторы Tektronix AFG3000. — Контрольно-измерительные приборы и системы, 2006, № 6, 2007, № 1.
6. В. П. Дьяконов. Цифровые запоминающие осциллографы среднего класса. — Ремонт и сервис, 2006, № 8.
7. В. П. Дьяконов. Стробоскопические осциллографы у барьера в 100 ГГц. — Ремонт и сервис, 2005, № 12.

Владимир Дьяконов,  
г. Смоленск

# Микросхемы для активных корректоров коэффициента мощности МС34261 и МС33261

## Расчет АККМ

Расчет начинают с определения выходной мощности  $P_{OUT}$  по выходным напряжению  $V_{OUT}$  и току  $I_{OUT}$ :

$$P_{OUT} = V_{OUT} I_{OUT}.$$

Далее определяют пиковое значение тока через накопительный дроссель  $I_{L(PK)}$  при минимальном эффективном напряжении сети  $V_{AC(LL)}$  и ожидаемом коэффициенте полезного действия  $\eta = 0,95$ :

$$I_{L(PK)} = \frac{2\sqrt{2}P_{OUT}}{\eta V_{AC(LL)}}.$$

Задавая номинальным эффективным напряжением сети  $V_{OUT}$  и длительностью цикла  $t = 20$  мкс, рассчитывают индуктивность дросселя  $L$ :

$$L = \frac{2t \left( \frac{V_{OUT}}{\sqrt{2}} - V_{AC} \right) V_{AC}^2}{V_{OUT} V_{AC(LL)} I_{L(PK)}}.$$

Определяют длительность открытого состояния ключевого транзистора  $t_{ON}$ . Теоретически эта длительность неизменна за период сетевого напряжения. На практике оно несколько увеличивается при малых мгновенных значениях напряжения сети из-за влияния заряда конденсатора  $C_6$ :

$$t_{ON} = \frac{2P_{OUT}L}{\eta V_{AC}^2}.$$

Длительность закрытого состояния ключевого транзистора  $t_{OFF}$  максимальна на пике сетевого напряжения, когда разность выходного напряжения и мгновенного напряжения сети минимальна. Она приближается к нулю при пересечении сетевым напряжением нулевого уровня, когда накапливаемая дросселем энергия за время открытого состояния ключевого транзистора минимальна:

$$t_{OFF} = \frac{t_{ON}}{\frac{V_{OUT}}{\sqrt{2}V_{AC}|\sin\theta|} - 1}.$$

В этой формуле  $\theta$  — фаза сетевого напряжения, а величина  $\sqrt{2}V_{AC}|\sin\theta|$  представляет собой мгновенное значение его модуля.

Минимальная частота переключения силового транзистора  $f$  имеет место при максимальном мгновенном напряжении сети:

$$f = \frac{1}{t_{OFF} + t_{ON}}.$$

Сопротивление токоизмерительного резистора  $R_9$  рассчитывают по максимальному падению напряжения на нем  $V_{CS}$  при протекании тока  $I_{L(PK)}$ . Это напряжение принимают равным 0,5 В для фиксированного напряжения сети 110, 220 или 230 В с допуском  $\pm 20\%$  и 1 В для сетевого напряжения, изменяющегося в широких пределах от 85 до 265 В (универсальный вход):

$$R_9 = \frac{V_{CS}}{I_{L(PK)}}.$$

Соотношение резисторов  $R_7$  и  $R_3$  определяют исходя из максимального напряжения на входе умножителя  $V_M$  (вывод 3), равного 3 В, при пиковом значении напряжения сети:

$$\frac{R_7}{R_3} = \frac{V_{AC}\sqrt{2}}{V_M} - 1.$$

Для минимизации ошибки, возникающей за счет входного тока умножителя по выводу 3 сопротивление резистора  $R_3$  не должно быть заметно больше указанной на рис. 3 величины.

Соотношение резисторов  $R_2$  и  $R_1$  определяют по следующей формуле;

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{OUT} - I_{IB}R_2}{V_{REF}} - 1.$$

В этой формуле  $I_{IB}$  — модуль входного вытекающего тока по выводу 1,  $V_{REF} = 2,5$  В — напряжение опорного источника.

Емкость конденсатора  $C_1$  рассчитывают исходя из полосы пропускания усилителя рассогласования  $BW$ , равной 20 Гц:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} BW}.$$

Коэффициент трансформации  $N$  трансформатора  $T$  определяют исходя

из следующих соображений. Напряжение на первичной обмотке для полярности, которая соответствует зарядке конденсатора  $C_5$ , имеет максимальную величину при мгновенном напряжении сети, близком к нулю, и примерно равно выходному. Напряжение на вторичной обмотке при этом должно превышать нормальное напряжение питания микросхемы  $V_{CC}$  на 2...3 В, т. е. находиться в пределах 15...25 В, отсюда:

$$N = \frac{V_{OUT}}{V_{CC} + (2...3)V}.$$

Для расчета трансформатора необходимо знать предельный ток через его первичную обмотку. Этот ток не должен вводить сердечник трансформатора в насыщение. Для нормальной работы АККМ пиковый ток рассчитан выше, это  $I_{L(PK)}$ .

Процесс включения АККМ за счет относительно малого вытекающего тока усилителя рассогласования и влияния конденсатора  $C_1$  протекает относительно плавно, поэтому можно рассчитывать на то, что значение  $I_{L(PK)}$  не будет существенно превышено. В [2] нет указаний, на какой предельный ток следует рассчитывать трансформатор, нет и данных, что он как-либо ограничивается микросхемой. С другой стороны, из рис. 9 видно, что напряжение на выходе умножителя не может превышать уровня примерно 2,7 В, а это напряжение определяет порог срабатывания компаратора максимального тока. Следовательно, ток через первичную обмотку трансформатора  $I_L$  ограничен величиной

$$I_L = \frac{2,7V}{R_9}.$$

Однако если рассчитывать трансформатор на такой ток, он получится значительно более громоздким и тяжелым, кроме того, максимальный уровень напряжения на выходе умножителя и его разброс не нормированы.

Трансформатор, наматываемый на ферритовом кольце с зазором, можно рассчитать в соответствии с [3].

Основные параметры микросхем МС34261 и МС33261 приведены в табл. 1. Если не указано иное, они даны для напряжения питания микросхем 12 В. Типовые значения параметров приведены для температуры окружающей среды 25 °С, максимальные и минимальные — для полного рабочего диапазона температур, который составляет -40...+85 °С для МС33261 и 0...+70 °С для МС34261.



### Таблица 1

| Параметр                                           | Обозначение         | Условия измерения                                                                        | Значение параметра |         |       |
|----------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|-------|
|                                                    |                     |                                                                                          | Мин.               | Тип.    | Макс. |
| Усилитель рассогласования                          |                     |                                                                                          |                    |         |       |
| Пороговое напряжение (опорный источник), В         | V <sub>FB</sub>     | T <sub>A</sub> = 25 °C                                                                   | 2,465              | 2,5     | 2,535 |
|                                                    |                     | T <sub>A</sub> от T <sub>мин</sub> до T <sub>макс</sub> ,<br>V <sub>CC</sub> = 12...28 В | 2,44               | —       | 2,54  |
| Сдвиг нуля, мВ                                     | —                   | T <sub>A</sub> = 25 °C, V <sub>CC</sub> = 12...28 В                                      | —                  | 1       | 10    |
| Входной вытекающий ток, мкА                        | I <sub>IB</sub>     | V <sub>FB</sub> = 0                                                                      | —                  | 0,3     | 1     |
| Коэффициент усиления, дБ                           | A <sub>VOL</sub>    | —                                                                                        | 65                 | 85      | —     |
| Произведение коэффициента усиления на частоту, МГц | GBW                 | T <sub>A</sub> = 25 °C                                                                   | 0,7                | 1       | —     |
| Максимальный вытекающий выходной ток, мА           | I <sub>SOURCE</sub> | V <sub>OUT</sub> = 4 В, V <sub>FB</sub> = 2,3 В                                          | 0,25               | 0,5     | 0,75  |
| Выходное напряжение высокого уровня, В             | V <sub>OH</sub>     | I <sub>SOURCE</sub> = 0,2 мА, V <sub>FB</sub> = 2,3 В                                    | 5                  | 5,7     | —     |
| Выходное напряжение низкого уровня, В              | V <sub>OL</sub>     | I <sub>SINK</sub> = 0,4 мА, V <sub>FB</sub> = 2,7 В                                      | —                  | 2,1     | 2,44  |
| Умножитель                                         |                     |                                                                                          |                    |         |       |
| Входной динамический диапазон по входам 2 и 3, В   | V <sub>PIN3</sub>   | —                                                                                        | 0...2,5            | 0...3,5 | —     |
|                                                    | V <sub>PIN2</sub>   | —                                                                                        | 2,5...3,5          | 2,5...4 | —     |
| Входной вытекающий ток, мкА                        | I <sub>IB</sub>     | V <sub>FB</sub> = 0 В                                                                    | —                  | 0,3     | 1     |
| Коэффициент передачи, В <sup>-1</sup>              | K                   | —                                                                                        | 0,4                | 0,62    | 0,8   |
| Детектор нулевого тока                             |                     |                                                                                          |                    |         |       |
| Порог при увеличении входного напряжения, В        | V <sub>TH</sub>     | —                                                                                        | 1,3                | 1,6     | 1,8   |
| Гистерезис, мВ                                     | V <sub>H</sub>      | —                                                                                        | 40                 | 110     | 200   |
| Уровни ограничения входного сигнала, В             | V <sub>IH</sub>     | I <sub>DET</sub> = 3 мА                                                                  | 6,1                | 6,7     | —     |
|                                                    | V <sub>IL</sub>     | I <sub>DET</sub> = -3 мА                                                                 | 0,3                | 0,7     | 1     |
| Компаратор максимального тока                      |                     |                                                                                          |                    |         |       |
| Входной вытекающий ток, мкА                        | I <sub>IB</sub>     | V <sub>PIN4</sub> = 0 В                                                                  | —                  | 0,5     | 2     |
| Сдвиг нуля, мВ                                     | V <sub>IO</sub>     | V <sub>PIN2</sub> = 1,1 В, V <sub>PIN3</sub> = 0 В                                       | —                  | 3,5     | 15    |
| Задержка, нс                                       | t <sub>PHL</sub>    | —                                                                                        | —                  | 200     | 400   |
| Выходной драйвер                                   |                     |                                                                                          |                    |         |       |
| Выходное напряжение высокого уровня, В             | V <sub>OH</sub>     | I <sub>SOURCE</sub> = 20 мА                                                              | 9,8                | 10,3    | —     |
|                                                    |                     | I <sub>SOURCE</sub> = 200 мА                                                             | 7,8                | 8,3     | 8,8   |
| Выходное напряжение низкого уровня, В              | V <sub>OL</sub>     | I <sub>SINK</sub> = 20 мА                                                                | —                  | 0,3     | 0,8   |
|                                                    |                     | I <sub>SINK</sub> = 200 мА                                                               | 1,8                | 2,4     | 3,3   |
| Выходное напряжение высокого уровня, В             | V <sub>O(MAX)</sub> | V <sub>CC</sub> = 30 В, I <sub>SOURCE</sub> = 20 мА                                      | 14                 | 16      | 18    |
| Длительность фронта, нс                            | t <sub>r</sub>      | C <sub>L</sub> = 1000 пФ                                                                 | —                  | 50      | 120   |
| Длительность спада, нс                             | t <sub>f</sub>      | C <sub>L</sub> = 1000 пФ                                                                 | —                  | 50      | 120   |

  
**ВОЛЬТ МАСТЕР**  
 приборы      инструменты      радиодетали

www.voltmaster.ru

- розничный магазин в Москве
- офис оптовых продаж
- интернет-магазин с доставкой по России

#### Интернет-магазин в Москве

125080, Москва  
 ул. Мясницкая, д. 10  
 2-й этаж, пав. 2  
 Тел./факс: +7 495 317 33 55  
 e-mail: [info@voltmaster.ru](mailto:info@voltmaster.ru);  
[order@voltmaster.ru](mailto:order@voltmaster.ru)

Интернет-магазин:

**[www.voltmaster.ru](http://www.voltmaster.ru)**

Измерительные приборы

Паяльное оборудование

Радиомонтажный  
инструмент

Микросхемы

Транзисторы

Конденсаторы

Резисторы

Соединители

Кабель

# ПОРТАТИВНЫЙ ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

- ▶ Частота дискретизации 250 Мс/дел
- ▶ Частота 20 МГц
- ▶ Экран 320 x 240
- ▶ Скорость выборки 100 Мвыб./с
- ▶ Модель RS-733
- ▶ Каналы 2х/канал
- ▶ Автоматическое и курсорные измерения
- ▶ Блок питания и питание

**Цена  
19800 р.**

**ОШТАТАМ**

Москва, ул. Рязань-Французская, 12, стр. 1. Контакт: 6-199-99. Интернет: [www.oshtatam.ru](http://www.oshtatam.ru)



Окончание таблицы 1

| Параметр                                                                        | Обозначение    | Условия измерения                             | Значение параметра |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|--------------------|------|-------|
|                                                                                 |                |                                               | Мин.               | Тип. | Макс. |
| Выходное напряжение при срабатывании компаратора снижения напряжения питания, В | $V_{OH(MAX)}$  | $V_{CC} = 7\text{ В}, I_{SINK} = 1\text{ мА}$ | —                  | 0,2  | 0,8   |
| <b>Таймер</b>                                                                   |                |                                               |                    |      |       |
| Время срабатывания таймера, мкс                                                 | $t_{DLY}$      | —                                             | 150                | 400  | —     |
| <b>Компаратор снижения напряжения питания</b>                                   |                |                                               |                    |      |       |
| Напряжение запуска при повышении напряжения питания, В                          | $V_{TH}$       | —                                             | 9,2                | 10   | 10,8  |
| Минимальное рабочее напряжение после включения, В                               | $V_{SHUTDOWN}$ | —                                             | 7                  | 8    | 9     |
| Гистерезис, В                                                                   | $V_H$          | —                                             | 1,75               | 2    | 2,5   |
| <b>Защита от перегрева</b>                                                      |                |                                               |                    |      |       |
| Порог выключения микросхемы по температуре, °C                                  | $T_J$          | —                                             | —                  | 150  | —     |
| Гистерезис, °C                                                                  | —              | —                                             | —                  | —    | —     |
| <b>Ток потребления</b>                                                          |                |                                               |                    |      |       |
| Ток в выключенном состоянии, мкА                                                | $I_{CC}$       | $V_{CC} = 7\text{ В}$                         | —                  | 0,3  | 0,5   |
| Рабочий ток, мА                                                                 | $I_{CC}$       | —                                             | —                  | 7,1  | 12    |
|                                                                                 |                | $C_L = 1000\text{ нФ}$                        | —                  | 9    | 20    |
| Напряжение защитного стабилитрона, В                                            | $V_Z$          | —                                             | 30                 | 36   | —     |

Таблица 2

| $V_{IN}, \text{ В}$ | $P_{IN}, \text{ Вт}$ | PF    | Вход                                   |      |      |     |      | Выход                |                          |                      |                       |        |
|---------------------|----------------------|-------|----------------------------------------|------|------|-----|------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|--------|
|                     |                      |       | Уровень гармоник потребляемого тока, % |      |      |     |      | $U_{OUT}, \text{ В}$ | $U_{OUT(PP)}, \text{ В}$ | $I_{OUT}, \text{ А}$ | $P_{OUT}, \text{ Вт}$ | КПД, % |
|                     |                      |       | Общ.                                   | 2    | 3    | 5   | 7    |                      |                          |                      |                       |        |
| 90                  | 85,6                 | 0,998 | 2,4                                    | 0,11 | 0,52 | 1,3 | 0,67 | 230                  | 10                       | 0,35                 | 80,5                  | 94     |
| 100                 | 85,1                 | 0,997 | 5                                      | 0,13 | 1,7  | 2,4 | 1,4  | 230                  | 10,1                     | 0,35                 | 80,5                  | 94,6   |
| 110                 | 84,8                 | 0,997 | 5,3                                    | 0,12 | 2,5  | 2,6 | 1,5  | 230                  | 10,2                     | 0,35                 | 80,5                  | 94,9   |
| 120                 | 84,5                 | 0,997 | 5,8                                    | 0,12 | 3,2  | 2,7 | 1,4  | 230                  | 10,2                     | 0,35                 | 80,5                  | 95,3   |
| 130                 | 84,2                 | 0,996 | 6,6                                    | 0,12 | 4    | 2,8 | 1,5  | 230                  | 10,2                     | 0,35                 | 80,5                  | 95,6   |
| 138                 | 84,1                 | 0,995 | 7,2                                    | 0,13 | 4,5  | 3   | 1,6  | 230                  | 10,2                     | 0,35                 | 80,5                  | 95,7   |

Таблица 3

| $V_{IN}, \text{ В}$ | $P_{IN}, \text{ Вт}$ | PF    | Вход                                   |      |      |     |      | Выход                |                          |                      |                       |        |
|---------------------|----------------------|-------|----------------------------------------|------|------|-----|------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|--------|
|                     |                      |       | Уровень гармоник потребляемого тока, % |      |      |     |      | $U_{OUT}, \text{ В}$ | $U_{OUT(PP)}, \text{ В}$ | $I_{OUT}, \text{ А}$ | $P_{OUT}, \text{ Вт}$ | КПД, % |
|                     |                      |       | Общ.                                   | 2    | 3    | 5   | 7    |                      |                          |                      |                       |        |
| 90                  | 187,5                | 0,998 | 2                                      | 0,1  | 0,98 | 0,9 | 0,78 | 400,7                | 8                        | 0,436                | 174,7                 | 93,2   |
| 120                 | 184,6                | 0,997 | 1,8                                    | 0,09 | 1,3  | 1,3 | 0,93 | 400,7                | 8                        | 0,436                | 174,7                 | 94,6   |
| 138                 | 183,6                | 0,997 | 2,3                                    | 0,05 | 1,6  | 1,5 | 1    | 400,7                | 8                        | 0,436                | 174,7                 | 95,2   |
| 180                 | 181                  | 0,995 | 4,3                                    | 0,16 | 2,5  | 2   | 1,2  | 400,6                | 8                        | 0,436                | 174,7                 | 95,6   |
| 240                 | 179,3                | 0,993 | 6                                      | 0,08 | 3,7  | 2,7 | 1,4  | 400,6                | 8                        | 0,436                | 174,7                 | 97,4   |
| 268                 | 178,6                | 0,992 | 6,7                                    | 0,16 | 2,8  | 3,7 | 1,7  | 400,6                | 8                        | 0,436                | 174,7                 | 97,8   |

В табл. 2 приведены параметры АККМ, собранного по схеме на рис. 3. Отметим высокую стабильность выходного напряжения при изменении входного, связанную с большим коэффициентом усиления усилителя рассогласования в цепи обратной связи. В этой таблице  $V_{IN}$  и  $P_{IN}$  — входные эффективное напряжение и мощность, PF — фактор формы входно-

го тока,  $V_{OUT}$ ,  $I_{OUT}$  и  $P_{OUT}$  — выходные напряжение, ток и мощность,  $V_{OUT(PP)}$  — пульсации выходного напряжения. В АККМ использован трансформатор Coilcraft N2881-A, первичная обмотка которого содержит 62 витка провода диаметром 0,64 мм, дополнительная обмотка для питания микросхемы — 5 витков того же провода.

Сердечник трансформатора — RT2510 из феррита EE25 с зазором 1,83 мм, индуктивность первичной обмотки составляет 320 мкГн. На рис. 19 приведена схема АККМ с выходной мощностью 175 Вт и универсальным входом (входное напряжение 85...265 В). Параметры АККМ указаны в табл. 3. В АККМ использован трансформатор Coilcraft N2880-A, первичная обмотка которого содержит 78 витков провода диаметром 1,29 мм, дополнительная обмотка для питания микросхемы — 6 витков провода диаметром 1,02 мм. В трансформаторе применен сердечник RT4215 из феррита EE42-15 с зазором 2,64 мм, индуктивность первичной обмотки составляет 870 мкГн.

ЛИТЕРАТУРА:

3. С. Бирюков. Дроссели для импульсных источников питания на ферритовых кольцах. — Схемотехника, 2002, № 6, с. 4—7.

Сергей Бирюков,  
г. Москва

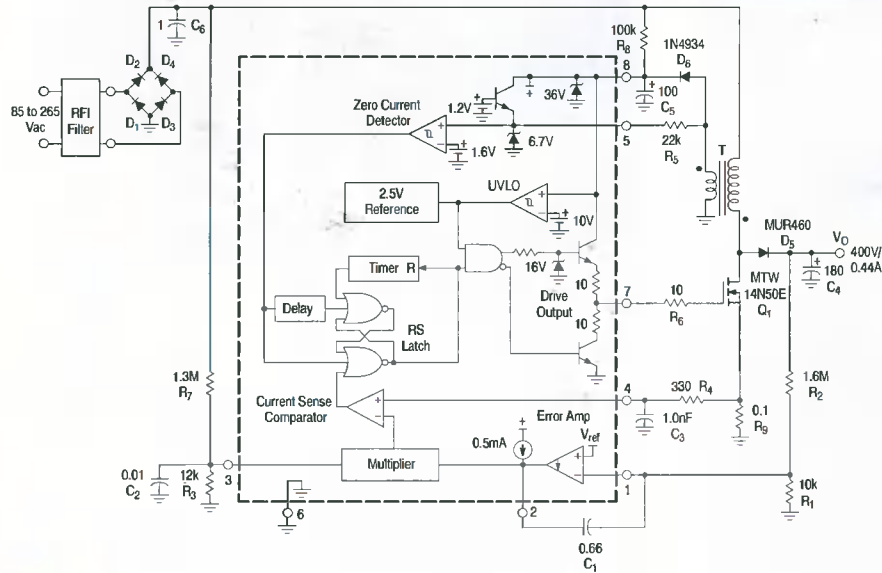


Рис. 19

# Расчет и моделирование повышающе-понижающего преобразователя напряжения

Построение эквивалентной схемы можно рассмотреть на примере входной цепи, состоящей из входного источника постоянного напряжения, дросселя L1 с активным сопротивлением RL1 и ключа S1. Среднее за период TS значение напряжения, приложенного к индуктивности L1, определяется выражением:

$$\langle V_{L1} \rangle = (V_{in} - (I_{L1} + I_{L2}) \times R_{on} - I_{L1} \times R_{L1}) \times \frac{t_{ON}}{T_s} + (V_{in} - I_{L1} \times R_{L1} - I_{L1} \times R_{C1} - V_{C1} - V_D - V_O) \times \frac{t_{OFF}}{T_s}$$

где  $t_{ON}$  — длительность первого интервала,  $t_{OFF}$  — длительность второго интервала, символами  $\langle \rangle$  обозначена функция усреднения:

$$\langle f(t) \rangle = \frac{1}{T_s} \times \int_0^{T_s} f(t) dt$$

Для упрощения полученного выражения можно считать напряжение на проходном конденсаторе постоянным:

$$V_{C1} + I_{L1} \times R_{C1} \approx V_{in}$$

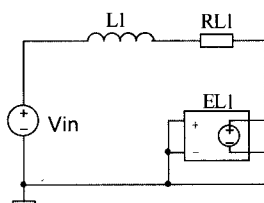
Выразив отношения длительностей интервалов к периоду коммутации через коэффициент заполнения

$$\frac{t_{ON}}{T_s} = D, \quad \frac{t_{OFF}}{T_s} = 1 - D,$$

получим:

$$\langle V_{L1} \rangle = V_{in} - I_{L1} \times R_{L1} - \{(I_{L1} + I_{L2}) \times R_{on} \times D - (V_{in} + V_D + V_O) \times (1 - D)\}. \quad (14)$$

Правая часть выражения (14) содержит три слагаемых. Первое из них — это входное постоянное напряжение  $V_{in}$ , которое можно представить на эквивалентной схеме в виде независимого источника напряжения  $V_{in}$ . Второе слагаемое — падение напряжения на активном сопротивлении дросселя  $I_{L1} \times R_{L1}$ . Третье слагаемое — источник напряжения EL1, величина которого (выражение в фигурных скобках) зависит от входного и выходного напряжений, коэффициента заполнения и средних значений токов в дросселях. Таким образом, эквивалентную схему входной цепи можно представить в виде, показанном на рис. 14, где зависимый источник EL1 представлен стандартным элементом программы PSpice — источником напряжения, управляемым напряжением (ИНУН).



$$EL1 = (I(L1) + I(L2)) \times Ron \times v(Don) + (V(in) + Vd + V(vo)) \times (1 - v(Don))$$

Рис. 14

В выражении зависимого источника напряжения EL1 использованы следующие обозначения:

- $I(L1)$ ,  $I(L2)$  — средние токи дросселей L1, L2;
- $R_{ON}$  — суммарное сопротивление открытого ключа и датчика тока ( $R_{ON} = R_{DSON} + R_{SENSE}$ );
- $v(DON)$  — коэффициент заполнения D, имеющий размерность единиц напряжения.

Полярность источников напряжения в эквивалентной схеме определяется знаками слагаемых в выражении (14).

Аналогичным образом можно получить выражения для среднего напряжения дросселя L2 и средних токов конденсаторов C1, C2, ключа S1 и диода VD1:

$$\langle V_{L2} \rangle = (V_{in} - (I_{L1} + I_{L2}) \times (R_{dson} + R_s) \times D - (V_O + V_D) - I_{L2} \times R_{L2}) \times (1 - D), \quad (15)$$

$$\langle I_{C1} \rangle = (1 - D) \times I_{L1} + D \times (-I_{L2}), \quad (16)$$

$$\langle I_{C2} \rangle = -\frac{V_O}{R_O} + (1 - D) \times (I_{L1} + I_{L2}), \quad (17)$$

$$\langle I_D \rangle = (I_{L1} + I_{L2}) \times (1 - D), \quad (18)$$

$$\langle I_S \rangle = (I_{L1} + I_{L2}) \times D. \quad (19)$$

При переходе от импульсной модели к непрерывной было принято допущение постоянства коэффициента заполнения D, фактически являющегося функцией времени. Строго говоря, при усреднении произведения двух функций

$$\langle f(t) \times D(t) \rangle \neq \langle f(t) \rangle \times \langle D(t) \rangle,$$

что является причиной некоторой погрешности при вычислении коэффициента заполнения. Однако когда коэффициент заполнения является медленной функцией времени по сравнению с периодом коммутации, это не приводит к существенной погрешности.

Объединив выражения (14)—(19), непрерывную модель силовой части преобразователя SEPIC можно представить в виде эквивалентной схемы показанной на рис. 15.

В основном она соответствует результатам, полученным в [11] на основе модели коммутируемой индуктивности, за исключением того, что проходной конденсатор заменен источником постоянного напряжения величиной  $V_{in}$ . На этом же рисунке представлена рассмотренная ранее импульсная модель, а также тестовые воздействия в виде скачкообразных изменений тока нагрузки (дополнительные нагрузки, подключаемые параллельно основному  $R_o$ ,  $R_{o1}$  посредством ключей S1, S2).

По сравнению с рассмотренным ранее расчетом для установившегося режима, представленная модель корректно описывает как стационарные, так и переходные процессы, при которых не выполняются правила вольт-секундного баланса и баланса заряда.

На рис. 16 показаны графики изменения выходного напряжения при скачкообразном изменении тока нагрузки

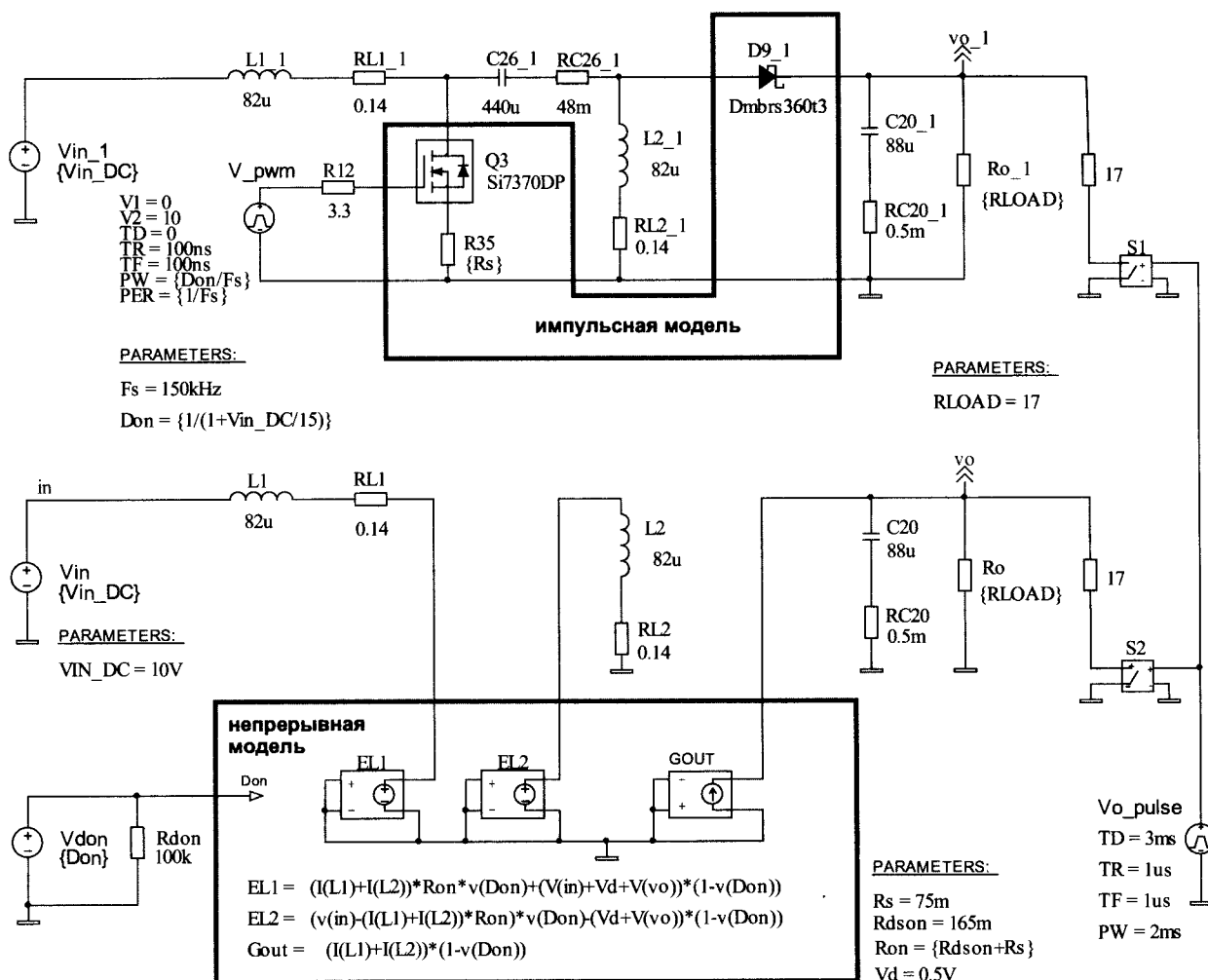


Рис. 15

соответственно для импульсной  $V(vo\_1)$  и непрерывной  $V(vo)$  моделей (нижний график — в увеличенном масштабе).

Из графиков на рис. 16 видно, что выходное напряжение непрерывной модели совпадает с импульсной моделью с точностью до некоторой постоянной величины, что

обусловлено описанной выше погрешностью вычисления коэффициента заполнения. При этом переходные процессы для импульсной и непрерывной моделей практически идентичны, что позволяет использовать представленную непрерывную модель для анализа динамических характеристик преобразователя.

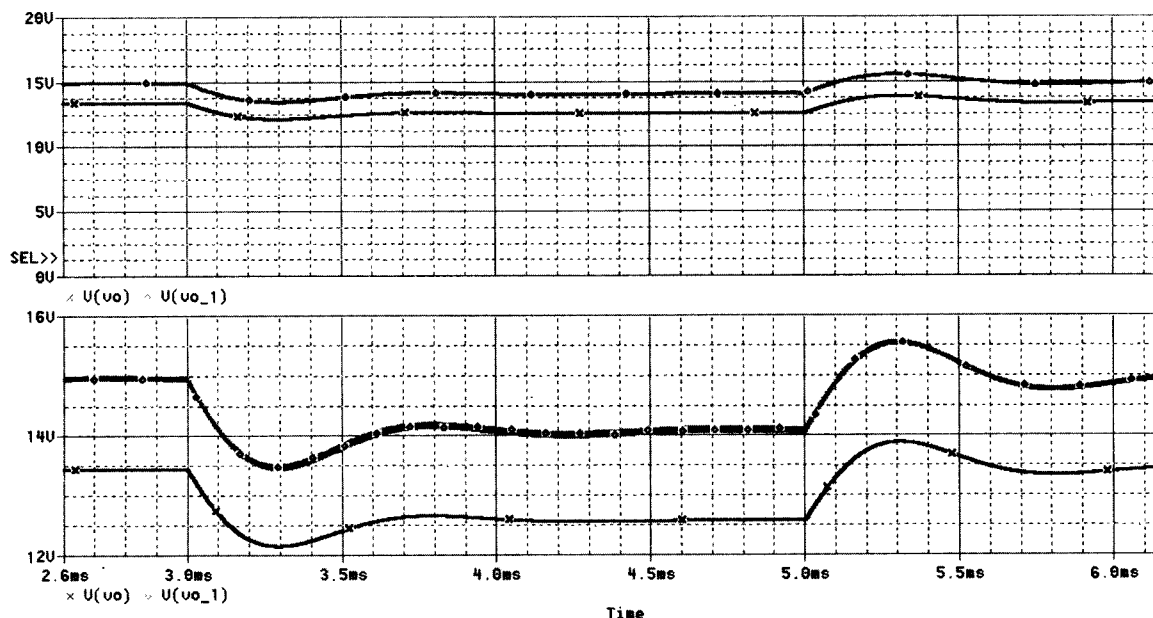


Рис. 16



## МОДЕЛЬ КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ

### Усилитель ошибки

Усилитель ошибки UCC3807 согласно описанию представляет собой операционный усилитель (ОУ) с коэффициентом усиления на постоянном токе 80 дБ и частотой единичного усиления 2 МГц. Упрощенная модель усилителя ошибки показана на рис. 17.

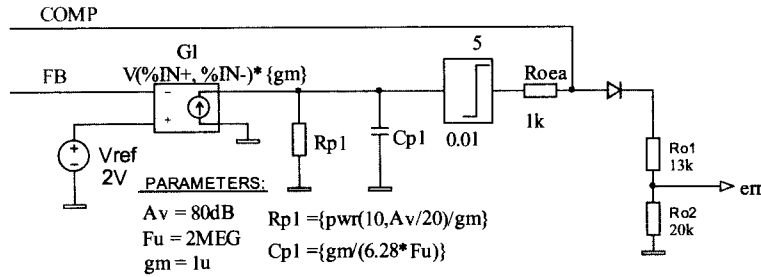


Рис. 17

Управляемый источник тока G1 преобразует разность входных напряжений в выходной ток, что является типичным входным каскадом ОУ широкого применения. Инвертирующий вход G1 является входом усилителя

ошибки FB, а к неинвертирующему входу подключен внутренний источник опорного напряжения VREF. Резистор RP1 определяет коэффициент усиления ОУ и совместно с конденсатором CP1 формирует заданную частотную характеристику (полос) ОУ:

$$A_v = g_m \times R_{p1}, \quad (20)$$

$$F_u = A_v \frac{1}{2\pi \times R_{p1} \times C_{p1}}, \quad (21)$$

где  $A_v$  — коэффициент передачи ОУ по напряжению (справочное значение);  $g_m$  — коэффициент передачи G1 (произвольная величина);  $F_u$  — частота единичного усиления ОУ (справочное значение).

Для удобства использования выражения (20), (21) преобразованы так, чтобы номиналы резистора RP1 и конденсатора CP1 определялись в терминах коэффициента усиления AV (дБ) и частоты единичного усиления FU (Гц), взятых из технического описания микросхемы:

$$R_{p1} = \{pwr(10, Av/20)/gm\},$$

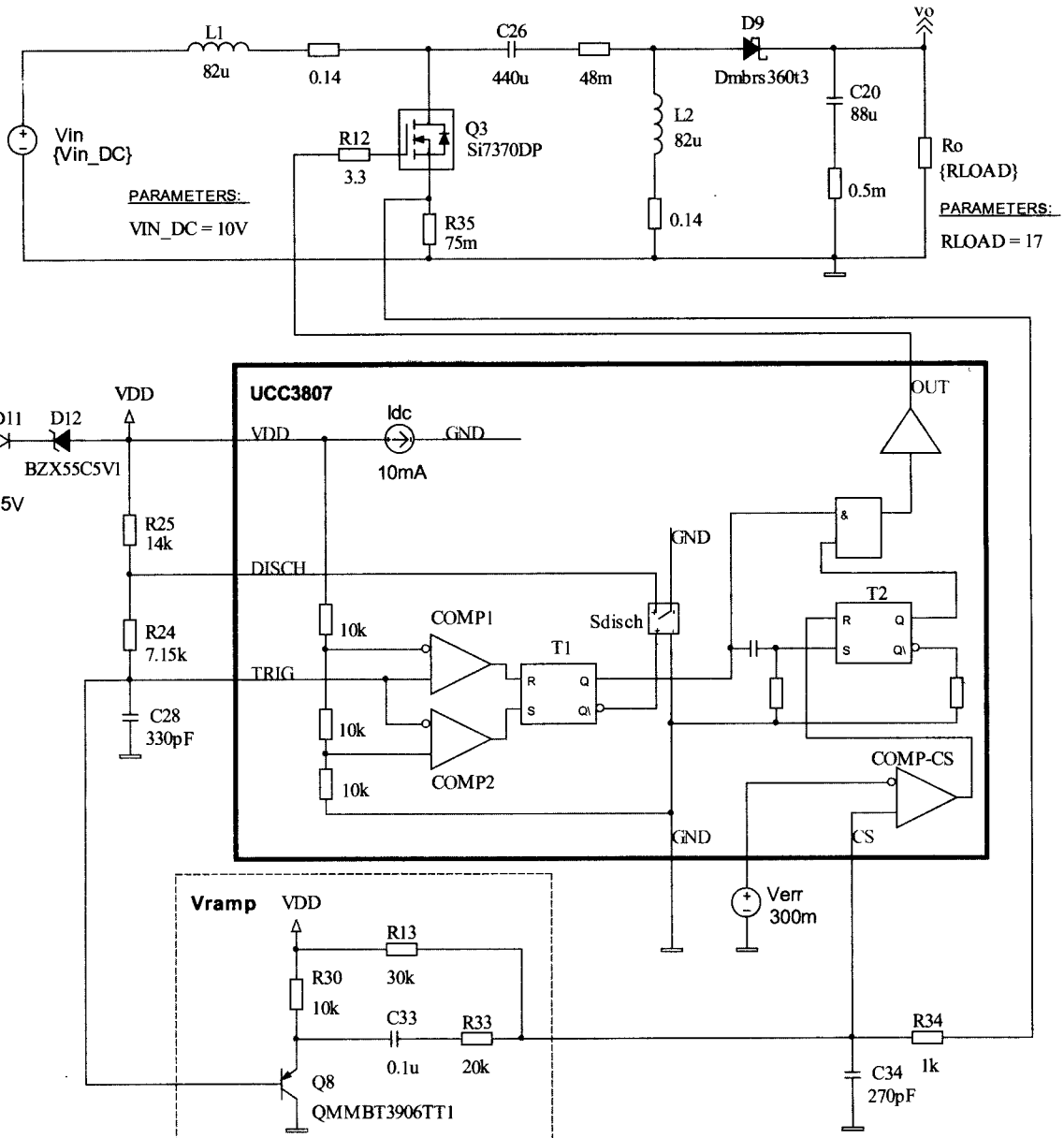


Рис. 18

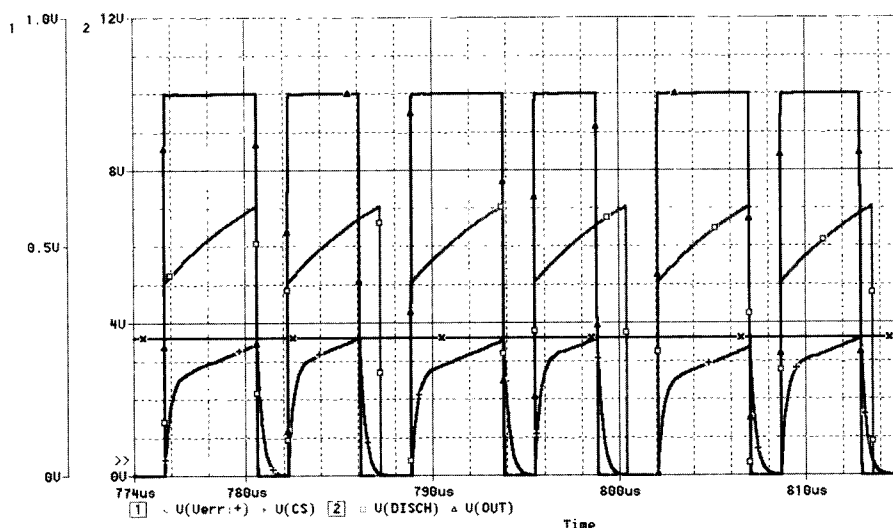


Рис. 19

$$Cp1 = \{gm/(6.28 \times Fu)\},$$

Выражение `pwg()` в программе PSpice вычисляет степенную функцию.

Во второй каскад ОУ входит ограничитель напряжения, задающий максимальное выходное напряжение ОУ (5 В), и резистор ROEA, ограничивающий максимальный выходной ток ОУ величиной 5 мА.

Через делитель напряжения Ro1Ro2 выходной сигнал ОУ поступает на вход компаратора с ослаблением в 1,65 раза, что в техническом описании микросхемы обозначено, как «коэффициент усиления по току» (параметр Gain в разделе Current Sense Section).

## Тактовый генератор и компаратор тока

На рис. 18 показана модель преобразователя, включающая тактовый генератор и компаратор тока микросхемы UCC3807.

В целом эта модель соответствует структурной схеме, приведенной в описании микросхемы, за исключением некоторых второстепенных узлов, не влияющих на основной режим работы микросхемы.

В данном примере напряжение питания микросхемы VDD формируется из выходного напряжения за вычетом падения напряжения на диоде VD11 и стабилитроне VD12. На представленной схеме выходное напряжение задано источником постоянного напряжения 15 В. Источник тока IDC моделирует ток, потребляемый микросхемой в рабочем режиме.

Тактовый генератор образуют компараторы COMP1, COMP2, RS-триггер T1 и ключ Sdisch. Резистивный делитель, подключенный к входам COMP1 и COMP2, определяет размах пилообразного напряжения на выводе TRIG, равное 1/3 напряжения питания VDD.

Тактовый сигнал с выхода Q триггера T1 устанавливает в единичное состояние триггер T2 и посредством элемента «И» на выходе OUT устанавливается лог. 1. При достижении напряжением на входе CS уровня, превышающего выходное напряжение усилителя ошибки VERR, компаратор COMP-CS сбрасывает триггер T2 и на выводе OUT устанавливается лог. 0. Выходное напряжение усилителя

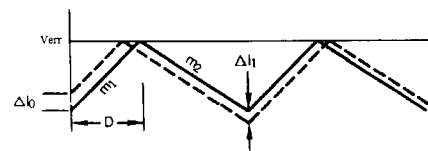


Рис. 20

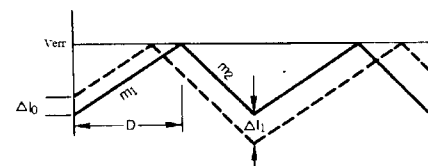


Рис. 21

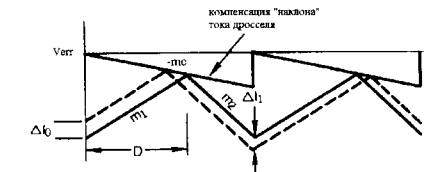


Рис. 22

ошибки моделируется источником постоянного напряжения VERR.

Рассмотрим вначале работу схемы без цепи подачи дополнительного пилообразного сигнала VRAMP, обведенной на схеме пунктиром. На рис. 19 показаны графики, полученные в результате моделирования представленной схемы — тактового сигнала V(DISCH), напряжения на входе датчика тока V(CS) и выходного сигнала V(OUT).

Из графиков видно, что несмотря на постоянный уровень напряжения VERR коэффициент заполнения изменяется хаотично от цикла к циклу.

Причину нестабильности работы преобразователей с управлением по пиковому току дросселя при коэффициенте заполнения  $D > 0,5$  иллюстрируют рис. 20 ( $D < 0,5$ ) и 21 ( $D > 0,5$ ), где  $m1$  обозначает скорость нарастания тока дросселя,  $m2$  — скорость спада, а VERR — выходное напряжение усилителя ошибки [17].

При коэффициенте заполнения  $D > 0,5$  (рис. 21) флуктуации тока в последующем цикле  $\Delta I1$  увеличиваются по сравнению с предыдущим циклом  $\Delta I0$ , что приводит к изменению коэффициента заполнения.

Решение этой проблемы заключается в добавлении пилообразного сигнала с отрицательным наклоном  $-m3$  к выходному напряжению усилителя ошибки, как показано на рис. 22, либо с положительным наклоном к сигналу, снимаемому с датчика тока, что реализовано в данном случае.

Окончание следует

## ЛИТЕРАТУРА:

10. В. В. Фриск. Основы теории цепей. — М.: РадиоСофт, 2002.
11. S. Ben-Yaakov, D. Adar, G. Rahav. A SPICE compatible model of SEPIC converters. — IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC-96, 1668—1674, Bovenno, 1996. — <http://www.ee.bgu.ac.il/~pel/public.htm>.

Вячеслав Морозов,  
г. Ростов-на-Дону

# Обнаружение узких мест трасс передачи данных в компьютерной сети и оценка их пропускной способности

*Для организации эффективной работы компьютерной сети маршрутизаторам и иным устройствам необходимы сведения о топологии, скоростях передачи данных между узлами, задержках распространения сигнала и т. п. Эти сведения позволяют выбирать оптимальные пути передачи пакетов данных и по возможности предотвращать возникновение «транспортных пробок». В данной статье рассмотрен способ обнаружения узких мест трасс передачи данных по сети [1] и показано, как оценивать их пропускную способность.*

Идея, в сущности, проста — первый (тестирующий) узел сети посылает по некоторой ранее проложенной трассе группу информационных пакетов и ожидает ее возврата от второго (удаленного от первого) узла. Сопоставляя темп выдачи пакетов с темпом их возврата, первый узел сети оценивает пропускную способность трассы подобно тому, как с помощью радара определяют скорость автомобиля, сравнивая частоты переданного и отраженного сигналов.

Чтобы пояснить постановку задачи, рассмотрим фрагмент глобальной компьютерной сети, содержащий две локальные сети — А и В, соединенные через маршрутизаторы R1 и R2 линией связи L1—L3 (рис. 1).

Линии L4—L6 соединяют данный фрагмент с узлами глобальной сети (на рисунке не показаны).

В локальной сети Ethernet А (В) пакеты данных передаются между ее компонентами, а также по линии L1 (L3) с мгновенной скоростью 10 Мбит/с. Средняя скорость передачи данных по линии L1 (L3) снижается по мере увеличения пауз между транслируемыми по ней пакетами. Пакеты могут содержать разное число байтов и следовать друг за другом с паузами большей или меньшей длины.

Скорость передачи потоков данных между некоторыми элементами сетей А и В, например, по трассе «сервер S1 — линия связи L1 — маршрутизатор R1 — линия связи L2 — маршрутизатор R2 — линия связи L3 — станция S2», ограничена пропускной способностью линии L2 типа T1 (T1 — стандарт, предусматривающий передачу

данных со скоростью 1,54 Мбит/с). С учетом возможного присутствия в линии L2 других потоков, передаваемых по иным трассам, включающим линию L2, фактическая скорость передачи данных между сервером S1 и станцией S2 становится еще меньше.

Таким образом, трасса передачи пакетов (рис. 1) содержит узкое место — сравнительно «медленную» линию L2.

Задача состоит в том, чтобы с помощью пары устройств, размещенных в начале и конце выбранной трассы, провести эксперимент, по результатам

которого можно определить, имеется ли на трассе узкое место и если да, какова его пропускная способность. В качестве упомянутой пары устройств в данном случае используются сервер S1 и станция S2.

В общих чертах задача решается следующим образом. Сервер S1 посылает станции S2 группу из нескольких (десяти или более) пакетов, а станция S2 принимает, проверяет их и немедленно отправляет обратно к серверу. Если бы пропускная способность всех звеньев трассы была достаточно высокой, посланные пакеты возвращались бы к серверу в среднем с тем же темпом, что и при выдаче из него. Однако из-за наличия узкого места (низкоскоростной линии L2) при достаточно высокой скорости передачи пакетов они возвращаются к серверу с увеличенным периодом следования. Сопоставляя средние периоды следования исходящих и вернувшихся пакетов, сервер обнаруживает наличие узкого места на трассе и оценивает его пропускную способность.

Местоположение узкого места может быть установлено после проведения ряда подобных экспериментов с прослеживанием разных трасс, имеющих общие звенья.

Чтобы разобраться в деталях предлагаемой идеи [1], рассмотрим более подробную схему выбранной трассы (рис. 2).

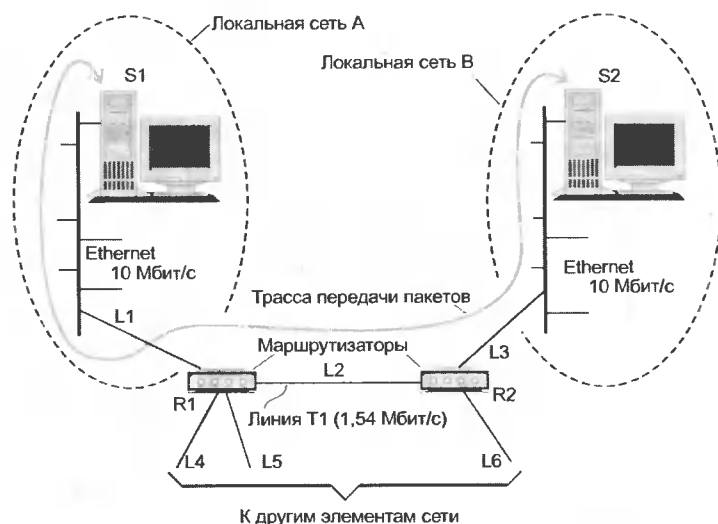


Рис. 1

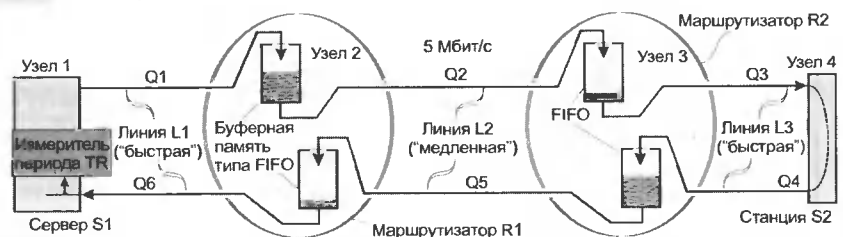


Рис. 2

В этой схеме не учитываются потоки данных, не имеющие отношения к проводимым экспериментам. Для удобства сравнения временных диаграмм продвижения пакетов по трассе в разных режимах (рис. 3) мгновенные скорости передачи данных сервером S1 выбраны кратными мгновенной скорости передачи данных по «медленной» линии L2.

В свою очередь, эта скорость для удобства численных оценок выбрана равной 5 Мбит/с. Наконец, чтобы упростить описание, предположим, что формат передаваемых пакетов остается неизменным на всей трассе.

Рассмотрим работу системы в разных скоростных режимах. На рис. 3 приведены временные диаграммы передачи пакетов при различных соотношениях пропускной способности звеньев трассы их распространения.

Предположим, что узел 1 (сервер S1) формирует группу из 10 одинаковых пакетов, разделенных паузами (рис. 3, а).

Пакеты на диаграммах показаны в виде импульсов, заполненных серым фоном. Пакет может содержать, например, 64 байта. Каждый период TS выдачи пакета сервером S1 в поток Q1 условно разделен на три части. В течение первой трети этого периода в линию L1 выдается сигнал, в котором закодированы биты пакета. Скорость передачи битов соответствует номинальной и составляет 10 Мбит/с. В оставшиеся две трети периода TS данные не передаются. Сервер S1, зная скорость выдачи битов в линию L1 и длину пакета, вычисляет длительность TP его передачи и период повторения TS.

Паузы между пакетами показаны на диаграмме нулевым уровнем сигнала, хотя в действительности они заполняются флаговыми кодами [2]. Наличие пауз приводит к тому, что средняя скорость передачи данных по линии L1 равна 1/3 номинальной скорости или примерно 3,33 Мбит/с.

Узел 2 (маршрутизатор R1) последовательно принимает пакеты в буферную память типа FIFO. Эта память работает по принципу «первый вошедший первым обслужен». Каждый пакет проверяется и незамедлительно передается в линию L2 (рис. 3, а, диаграмма потока Q2). Накопления пакетов в буферной памяти не происходит, т. к. средняя скорость поступления данных (3,33 Мбит/с) не превышает мгновенной скорости рассасывания данных из буферной памяти по линии L2 (5 Мбит/с).

Длительность передачи пакета по линии L2 в два раза превышает длительность его передачи по линии L1, т. к. соответствующие скорости различаются вдвое. Тем не менее, между пакетами потока Q2 остаются паузы длиной, равной трети периода TS. Средняя скорость передачи данных по линии L2 равна  $5 \times 2/3 \approx 3,33$  Мбит/с и в точности совпадает со средней скоростью передачи данных по линии L1.

Пакеты потока данных Q2 последовательно проходят через буферную память узла 3 (маршрутизатора R2), проверяются им и выдаются в линию L3 со скоростью 10 Мбит/с (рис. 3, а, диаграмма потока Q3). Длительность выдаваемых пакетов уменьшена в два раза по сравнению с длительностью пакетов потока Q2 из-за удвоения скорости передачи.

Пакеты потока Q3 принимаются узлом 4 (станция S2), проверяются и возвращаются в линию L3 (рис. 3, а, диаграмма потока Q4). Дальнейшее преобразование потока Q4 в поток Q6 происходит аналогично преобразованию потока Q1 в поток Q3. Сервер S1 принимает вернувшиеся пакеты, при этом измеряет и усредняет периоды TR их следования. В данном случае  $TS = TR$ , т. е. периоды следования пакетов в отправляемом и прибывающем в сервер S1 потоках одинаковы. Иными словами, при средней скорости передачи данных, равной примерно 3,33 Мбит/с, исследуемая трасса не содержит узких мест, где могли бы образовываться «транспортные пробки».

Тот же результат (совпадение периодов, отсутствие узких мест) можно получить при уменьшении пауз между пакетами потока Q1 в два раза (рис. 3, б), т. е. при увеличении средней скорости этого потока до грани насыщения линии L2. В данном случае средняя скорость потока Q1 равна 5 Мбит/с и точно соответствует пропускной способности линии L2. Как и ранее (рис. 3, а), пакеты данных по

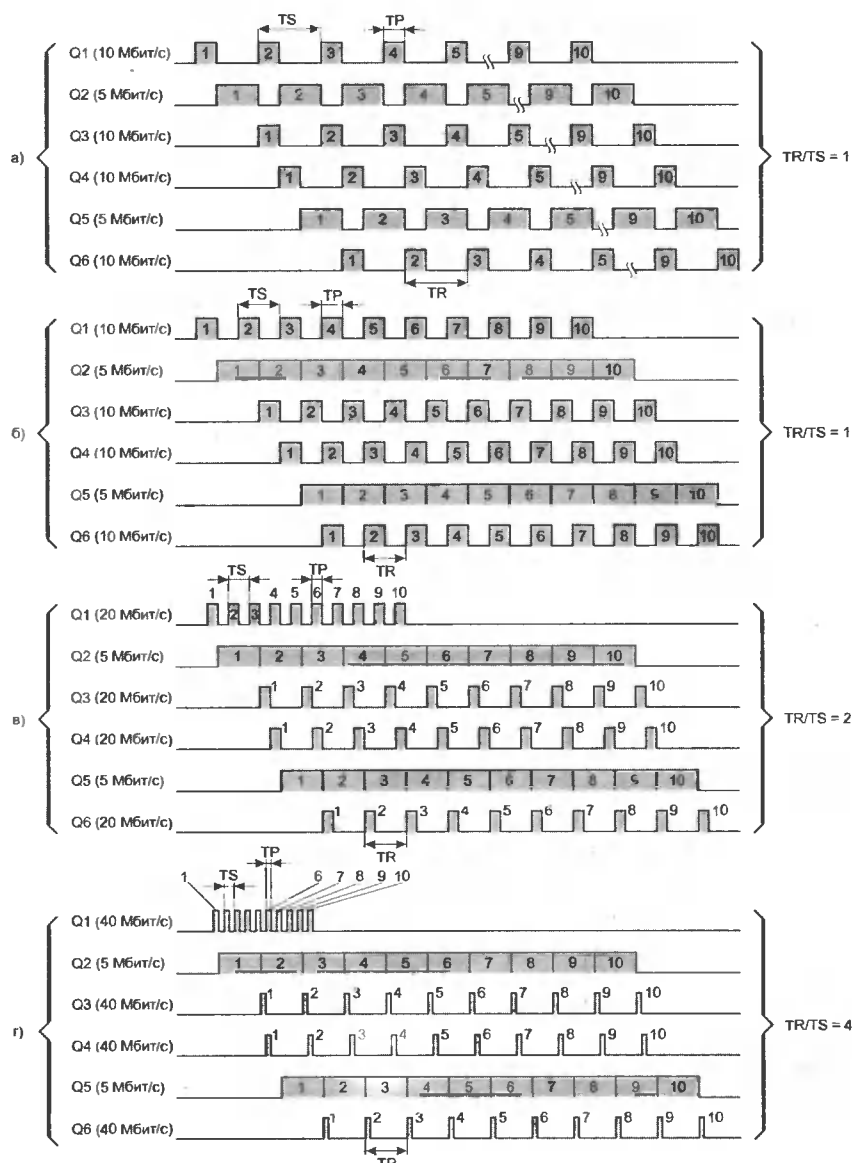


Рис. 3



мере их поступления из линии L1 проверяются маршрутизатором R1 и незамедлительно передаются в линию L2.

В отличие от кодовой ситуации, показанной на рис. 3, а, в потоке Q2 паузы между пакетами уменьшены до нуля. В потоке Q3 пакеты разделены паузами, т. к. скорость передачи данных по линии L3 вдвое превышает скорость передачи данных по линии L2. На обратном пути, так же как и на прямом, пакеты «растягиваются» во времени при прохождении по линии L2. В данном случае  $TS = TR$ , поэтому сервер S1 делает вывод о том, что транспортные пробки отсутствуют, хотя, как следует из диаграмм, пропускная способность линии L2 полностью исчерпана.

В кодовой ситуации, показанной на рис. 3, в, скорость передачи данных по линии L1 повышена до 20 Мбит/с. Маршрутизатор R1 не успевает выдавать в линию L2 пакеты с темпом их поступления из линии L1, поэтому в его буферной памяти накапливаются переданные пакеты. Так, к началу выдачи в линию L2 пакета 5 в буферной памяти маршрутизатора R1 помимо этого пакета ожидают выдачи пакеты 6—9. После выдачи пакета 10 буферная память освобождается.

Как следует из диаграмм, приведенных на рис. 3, в, маршрутизатор R1 «навязывает» всему оставшемуся пути (прямому и обратному) медленный темп передачи пакетов, определяемый периодом TR.

В данном случае сервер S1 обнаруживает, что  $TS < TR$ . Это служит сигналом о том, что на трассе распространения пачки пакетов возникла «транспортная пробка», скорость продвижения по которой меньше средней скорости потока Q1 (10 Мбит/с). Для определения пропускной способности узкого места трассы остается сопоставить время прохождения через него одного пакета (это время совпадает с интервалом TR) с длительностью TP выдачи одного

пакета в линию L1. В данном случае  $TR/TP = 4$ , т. е. пропускная способность узкого места трассы в четыре раза ниже пропускной способности линии L1 и равна  $20/4 = 5$  Мбит/с.

На рис. 3, г показаны временные диаграммы, соответствующие восьмикратному замедлению скорости передачи пакетов в узком месте трассы ( $TR/TP = 8$ ). Сервер S1, зная значения TR и TP, вычисляет пропускную способность узкого места трассы —  $40/8 = 5$  Мбит/с.

Описанные транспортные ситуации позволяют сформулировать общий алгоритм определения пропускной способности выбранной трассы. Он состоит из следующих шагов.

- 1) Тестирующее устройство (сервер S1) прокладывает в сети интересующую его трассу и переводит удаленное устройство (станцию S2) в режим возврата пакетов данных.
- 2) Тестирующее устройство вычисляет значения интервалов TS и TP и посылает по трассе пачку пакетов, разделенных паузами.
- 3) Тестирующее устройство принимает вернувшиеся пакеты, при этом измеряет и усредняет периоды TR их следования.
- 4) Если  $TR \approx TS$ , узких мест на трассе нет, и тестирующее устройство повторяет выдачу пачек пакетов, последовательно уменьшая паузы между пакетами. Если паузы уменьшены до нуля, а условие  $TR \approx TS$  по-прежнему выполняется, на этом эксперимент завершается констатацией факта, что трасса позволяет передавать данные на максимальной скорости, которую может развить тестирующее устройство. Если с повышением скорости передачи данных тестирующим устройством обнаруживается выполнение условия  $TS < TR$ , это означает, что узкое место обнаружено. Его пропускная

способность равна мгновенной скорости передачи данных тестирующим устройством, деленной на отношение  $TR/TP$ .

Измерения проводятся многократно с усреднением результатов.

Ранее предполагалось, что определение пропускной способности выбранной трассы распространения пакетов выполнялось в отсутствие мешающих потоков, не имеющих отношения к проводимому эксперименту. Если такие потоки имеются, полученная оценка пропускной способности трассы окажется заниженной. Для повышения достоверности результатов проводятся серии измерений и набираются статистические данные о «поведении» трассы. Например, прослеживается зависимость ее пропускной способности от времени суток и т. п.

Итак, подведем итоги. Мы рассмотрели простой способ обнаружения узких мест в трассах распространения пакетов данных по компьютерной сети. Способ основан на проведении эксперимента, в ходе которого тестовые пакеты передаются по выбранной трассе и незамедлительно возвращаются обратно. Узкие места выявляются сопоставлением темпа выдачи исходных пакетов с темпом их приема при возврате. По результатам эксперимента вычисляется пропускная способность выбранной трассы.

Литература

1. Патент США № 6.741.568 B1. — <http://www.uspto.gov>.
2. С. М. Сухман, А. В. Бернов, Б. В. Шевкопляс. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. — М.: Эко-Трендз, 2003. Электронная версия книги — [http://lit.lib.ru/s/shewkopljaj\\_b\\_w/](http://lit.lib.ru/s/shewkopljaj_b_w/).

Борис Шевкопляс,  
г. Москва

Редакция журнала «Схемотехника» приглашает вас стать авторами статей для нашего журнала. Мы заинтересованы в размещении на наших страницах информации об оригинальных разработках, описаний конструкций с использованием новейших микросхем и программного обеспечения, а также материалов с новым нестандартным взглядом на существующие проблемы.

В нашем журнале публикуются материалы по различным направлениям радиоэлектроники. Описываются практические конструкции электронных устройств, работа с системами автоматизированного проектирования. Основная тематика журнала — Автоэлектроника, Измерительная техника, Источники питания, Основы схемотехники, Практика, Цифровая техника, Связь и сетевые технологии, Софт, Технологии.

В случае публикации редакция выплачивает авторам достойные гонорары.

Надеемся, что наше сотрудничество будет плодотворным и взаимовыгодным.

Ваши статьи можно переслать по e-mail [editor@dian.ru](mailto:editor@dian.ru).

Правила оформления статей находятся на сайте журнала [www.dian.ru](http://www.dian.ru).

# Влияние длинных линий передачи на быстродействующие микросхемы КМОП

*В отличие от маломощных микросхем КМОП с металлическим затвором быстродействующие ИМС серий 54НС/74НС пригодны для работы на длинных линиях. Эти микросхемы обладают традиционно высокой помехоустойчивостью, но работа с длинными линиями имеет свою специфику, которую надо учитывать. В данной статье рассмотрены некоторые аспекты данной проблемы.*

При работе с микросхемами серий 54НС/74НС семейства КМОП необходимо учитывать время нарастания, спада и задержки распространения сигнала, а также реакцию линии передачи при управлении линиями длиной даже несколько десятков сантиметров независимо от вида линии (коаксиальный кабель, витая пара или кабельная укладка). Кроме того, малое время нарастания и спада сигнала для этих серий увеличивает вероятность перекрестной помехи между соседними кабелями.

Несмотря на необходимость принятия мер предосторожности, которые минимизируют побочные эффекты, связанные с высокоскоростной работой, микросхемы серий 54НС/74НС в отличие от более медленных микросхем серий КМОП с металлическими затворами обладают многими свойствами, которые делают их пригодными для управления линиями передачи. К примеру, фиксированные логические уровни обеспечивают симметрич-

ные двухтактные выходы, а высокая нагрузочная способность — большой поток данных.

Другое преимущество конструкций с применением быстродействующих микросхем КМОП заключается в относительной простоте по сравнению с другими быстродействующими семействами микросхем. Быстродействующие микросхемы КМОП не требуют детального внимания к топологии печатных плат и характеристикам линии передач в отличие от конструкций на микросхемах ТТЛШ и ЭСЛ. Кроме того, для них проще осуществить управление нежелательными отражениями, потому что диоды электростатической защиты в микросхемах серий 54НС/74НС ограничивают отраженные всплески напряжения до уровней напряжения источника питания.

Эффекты линии передачи принимаются во внимание, когда длина сигнальной линии велика настолько, что задержка сигнала вдоль линии

и обратно становится больше, чем времена нарастания и спада сигнала. Несоответствие между импедансом линии и выходным импедансом драйвера, либо входным импедансом приемника создают отражения в сигнальной линии. Эти отражения создают колебания уровня сигнала, которые могут уменьшить запас помехоустойчивости и ввести чрезмерную задержку сигнала. На рис. 1 показаны различные носители данных, а также их импеданс.

Время нарастания и спада для микросхем серий 54НС/74НС может быть меньше 5 нс, а эффекты линий передач могут стать заметными, когда длина линии превышает несколько десятков сантиметров. Длина сигнальной линии, при которой звон в линии передачи следует рассматривать, определяется выражением:

$$\text{Максимальная длина линии} = \frac{\text{время спада/время нарастания}}{2(\text{задержка на единицу длины})}$$

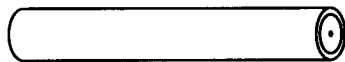
Задержка сигнала на единицу длины линии ( $t_{PD}$ ) зависит от импеданса линии и нагрузки на линии. Для типичной дорожки печатной платы с заземлением она составляет:

$$t_{PD} = 1,017 \sqrt{0,47 \epsilon_R + 0,67} \text{ нс/фут,}$$

где  $\epsilon_R$  — относительная диэлектрическая константа.

Нагрузка трассы входами другого логического элемента изменяет  $t_{PD}$ :

$$t_{PD}(\text{измененное}) = t_{PD} \sqrt{1 + \frac{C_{IN}}{C_O}}$$



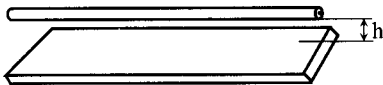
Коаксиальный кабель

$$Z_0 = 50, 75, 125 \text{ Ом}$$



Витая пара

$$Z_0 = 50 - 100 \text{ Ом}$$



Провод над "землей"

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_R}} \ln \left( \frac{4h}{d} \right)$$

Обычно:  $Z_0 = 50 - 100 \text{ Ом}$

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_R + 1,41}} \ln \left( \frac{5,98}{0,8w + t} \right)$$

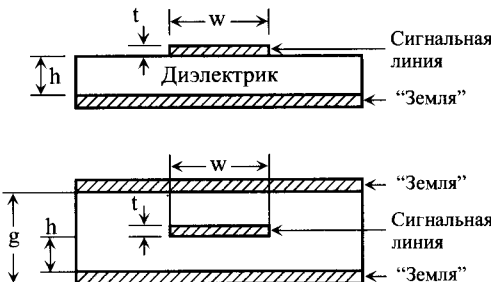
Обычно:  $Z_0 = 50 - 100 \text{ Ом}$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_R}} \ln \left[ \frac{4b}{0,67 \pi w (0,8 + \frac{t}{w})} \right]$$

$$\frac{w}{(b-t)} < 0,35; \quad t/b < 0,25$$

Обычно:  $Z_0 = 30 - 80 \text{ Ом}$

( $\epsilon_R$  - относительная диэлектрическая константа).



Микрополосковая линия

Полосковая линия

где  $C_{IN}$  — полная входная емкость, связанная с линией,  $C_0$  — емкость линии на единицу длины.

Если известны характеристики линии передачи, можно использовать эти выражения для определения времени прохождения сигнала вдоль линии. Это время обычно составляет 1,5 и 2,4 нс/фут для ненагруженной линии.

Кроме времени прохождения сигнала вдоль линии необходимо найти ее характеристический импеданс:

$$Z_0 = L_0/C_0,$$

где  $L_0$  и  $C_0$  — индуктивность и емкость проводника на единицу длины, соответственно.

Когда ИМС серии 54НС/74НС управляет линией передачи (рис. 2), выход драйвера подключается к эквивалентному импедансу линии.

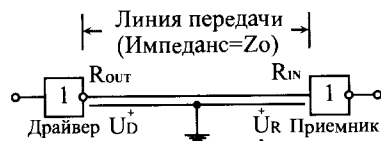


Рис. 2

При переключении выхода величина распространяющегося сигнала определяется делителем напряжения, создаваемого линией и выходным импедансом драйвера.

Если электрическая длина линии велика по сравнению с временем нарастания сигнала, несоответствие линии и входа элемента КМОП создает отражение, когда сигнал достигает другого конца линии. Усиление отраженного сигнала зависит от случайного значения напряжения ( $U_{INC}$ ) и коэффициента отражения ( $p$ ):

$$p = \frac{R_{IN} - Z_0}{R_{IN} + Z_0}.$$

Следовательно, отраженный сигнал вычисляется по формуле:

$$U_R = U_D(1+p).$$

Поскольку входной импеданс элементов серии 54НС/74НС велик по сравнению с импедансом линии ( $r = 1$ ), отраженное напряжение на приемнике удваивается. Этот отраженный сигнал распространяется обратно к драйверу, где генерируется еще одно отражение в зависимости от выходного импеданса драйвера. Типичные выходные импедансы приборов серии 54НС/74НС дают коэффициенты отражения в диапазоне  $-0,3 \dots -0,7$ .

Упрощенный анализ, основанный на предыдущих уравнениях, не позволяет принимать в расчет нелиней-

ность выходного импеданса элементов серии 54НС/74НС. Кроме того, входы элементов серии 54НС/74НС имеют защитные диоды, подключенные к источнику питания и общему проводу и ограничивающие отраженный сигнал, как только он превышает уровень напряжения источника питания.

Графическая методика позволяет преодолеть этот недостаток. На рис. 3 и 4 показаны входные и выходные характеристики для стандартных элементов серии 54НС/74НС и элементов с повышенной нагрузочной способностью при  $U_{CC} = 5$  В.

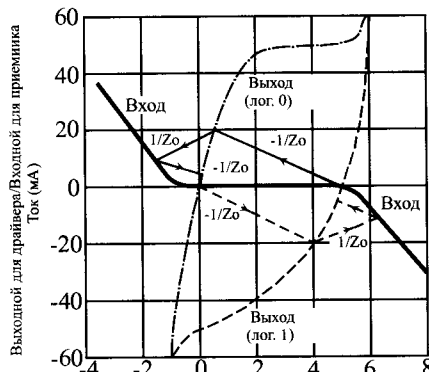


Рис. 3

Кривые на графиках учитывают эффект входных и выходных диодов, по ним можно приблизительно определить «звон» для различных импедансов линии, когда один элемент серии 54НС/74НС управляет другим.

Рассмотренный пример, основанный на переходе от лог. 1 к лог. 0 на линии сопротивлением 200 Ом, показывает, как использовать эти графики. Начиная в точке покоя (5 В, 0 А), на выходной кривой лог. 1 (рис. 3) нарисуем линию нагрузки с уклоном  $-1/Z_0$  до пересечения с выходной кривой лог. 0. Напряжение в точке пересечения — это начальное выходное напряжение, которое управляет линией после переключения от лог. 1 к лог. 0. Затем нарисуем линию с наклоном  $+1/Z_0$  до пересечения с входной кривой. Точка пересечения даст напряжение сигнала, включающее отражение, когда оно достигает приемника. Затем нарисуем еще одну линию обратно к выходной кривой лог. 0. Это пересечение показывает

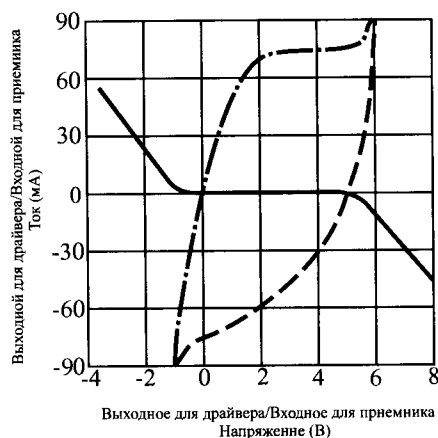


Рис. 4

напряжение на выходе драйвера, когда отражение возвращается. Процесс продолжается до тех пор, пока зигзагообразная линия нагрузки не сойдется в точке пересечения 0 В, 0 А.

На рис. 5 показана зависимость напряжения от задержки распространения.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com), AN-393.pdf. Fairchild Semiconductor Corporation.

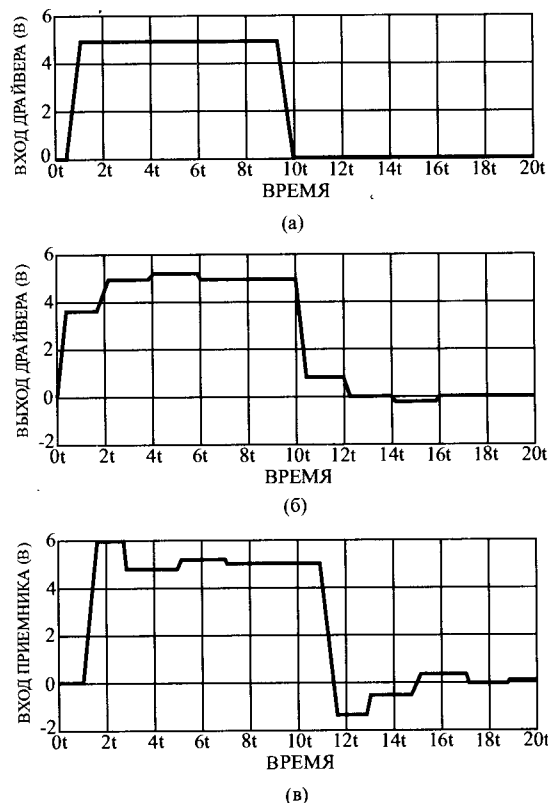


Рис. 5

Окончание следует

Константин Борисевич,  
г. Минск, Беларусь

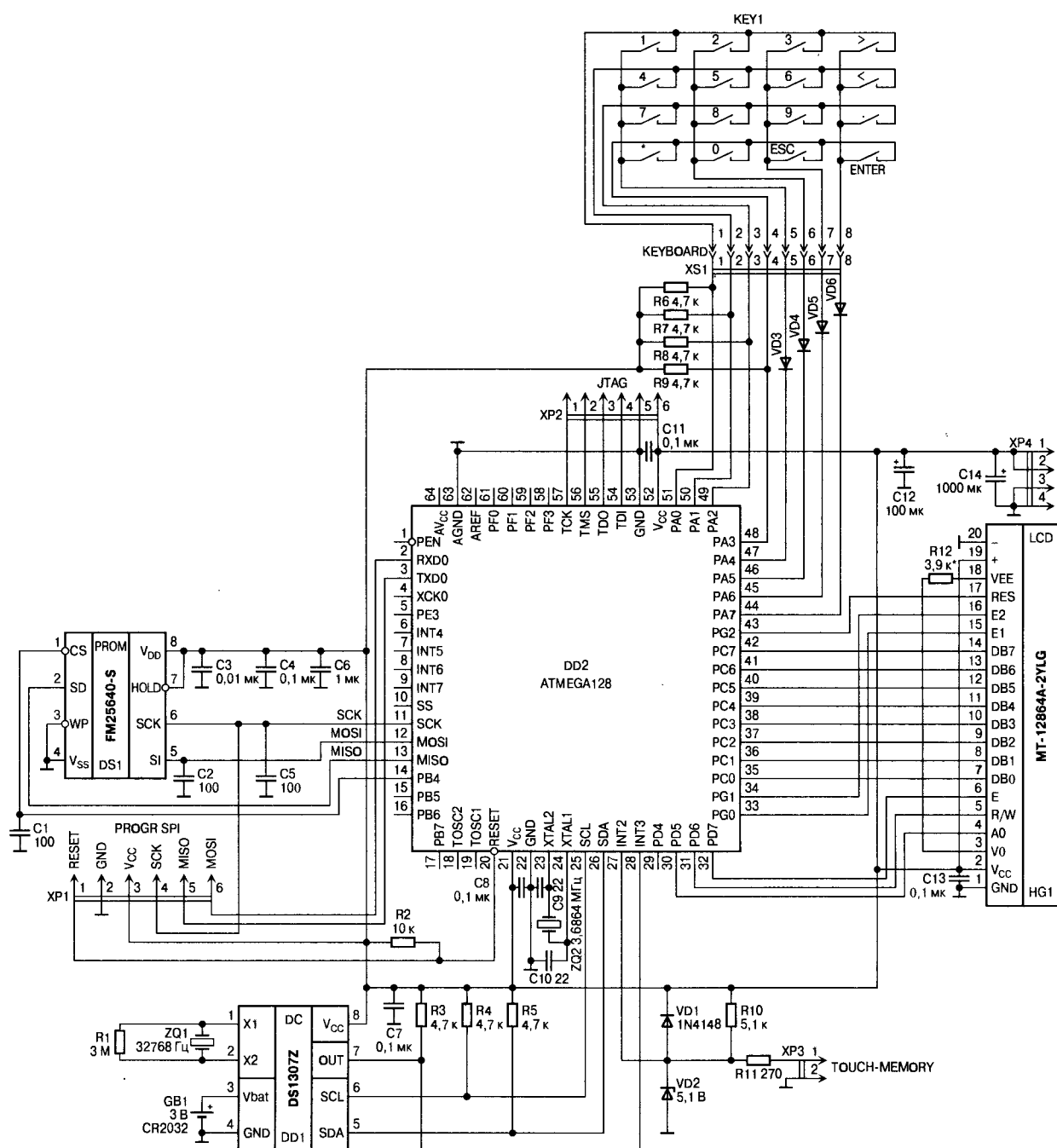
В статье приводится пример программирования контроллера на основе микроконтроллера фирмы Atmel ATMEGA128.

Контроллер управляется микроконтроллером ATMEGA128 и включает в себя графический ЖК-индикатор MT-12864A-2YLG, часы реального времени DS1307Z, энергонезависимую быстродействующую память FM25640-S и клавиатуру из 16-ти клавиш. Печатная плата для приведенного в статье варианта контроллера не разрабатывалась. Принципиальная схема контроллера представлена на рис. 1.

Для данного контроллера была написана тестовая программа на языке C в интегрированной среде разработки IAR Embedded Workbench for Atmel AVR 4.20A. Применялась демонстрационная версия среды раз-

работки с ограничением использования по времени в течение 30 дней. Для отладки тестовой программы применялся внутрисхемный эмулятор ATJTAGICE mkII («Марк 2»).

Управляющая контроллером программа выполняет следующие действия: после включения питания контроллера все пиксели индикатора становятся темными, тем самым проверяется работоспособность индикатора на отсутствие «битых» пикселей. Это изображение сохраняется на экране несколько секунд, затем происходит очистка всего экрана и выводится изображение картинки, записанной в памяти программ микроконтроллера в виде двумерного массива



(файл Picture\_data.c), которое также сохраняется на экране несколько секунд. Затем вновь происходит очистка всего экрана и в его верхней части появляется надпись: «Введите символ с клавиатуры», в середине слева виден курсор в виде темного треугольника, а в нижней части отображаются текущие дата и время. Теперь, нажав на клавиатуре клавишу с выбранным символом, можно увидеть его изображение на экране справа от курсора. Знакогенератор содержится в файле Simbol\_data.c, для каждого символа отведен массив из восьми байтов. Набранные с клавиатуры символы последовательно заполняют три строки индикатора. Так происходит при нажатии всех клавиш за исключением клавиши Enter. При нажатии клавиши Enter происходит очистка всего экрана и в верхней его части отображает меню из трех пунктов — «Дата», «Время», «Запись ключей». Выбор нужного пункта происходит перемещением треугольного курсора с помощью клавиш со стрелками и нажатием клавиши «Enter» осуществляется вход в выбранный пункт меню. Первые два пункта используются для установки даты, дня недели и времени соответственно. Выбор параметра для изменения производится клавишами со стрелками. Выбранный параметр отображается инверсно — светлыми точками на темном фоне. Нажатием клавиши с нужной цифрой производится изменение. Чтобы изменение вступило в силу, необходимо сделать ввод нажатием клавиши Enter.

Для выхода из пунктов меню служит клавиша Esc. Войдя в пункт «Запись ключей» можно увидеть еще два пункта — «Ключ № 1» и «Ключ № 2». При входе в эти пункты меню появляется сообщение «Коснитесь ключом № 1 (№ 2) контактора». После касания ключом iButton контактора произойдет запись ключа в энергонезависимую память FM25640-S и на экране ЖКИ появится надпись — «Ключ № 1 (№ 2) записан успешно». Нажав клавишу Esc, выходим из пункта меню «Ключ № 1» («Ключ № 2»), теперь можно проверить действие записанных ключей. При касании ключом iButton контактора экран ЖКИ очищается и в средней его части появляется надпись «Ключ № 1» («Ключ № 2»). Убрав ключ от контактора можно увидеть, что экран вновь очистился и появилась надпись: «Введите символ с клавиатуры».

ЖК индикатор MT-12864A-2YLG позволяет отображать 128×64 точки, причем все поле экрана разделено на две равные части по 64×64 точки и каждой частью экрана управляет свой контроллер. Для выбора нужного контроллера используются выводы E1, E2. Далее вся информация относится к каждому контроллеру. Индикатор содержит ОЗУ для хранения данных, выводимых на ЖКИ по 64×64 бит для каждого контроллера. Каждой светящейся точке соответствует лог. 1 в ячейке ОЗУ индикатора.

В файле functions\_LCD.c управляющей контроллером программы содержится исходный текст функции для записи одного байта в индикатор, причем перед вызовом функции необходимо задать использующиеся в ней переменные:

- data\_comm = 0 — для записи команды;
- data\_comm = A0 — для записи данных;
- left\_right = E1 — для записи в левую половину экрана индикатора;
- left\_right = E2 — для записи в правую половину;
- byte — байт команды или данных.

Сигнал LIGHT\_ON для включения светодиодной подсветки индикатора в данном контроллере не используется.

Исходный текст программы приведен ниже.

```
// шина управления
// PORTD
#define LIGHT_ON 0x10 // 0001 0000 включение под-
// светки
#define A0 0x20 // 0010 0000 запись данных
#define RD 0x40 // 0100 0000 чтение «1», запись «0»
#define E 0x80 // 1000 0000 строб разрешения чтения /
// записи

// PORTG
#define RES_ON 0 // 0000 0000 сброс контроллера индика-
// тора
#define RES_OFF 0x04 // 0000 0100
#define E1 1 // 0000 0001 выбор контроллера левой
// половины
#define E2 2 // 0000 0010 выбор контроллера правой
// половины

// команды ЖКИ
#define DISPLAY_ON 0x3F // 0011 1111
#define SET_PAGE 0xB8 // 1011 1000
#define SET_ADDRESS 0x40 // 0100 0000
#define START_LINE 0xC0 // 1100 0000
#include <ina90.h> // _WDR; __delay_cycles;

void write_byte(void)
{
    _WDR(); // сброс сторожевого таймера
    DDRC = 0; // настройка выводов порта C, подключенных к
    // шине
    // данных индикатора, на вход
    PORTC = 0xFF; // включение подтягивающих резисторов порта
    C
    PORTD = 0x50; // разрешение чтения из индикатора
    // и включение подсветки
    left_right |= RES_OFF;
    PORTG = left_right; // выбор контроллера индикатора
    __delay_cycles(2); // задержка длительностью в два
    // цикла
    PORTD |= E; // строб разрешения чтения / записи
    __delay_cycles(2); // задержка длительностью в два
    // цикла
    while (PINC & 0x80); // ожидание завершения внутренней
    // обработки
    // индикатора
    PORTD = 0x50; // завершение stroba разрешения чтения / за-
    // писи и
    // восстановим прежнее состояние шины управления
    // индикатором
    __delay_cycles(2); // задержка длительностью в два
    // цикла
    DDRC = 0xFF; // настройка выводов порта C, подключенных к
    // шине
    // данных индикатора, на выход
    data_comm |= LIGHT_ON; // включение подсветки индикатора
    PORTD = data_comm; // назначение записи команды или
    // данных
    PORTC = byte; // запись байта команды или данных
    __delay_cycles(2); // задержка длительностью в два
    // цикла
    PORTD |= E; // строб разрешения чтения / записи
    __delay_cycles(2); // задержка длительностью в два цикла
    PORTD = data_comm; // завершим строб разрешения чтения
    // записи и
    // восстановим прежнее состояние шины управления
    // индикатором
    __delay_cycles(2); // задержка длительностью в два
    // цикла
}
```

Программное обеспечение в авторском варианте находится на сайте редакции журнала по адресу [www.dian.ru](http://www.dian.ru).



Эту же функцию можно реализовать и на ассемблере, но при этом возникают ограничения при оптимизации программы. Функция на ассемблере транслируется при оптимизации для высокой скорости исполнения кода программы с ошибкой Internal Error «метки уже определены», если в меню Project>Options>C/C++ Compiler>Optimizations>Speed>High(Maximum optimization)>Enabled optimizations установлена галочка Function inlining. В этом случае компилятор для быстроты выполнения программы каждый раз в месте вызова функции подставляет ее код, поэтому появляются метки с одинаковыми именами.

```
void write_byte(byte, left_right, data_comm)
//в компиляторе IAR
//byte передается: LOW в r16, HIGH в r17
//left_right передается: LOW в r18, HIGH в r19
//data_comm передается: LOW в r20, HIGH в r21
{
asm(
    «wdr \n»
    «mov r25, r16 \n»
    «clr r16 \n»
    «out 0x14, r16\n»
    «ser r16 \n»
    «out 0x15, r16\n»
    «ldi r16, 0x50\n»// 0101 0000
    «out 0x12, r16\n»
    «ldi r16, 0x4 \n»// 0000 0100
    «or r16, r18 \n»
    «sts 0x65, r16\n»
    «ldi r28, 1 \n»
    «rcall pause \n»
    «ldi r16, 0xD0\n»// 1101 0000
    «out 0x12, r16 \n»
    «ldi r28, 1 \n»
    «rcall pause \n»
wait_busy: \n»
    «sbic 0x13, 7 \n»//ожидание готовности ЖКИ
    «rjmp wait_busy\n»
    «ldi r16, 0x50\n»// 0101 0000
    «out 0x12, r16\n»
    «ldi r28, 1 \n»
    «rcall pause \n»
    «ser r16 \n»
    «out 0x14, r16\n»
    «ldi r16, 0x10\n»// 0001 0000
    «or r16, r20 \n»
    «out 0x12, r16\n»
    «mov r16, r25 \n»
    «out 0x15, r16\n»
    «ldi r28, 1 \n»
    «rcall pause \n»
    «ldi r16, 0x90\n»// 1001 0000
    «or r16, r20 \n»
    «out 0x12, r16\n»
    «ldi r28, 1 \n»
    «rcall pause \n»
    «ldi r16, 0x10\n»// 0001 0000
    «or r16, r20 \n»
    «out 0x12, r16\n»
    «ldi r28, 1 \n»
    «rcall pause \n»
    «ret \n»
pause: \n»
d_d: \n»
    «wdr \n»
    «dec r28 \n»
    «brne d_d \n»
    «ret \n»);
}
```

женными в файле functions\_service.c, входящем в состав управляющей контроллером программы.

```
// запись сохраняемых данных из массива в м/с Ferroelectric
Nonvolatile RAM FM25640
void write_FM25640(unsigned char addr_H, unsigned char addr_L)
{
    static unsigned char a;

    _WDR();

    PORTB = CS_FM25640; // выбор FM25640
    __delay_cycles(1);
    SPDR = WREN; // 0000 0110 команда разрешения
записи в FM25640
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
    PORTB |= OFF_FM25640; // завершение команды раз-
решения записи в FM25640
    __delay_cycles(1);

    PORTB = CS_FM25640; // выбор FM25640
    __delay_cycles(1);
    SPDR = WRITE; // 0000 0010 команда записи в
FM25640
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
    SPDR = addr_H; // начальный адрес для
записи (старший бйт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
    SPDR = addr_L; // начальный адрес для записи
(младший бйт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйтов

    for (a = 0; a < 8; a++){
        SPDR = *p_b++; // очередной бйт, прочитанный из
массива
        // записывается в м/с FM25640
        while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
    }
    PORTB |= OFF_FM25640; // завершение команды за-
писи в FM25640
    __delay_cycles(1);
}

// чтение сохраненных данных в массив из м/с Ferroelectric
Nonvolatile RAM FM25640
void read_FM25640(unsigned char addr_H, unsigned char addr_L)
{
    static unsigned char a;

    _WDR();

    PORTB = CS_FM25640; // выбор FM25640
    __delay_cycles(1);
    SPDR = READ; // 0000 0011 команда чтения из
FM25640
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
    SPDR = addr_H; // начальный адрес для чтения
(старший бйт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
    SPDR = addr_L; // начальный адрес для чтения
(младший бйт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта

    for (a = 0; a < 8; a++){
        SPDR = 0x00;
        while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи бйта
        *p_b++ = SPDR; // бйт, прочитанный из м/с
FM25640,
        // записан в массив по адресу *p_b
    }
    PORTB |= OFF_FM25640; // завершение команды чте-
ния из FM25640
    __delay_cycles(1);
}
```

Запись и чтение ключей осуществляется функциями write\_FM25640 и read\_FM25640 соответственно, располо-

```
// данные, считанные с любого ключа при касании контактора
static unsigned char data_ROM[8];
static unsigned char tm_key_1[8]; // массив для данных ключа №1
static unsigned char tm_key_2[8]; // массив для данных ключа №2
unsigned char *p_b; // указатель на массив
```

Перед вызовом функций необходимо передать в них указатели на массивы и адрес размещения в памяти FM25640-S.

При записи ключей:

```
p_b = &data_ROM[0];
write_FM25640(0, 0);

p_b = &data_ROM[0];
write_FM25640(0, 10);
```

При чтении ключей:

```
p_b = &tm_key_1[0];
read_FM25640(0, 0);

p_b = &tm_key_2[0];
read_FM25640(0, 10);
```

Для проверки достоверности считывания данных с ключей iButton используется метод подсчета сигнатур при помощи функции calc\_CRC(void), расположенной в файле functions\_TM.c, входящем в состав управляющей контроллером программы.

```
// функция подсчета CRC
// вычисление сигнатуры CRC для 8 байтов информации с использованием полинома
//  $X^8 + X^5 + X^4 + 1$  и регистра сдвига crc с обратными связями через разряды 4, 5, 8.
// каждый очередной бит потока данных складывается по модулю 2 с битами обратной
// связи и результирующий бит вдвигается в регистр сдвига, что соответствует
// математической операции деления потока данных на полином  $X^8 + X^5 + X^4 + 1$ 

// для последовательности 0x01, 0x09, 0xC8, 0x26, 0x0B, 0x00, 0x00
// и соответственно для 0x01, 0x09, 0xC8, 0x26, 0x0B, 0x00, 0x00, 0x0F
// 0x01 - код семейства ключа iButton,
// 0x09, 0xC8, 0x26, 0x0B, 0x00, 0x00 - 48 битный серийный номер ключа
// 0x0F - сигнатура

// 0F 01 гравировка на
// 00000B26C809 корпусе ключа
```

```
calc_CRC(void)
{
    static unsigned char a, b, crc, byte_crc, temp_crc;

    crc = 0; // очистка байта сигнатуры
    for (b = 0; b < 8; b++){ // необходимо проверить 8 байтов
        byte_crc = data_ROM[b]; // очередной байт, считанный из ПЗУ ключа
        for (a = 0; a < 8; a++){ // необходимо сделать восемь побитовых сдвигов байта
            temp_crc = byte_crc;
            temp_crc ^= crc;
```

```
if (temp_crc & 0x01){ // если младший бит равен логической единице
    crc ^= 0x18; // для полинома  $X^8 + X^5 + X^4 + 1$ 
    crc >>= 1; // сдвиг байта сигнатуры вправо на один бит
    crc |= 0x80; // в старший бит записывается логическая единица
}
else
    crc >>= 1;
    byte_crc >>= 1; // сдвиг байта из ПЗУ ключа вправо на один бит
}
}
return crc;
}
```

Конечно, данные ключей iButton лучше записать в EEPROM микроконтроллера ATMEGA128. Все описанное выше для примера программирования FM25640-S.

Для записи ключей iButton в EEPROM и последующего чтения можно использовать следующие функции:

```
#include <ina90.h> // _EEPUT(ADR, VALoad); _
EEGET(VARead, ADR); _WDR;

// адрес размещения ключа №1 в EEPROM
#define EE_AAD_KEY_1 0x0010

// данные, считанные с любого ключа при касании контактора
static unsigned char data_ROM[8];

static unsigned char tm_key_1[8]; // массив для данных ключа №1

void write_TM_key_1(void)
{
    static unsigned char a;
    for (a = 0; a < 8; a++){
        _WDR();
        _EEPUT(EE_AAD_KEY_1 + a, data_ROM[a]);
    }
}

void read_TM_key_1(void)
{
    static unsigned char a;
    for (a = 0; a < 8; a++){
        _WDR();
        _EEGET(tm_key_1[a], EE_AAD_KEY_1 + a);
    }
}
```

Память FM25640-S подходит для частой записи и сохранения быстро меняющейся информации, поскольку выдерживает 10 миллиардов циклов чтения/записи. Запись в нее происходит без задержки, ее максимальная тактовая частота последовательной шины — до 5 МГц. Поскольку иногда приходится сохранять данные разных типов, то перед записью в FM25640-S их лучше скомпоновать в структуру вида:

```
// структура данных для записи/чтения м/с Ferroelectric
Nonvolatile RAM FM25640
struct save
{
    float
        summ_1,
        summ_2,
        summ_3,
        reserve_1,
        reserve_2,
        reserve_3,
```



```

        reserve_max_1,
        reserve_max_2,
        reserve_max_3,
        proportion_1,
        proportion_2,
        proportion_3,
        summ_max_1,
        summ_max_2,
        summ_max_3;
unsigned long int
    statis_1,
    statis_2,
    statis_3,
    pot_1,
    pot_2,
    pot_3;
unsigned char
    flag_1,
    flag_2,
    flag_3,
    numb,
    min_off,
    middle_off,
    max_off;
};
// структурная переменная var типа struct save;
struct save var;
// промежуточный указатель начального адреса структуры var
void *p_m;
// указатель адреса отдельного байта структуры var
unsigned char *p_b;

p_m = &var;

var.summ_1 = 110. 2;
var.reserve_1 = 2500. 7;
var.statis_1 = 22567;
var.flag_1 = 35;
и так далее...

```

Тогда функции чтения и записи памяти FM25640-S будут иметь вид:

```

// PORTB
#define CS_FM25640 0x08 // 0000 1000
#define OFF_FM25640 0x18; // 0001 1000
// команды FM25640
#define WREN 0x06 // 0000 0110
#define WRSR 0x01 // 0000 0001
#define READ 0x03 // 0000 0011
#define WRITE 0x02 // 0000 0010

#define BYTE_STRUCT_VAR 91 // число байтов в структуре var

// запись сохраняемых данных из структуры var в м/с
Ferroelectric Nonvolatile RAM FM25640
void write_FM25640(unsigned char addr_H, unsigned char addr_L)
{
    static unsigned char a;

    p_b = p_m; // начальный адрес структуры var в ОЗУ

    PORTB = CS_FM25640; // выбор FM25640
    __delay_cycles(1);
    SPDR = WREN; // 0000 0110 команда разрешения
    записи в FM25640
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
    PORTB |= OFF_FM25640; // завершение команды раз-
    решения записи в FM25640
    __delay_cycles(1);

    PORTB = CS_FM25640; // выбор FM25640
    __delay_cycles(1);
    SPDR = WRITE; // 0000 0010 команда записи в
    FM25640

```

```

    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
    SPDR = addr_H; // начальный адрес для записи
    (старший байт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
    SPDR = addr_L; // начальный адрес для записи
    (младший байт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта

    // BYTE_STRUCT_VAR - число байтов в структуре var
    for (a = 0; a < BYTE_STRUCT_VAR; a++){
        SPDR = *p_b++; // очередной байт, прочитанный из
        структуры var
        // записывается в м/с FM25640
        while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
    }
    PORTB |= OFF_FM25640;
    // завершение команды записи в FM25640
    __delay_cycles(1);
}

// чтение сохраненных данных в структуру var из м/с
Ferroelectric Nonvolatile RAM FM25640
void read_FM25640(unsigned char addr_H, unsigned char addr_L)
{
    static unsigned char a;

    _WDR();
    p_b = p_m; // начальный адрес структуры var в ОЗУ

    PORTB = CS_FM25640; // выбор FM25640
    __delay_cycles(1);
    SPDR = READ; // 0000 0011 команда чтения из
    FM25640
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
    SPDR = addr_H; // начальный адрес для чтения
    (старший байт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
    SPDR = addr_L; // начальный адрес для чтения
    (младший байт)
    while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта

    // BYTE_STRUCT_VAR - число байтов в структуре var
    for (a = 0; a < BYTE_STRUCT_VAR; a++){
        SPDR = 0x00;
        while (!(SPSR & 0x80)); // ожидание записи байта
        *p_b++ = SPDR; // байт, прочитанный из м/с
        FM25640,
        // записан в структуру var по адресу *p_b
    }
    PORTB |= OFF_FM25640;
    // завершение команды чтения из FM25640
    __delay_cycles(1);
}

```

Программирование часов реального времени DS1307Z не имеет особенностей. Используется последовательный интерфейс TWI (Two-wire Serial Interface), входящий в состав микроконтроллера ATMEGA128 и являющийся полным аналогом базовой версии интерфейса I<sup>2</sup>C фирмы Philips. Порядок программирования DS1307Z и особенности использования интерфейса TWI становятся понятными из комментариев к функциям, расположенным в файлах functions\_clock.c и functions\_TWI.c, входящих в состав управляющей контроллером программы. Описание микросхемы DS1307 и назначение ее регистров приведено в [1].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. С. Малахов. Электронные часы с использованием RTC на микросхеме DS1307. Схемотехника, 2004, № 12, с. 46—48.

Сергей Суров,  
г. Нижний Новгород

# Расчет электромагнитных компонентов в Transformer Designer Orcad V10.5

Существует много программ по расчету импульсных трансформаторов и дросселей для импульсных источников питания. Однако все они не идеальны. Программа Transformer Designer, входящая в состав электронного САПР OrCAD V10.5 (или Magnetic Parts Editor для OrCAD V15.7), кардинальным образом решает эту проблему, показывая, что собственно должны делать современные программы для расчета трансформаторов. Кроме расчета электрических параметров она генерирует конструкцию трансформатора, формируя выходной документ, который достаточен для изготовления трансформатора. В дополнение ко всему генерируется PSpice модель рассчитанного трансформатора или дросселя вместе с сердечником, что позволяет, не дожидаясь изготовления компонента, промоделировать проект источника питания средствами САПР OrCAD.

## ЧТО ТАКОЕ TRANSFORMER DESIGNER?

Transformer Designer (конструктор трансформаторов) — это инструмент для конструирования электромагнитных компонентов — дросселей и трансформаторов. Проектирование электромагнитных компонентов включает в себя выбор подходящего сердечника, обмотки и материала изоляции, необходимых для получения требуемой выходной мощности при заданном наборе входных условий. До этого разработчикам, как правило, приходилось решать различные уравнения методом итераций. Теперь можно использовать Transformer Designer, чтобы спроектировать трансформатор или дроссель эффективным и удобным способом.

Примечание: в новой версии OrCAD V15.7 эта программа называется Magnetic Parts Editor. Ее назначение и возможности такие же, как у Transformer Designer OrCAD V10.5.

Transformer Designer позволяет:

- проектировать электромагнитные компоненты — силовые трансформаторы, трансформаторы для прямоходовых и обратноходовых преобразователей, дроссели;
- генерировать имитационные PSpice модели для разработанного электромагнитного компонента, которые в дальнейшем могут использоваться для моделирования в PSpice;
- хранить в базе данных информацию о коммерчески доступных магнитных компонентах: железных сердечниках, бобиных, обмоточных проводах, изоляционных материалах;
- генерировать данные, необходимые для изготовления спроектированных электромагнитных компонентов, чтобы довести их до конечного пользователя. Отчет (Manufacturer Report), который будет сгенерирован Transformer Designer после завершения процесса проектирования, содержит полные данные для этой цели.

Transformer Designer разделен на два модуля: база данных и интерфейс.

## База данных Transformer Designer

База данных Transformer Designer содержит информацию о материалах, используемых при создании трансформаторов или дросселей. Данные о материалах сердечников и их размерах, информация о AWG или SWG обмоточного провода (AWG, SWG — американские стандарты на обмоточные провода), свойствах изоляционных материалов могут читаться из этой базы данных. База данных Transformer Designer содержит также информацию об основных производителях электромагнитных компонентов.

Интерфейс Transformer Designer позволяет управлять базой данных, добавлять новые записи и стирать старые.

## Интерфейс разработчика Transformer Designer

Это главный интерфейс Transformer Designer, используемый для конструирования магнитных компонентов. Он разделен на три части:

- окно Transformer Designer;
- окно показа шагов (Step View);
- окно показа сообщений (Message View).

Последние два окна являются дополнительными. Окно Transformer Designer (рис. 1) используется с целью конструирования.

Окно показа шагов, которое появляется в виде панели слева в окне Transformer Designer, содержит информацию о ходе процесса проектирования трансформатора, который закончен или еще выполняется. Окно показа сообщений уведомляет о погрешностях при проектировании, выдает предупреждения и сообщает о состоянии процессов, выполняемых Transformer Designer. Сообщения появляются внизу главного интерфейса Transformer Designer.

По умолчанию все три окна видимы, но если требуется, можно скрыть окно показа шагов или окно показа сообщений (рис. 2).

Для конструирования электромагнитных компонентов в Transformer Designer используется подход на основе мастеров. Можно использовать кнопки Back и Next, чтобы перемещаться в предыдущие или следующие шаги проектирования соответственно. Помимо этого можно использовать окно показа шагов для перехода к любому из уже законченных шагов. Например, если выполняется шаг 5 (Step 5) процесса проектирования, можно сразу перейти на второй шаг, выбрав значок Step 2 (шаг 2).

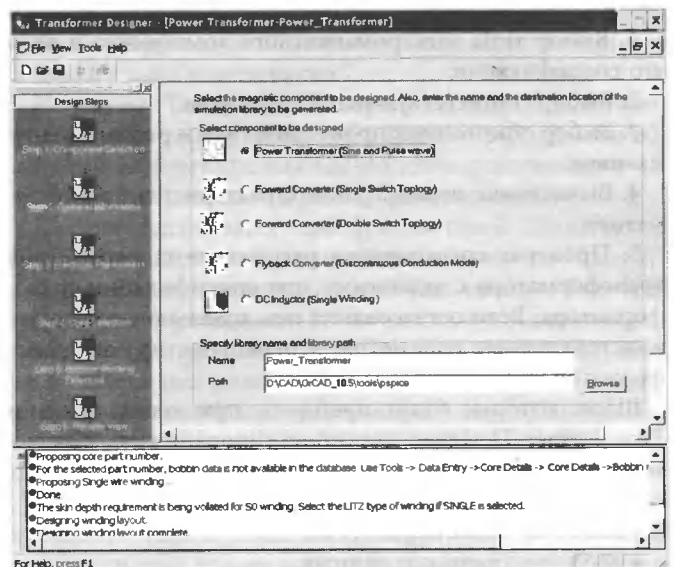


Рис. 1

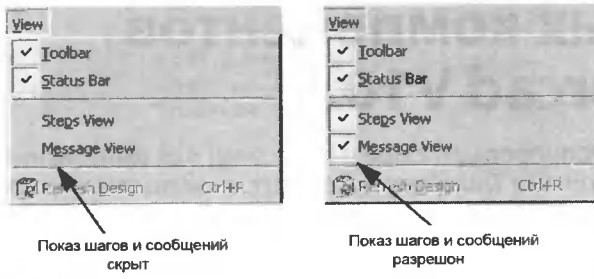


Рис. 2

Соглашения, использованные в Transformer Designer

Числа в Transformer Designer могут быть напечатаны в десятичном виде или в экспоненциальном представлении (табл. 1).

Таблица 1

| Символ | Множитель         |
|--------|-------------------|
| f      | 10 <sup>-15</sup> |
| p      | 10 <sup>-12</sup> |
| n      | 10 <sup>-9</sup>  |
| u      | 10 <sup>-6</sup>  |
| m      | 10 <sup>-3</sup>  |
| K      | 10 <sup>3</sup>   |
| M      | 10 <sup>6</sup>   |
| G      | 10 <sup>9</sup>   |

Например, число 1000 может быть введено как 1000 или 1K.

Символы, обозначающие электрические и конструктивные параметры магнитных компонентов, проектируемых Transformer Designer, перечислены в табл. 2.

ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Этот раздел статьи является кратким обзором шагов, проходимых при проектировании трансформатора.

Трансформатор — один из часто используемых магнитных компонентов. Простой идеальный трансформатор, показанный на рис. 3, состоит из сердечника, первичной и вторичных обмоток, а также материала изоляции, проложенного между обмотками и между сердечником и обмоткой.

Основные этапы проектирования трансформатора или другого электромагнитного компонента приведены ниже.

1. Выбор типа электромагнитного компонента и ввод его спецификации.
2. Выбор соответствующего сердечника.
3. Выбор обмоточных проводов и типа и расположения навивки.
4. Вычисление параметров и характеристик трансформатора.
5. Проверка согласования рассчитанных параметров трансформатора с заданными при спецификации трансформатора. Если согласования нет, изменяют некоторые конструктивные параметры и перепроектируют трансформатор.

Шаги, которые будут пройдены при использовании Transformer Designer для проектирования магнитных компонентов:

- выбор компонента;
- ввод основных параметров;
- ввод электрических данных;
- выбор сердечника;

Таблица 2

| Описание                                                    | Символ      |
|-------------------------------------------------------------|-------------|
| Площадь поперечного сечения сердечника                      | $A_E$       |
| Рабочая магнитная индукция, Тл                              | $B$         |
| Магнитная индукция переменного тока, Тл                     | $B_{AC}$    |
| Пиковая магнитная индукция, Тл                              | $B_{PK}$    |
| Магнитная индукция насыщения, Тл                            | $B_{SAT}$   |
| Толщина скин-слоя                                           | $d$         |
| Рабочая частота, Гц                                         | $f$         |
| Коэффициент потока рассеивания                              | $FFC$       |
| Эффективность (КПД)                                         | $\eta$      |
| Коэрцитивная сила, Эрстед (Э)                               | $H_C$       |
| Ток в первичной обмотке, А                                  | $I_P$       |
| Ток во вторичной обмотке, А                                 | $I_S$       |
| Напряжение на первичной обмотке, В                          | $V_P$       |
| Вторичное напряжение, В                                     | $V_S$       |
| Произведение площадей окна                                  | $W_A A_E$   |
| Постоянный ток, А                                           | $I_{DC}$    |
| Переменный ток, А                                           | $I_{AC}$    |
| Плотность тока, А/см <sup>2</sup>                           | $J$         |
| Коэффициент использования окна                              | $K$         |
| Индуктивность, Гн                                           | $L$         |
| Индуктивность первичной обмотки, Гн                         | $L_P$       |
| Зазор, см                                                   | $L_G$       |
| Длина линии магнитной индукции                              | $MPL$       |
| Среднее значение длины витка                                | $MLT$       |
| Магнитная проницаемость                                     | $\mu$       |
| Магнитная проницаемость воздуха, $4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м | $\mu_0$     |
| Относительная проницаемость, для воздуха 1                  | $\mu_R$     |
| Число витков в обмотке                                      | $N$         |
| Число витков в первичной обмотке                            | $N_P$       |
| Число витков во вторичной обмотке                           | $N_S$       |
| Ток намагничивания, А                                       | $I_M$       |
| Модифицированное число витков в первичной обмотке           | $N_m$       |
| Входная мощность, Вт                                        | $P_{IN}$    |
| Выходная мощность, Вт                                       | $P_{OUT}$   |
| Индуктивное реактивное сопротивление, Ом                    | $XL$        |
| Импеданс, Ом                                                | $Z_0$       |
| Полный период времени, с                                    | $T$         |
| Максимальный рабочий цикл                                   | $D$         |
| Перегрев, стоградусный.                                     | $T_R$       |
| Пиковый ток во вторичной обмотке, А                         | $I_{SPEAK}$ |
| Пиковый ток в первичной обмотке, А                          | $I_{PPEAK}$ |
| Среднеквадратический ток (rms) первичной обмотки, А         | $I_{PRMS}$  |
| Сопротивление, Ом.                                          | $R$         |
| Коэффициент индуктивности                                   | $AL$        |
| Вольты на виток для первичной обмотки                       | $E_{TP}$    |
| Вольты на виток для вторичной обмотки                       | $E_{TS}$    |
| Толщина бобины, мм                                          | $T$         |

- выбор бобин и проводов;
- вывод результатов.

ЗАПУСК TRANSFORMER DESIGNER

Из меню Start надо выбрать Programs — OrCAD 10.5 — PSpice Accessories — Transformer Designer. Появится пустое окно Transformer Designer (рис. 4).

На первом шаге необходимо определить тип (топологию) электромагнитного компонента, который будет разработан. Используя Transformer Designer, можно проектировать:

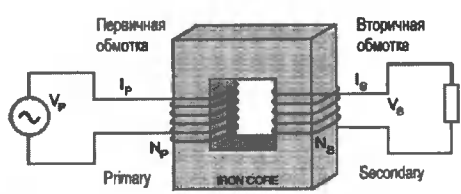


Рис. 3



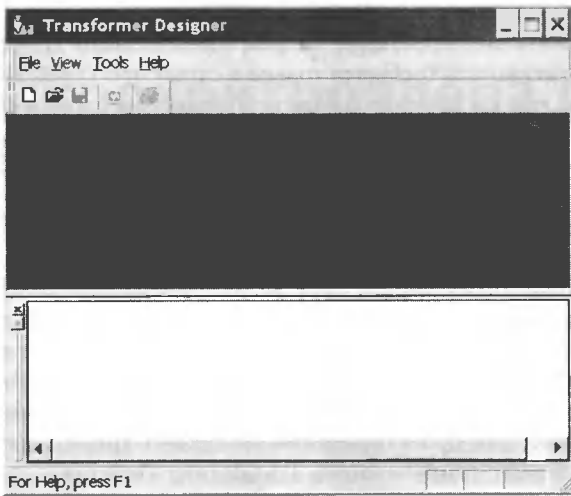


Рис. 4

- силовые трансформаторы;
- трансформаторы для впередходовых преобразователей (поддерживается топология одиночного и двойного ключа);
- трансформаторы для обратнходовых преобразователей, работающие в режиме прерывистых токов;
- одиночные обмотки — дроссели, работающие с постоянной составляющей тока.

При выборе разрабатываемого компонента помимо определения топологии надо также задать название и локализацию библиотеки моделей, в которой должна быть сохранена PSpice модель спроектированного магнитного компонента.

Чтобы запустить процесс проектирования компонента в Transformer Designer, следуйте ниже указанным шагам.

1. Из меню File выберите New.
2. Определите тип проектируемого магнитного компонента выбором соответствующей кнопки (рис. 5).
3. В текстовом поле Name запишите имя библиотеки, в которой будет сохранена PSpice модель для магнитного компонента. Это имя также будет именем модели, которая будет сгенерирована Transformer Designer в конце процесса проектирования.

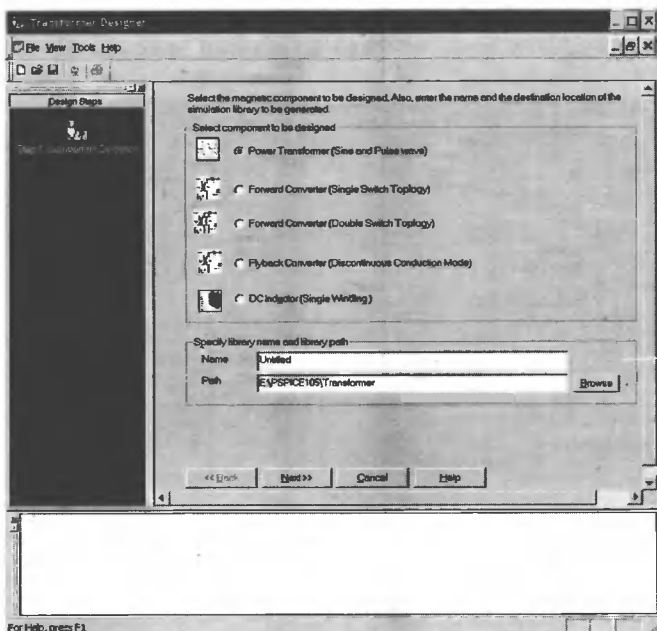


Рис. 5

4. В текстовом поле Path определите локализацию библиотеки, в которой должна быть сохранена модель спроектированного магнитного компонента.

5. Чтобы перейти к следующему шагу процесса проектирования, щелкните Next.

### Задание спецификаций проекта

Пользователь должен ввести спецификации для разрабатываемого электромагнитного компонента. Чтобы спроектировать компонент, надо знать основные конструктивные параметры, величины напряжений на входах и выходах, рабочую частоту, напряжение пробоя изоляции, плотности тока, материал изоляции и т. д.

На втором шаге процесса проектирования задается общая информация, характеризующая проект. На третьем шаге задаются электрические данные.

### Задание общих входных данных

Здесь пользователем определяются параметры и тип используемого материала изоляции, плотность тока в обмоточных проводах и эффективность (КПД) разрабатываемого трансформатора. Фактические параметры, которые будут определены, зависят от типа компонента, который будет разработан. Например, при разработке модели силового трансформатора пользователь определяет требование на стабилизацию, которая не требуется для других компонентов.

В табл. 3 содержится список общих параметров проектов для различных компонентов, которые будут определены как входные для Transformer Designer.

Таблица 3

| Параметр                | Поддерживаются в топологиях |                               |                                 |             |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------|
|                         | Силовые трансформаторы      | Прямыхходовые преобразователи | Обратныхходовые преобразователи | Дроссели    |
| Число вторичных обмоток | ✓                           | Не задается                   | ✓                               | Не задается |
| Изоляционный материал   | ✓                           | ✓                             | ✓                               | ✓           |
| Плотность тока (J)      | ✓                           | ✓                             | ✓                               | ✓           |
| КПД ( $\eta$ )          | ✓                           | ✓                             | ✓                               | Не задается |
| Стабилизация            | ✓                           | Не задается                   | Не задается                     | Не задается |
| Индуктивность (L)       | Не задается                 | Не задается                   | Не задается                     | ✓           |

В текстовое поле No. of secondary следует ввести требуемое число вторичных обмоток трансформатора. Например, если вы хотите конструировать трансформатор с двумя вторичными обмотками, в текстовое поле No. of secondary надо ввести число 2.

Используя Transformer Designer, можно сконструировать трансформатор максимум с девятью вторичными обмотками, поэтому правильные значения для этого поля целочисленные значения должны быть в диапазоне 1—9.

Для впередходовых преобразователей Transformer Designer поддерживает только одну вторичную обмотку.

Далее определяют используемый изоляционный материал, выбирая из раскрывающегося списка изоляционных материалов. Если материал, который вы хотите использовать, отсутствует в раскрывающемся списке изоляционных материалов, можно добавить информацию о нем в базу данных Transformer Designer. Пробой материала изоляционного материала влияет на использование окна сердечника.

В текстовом боксе Current Density введите величину плотности тока в обмотках трансформатора. Величина плотности тока влияет на потери в меди и на выбор провода для обмотки сердечника.

Таблица 4

| Параметр                                     | Поддержка для трансформаторов |             |                  |          |
|----------------------------------------------|-------------------------------|-------------|------------------|----------|
|                                              | Силовой                       | Прямодового | Обратно-ходового | Дросселя |
| Напряжение в первичной обмотке ( $V_p/V_n$ ) | ✓                             | ✓           | ✓                | ✗        |
| Вторичная обмотка                            | —                             | —           | —                | —        |
| Напряжение                                   | ✓                             | ✗           | ✓                | ✗        |
| Ток                                          | ✓                             | ✗           | ✓                | ✗        |
| Коэффициент трансформации                    | ✗                             | ✗           | ✓                | ✗        |
| Рабочая частота (f)                          | ✓                             | ✓           | ✓                | ✓        |
| Напряжение изоляции                          | ✓                             | ✓           | ✓                | ✗        |
| Форма сигнала                                | ✓                             | ✗           | ✗                | ✗        |
| Максимальный рабочий цикл (D)                | ✗                             | ✓           | ✓                | ✗        |

В текстовом боксе Efficiency определите требуемую эффективность (КПД) трансформатора. КПД трансформатора используется для вычисления требуемой входной мощности.

В текстовом боксе Regulation определите требуемую стабилизацию напряжения. Параметр стабилизации напряжения требуется только в случае проектирования силовых трансформаторов.

В текстовом поле Inductance войдите в значение индуктивности, требуемое от разрабатываемого дросселя. Индуктивность требуется только в случае дросселей. После того, как вы ввели в соответствующее значение в поле, кликните Next для продвижения на следующий шаг проектирования в Transformer Designer.

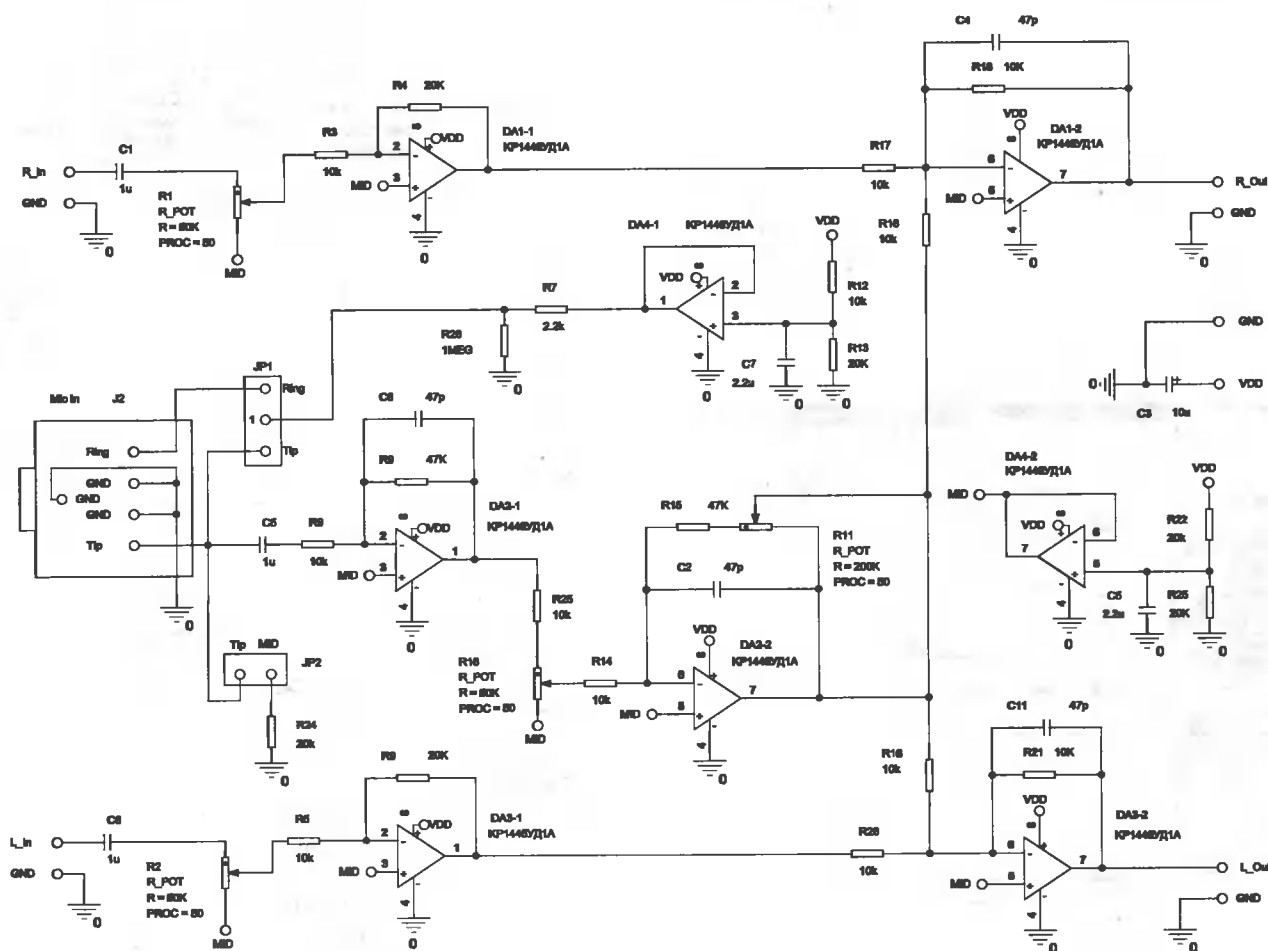
### Задание электрических данных

На третьем шаге пользователь определяет значение электрических параметров, необходимых для конструирования электромагнитного компонента. Электрические параметры могут отличаться в зависимости от типа разрабатываемого компонента. Табл. 4 содержит список электрических параметров, которые будут определены как входные для проектирования различных типов электромагнитных компонентов в Transformer Designer.

*Продолжение следует*

**Олег Петраков,**  
г. Москва

В статье Олега Петракова «Микрофонный микшер» (Схемотехника, 2007, № 5, с. 38-40) плохо пропечатался рис. 1 на с. 40. Приводим здесь указанный рисунок. Кроме того, данный рисунок можно найти на сайте редакции журнала по адресу [www.dian.ru](http://www.dian.ru) в разделе программного обеспечения.



# Использование USART микроконтроллера для обеспечения связи с компьютером

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Для организации связи по каналу RS-232 между микроконтроллером и компьютером понадобится разработка программного обеспечения как для компьютера, так и для микроконтроллера.

Поскольку трудно сразу без ошибок написать программы для двух устройств, между которыми организуется связь, желательно использовать хотя бы для одного из них заведомо работающую программу. В качестве такой программы предлагается «Монитор COM-порта» — приложение для компьютера, позволяющее определять режим COM-порта, вводить передаваемые данные, отображать принимаемую информацию [2]. Окно «Монитора» приведено на рис. 6.

Приведенные на рисунке установки соответствуют передаче восьми информационных бит в группе с проверкой на четность и одним стоп-битом. Прием и передача выполняются на скорости 115200 бод через порт COM1.

В окно «Команда» введена (вручную или через буфер обмена) часть трехбайтной команды в шестнадцатеричном виде — 5а 20 0 0 0 7а, предназначенной для передачи (байты отделены друг от друга пробелом). В данной команде последний байт 7а

представляет собой контрольную сумму всех предшествующих байтов, вместо ввода байта 7а выбран автоматический подсчет контрольной суммы установкой флажка +CR.

Если в компьютере существует выбранный в приложении порт COM1 (окно «ПОРТ: 1») и он не занят, при нажатии кнопки Пуск команда будет передана по линии TxD COM-порта и отобразится в окне «Послана команда». Если же порт отсутствует или занят, появится сообщение об ошибке.

Приложение автоматически устанавливает на линии RTS COM-порта высокий уровень напряжения, необходимый для питания схемы с опто-развязкой, изображенной на рис. 3. При закрытии приложения выбранные параметры сохраняются в файле конфигурации RS232.conf и восстанавливаются при следующем запуске.

## Проверка работы приложения

Если замкнуть контакты TxD и RxD выбранного для работы COM-порта, передаваемая по линии TxD команда поступит на линию приема RxD того же COM-порта и отобразится в окне «Ответ контроллера в 16-ричном коде».

При наличии двух COM-портов на компьютере их можно соединить нуль-модемным кабелем, описание которого приведено выше. Запустив два экземпляра «Монитора» (для

этого надо запустить на выполнение файл RS232.exe два раза) и выбрав в одном из них порт COM1, а в другом — COM2, можно обеспечить связь между этими портами. При запуске второго экземпляра приложения может появиться сообщение об ошибке, т. к. первый экземпляр приложения уже занимает порт, который пытается занять второй экземпляр приложения. После изменения номера порта в одном из экземпляров приложения сообщение об ошибке исчезнет.

Можно соединить нуль-модемным кабелем и COM-порты двух компьютеров, запустив на каждом из них по описанному приложению.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

На рис. 7 приведена схема подключения преобразователя, выполненного на специализированной микросхеме MAX232, к микроконтроллеру ATmega8.

Через разъем XP1 выполняется программирование микроконтроллера, цепочка R38C9 обеспечивает сброс микроконтроллера при включении питания.

Частота кварцевого резонатора 7,3728 МГц обеспечивает возможность точной установки микроконтроллером любой скорости передачи из стандартного ряда.

## ПРОСТАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ОДНОБАЙТНЫМИ КОМАНДАМИ

Для таких целей, как тестирование контроллеров, иногда можно обойтись одним байтом, передаваемым компьютером в качестве команды, что существенно упрощает программу микроконтроллера.

Листинг 1 программы COMsimple [3] можно скачать с сайта редакции [www.dian.ru](http://www.dian.ru).

Выполнение программы начинается с метки Reset. Здесь, кроме инициализации сторожевого таймера, указателя стека и линий RxD и TxD порта D, записью в регистры UBRRH:UBRRL константы 47, устанавливается скорость связи 9600 бит/с.

Скорость передачи вычисляется по формуле:

$$V = \frac{F_{\text{ТАКТ}} (\text{Гц})}{16 \times \text{Скорость} (\text{бод})} - 1.$$

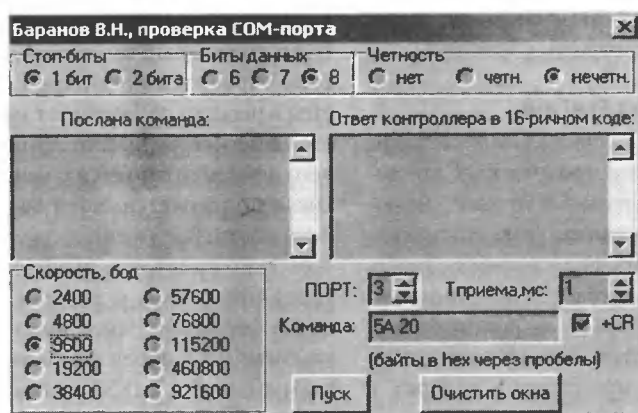


Рис. 6

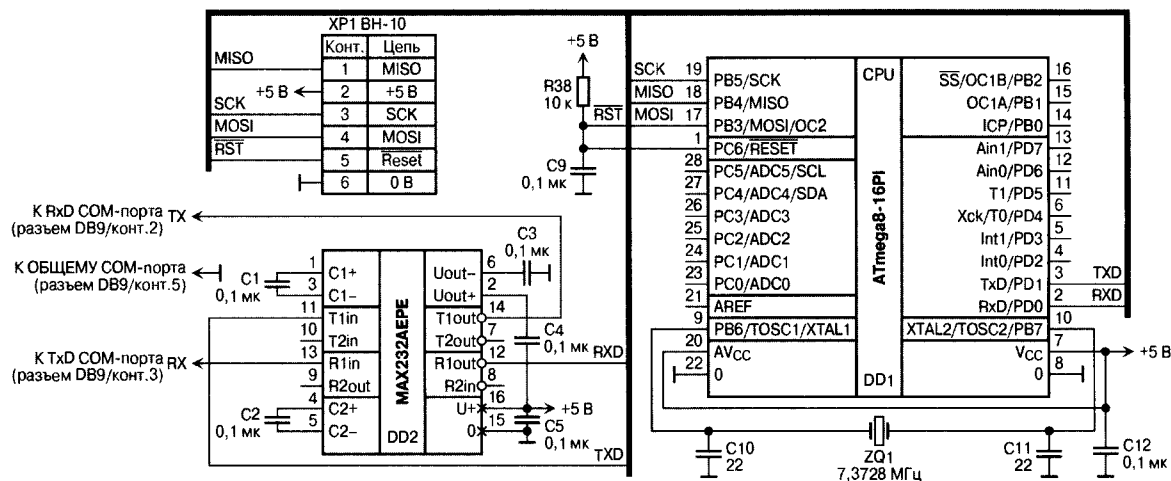


Рис. 7

Полученное значение округляется. Для тактовой частоты  $F_{\text{ТАКТ}} = 7372800$  Гц и скорости 9600 бит/с результат равен 47.

Скорость выбирается из стандартного ряда, поддерживаемого микроконтроллером и компьютером — 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200 бит/с. Здесь приведен не весь ряд, однако меньшие скорости в контроллерах обычно не используются.

Специализированные микросхемы для организации связи микроконтроллера с компьютером через интерфейс USB (мосты USB-UART) поддерживают и более высокие скорости — 460800 и 921600 бит/с. UART микроконтроллера также может обеспечить эти скорости. Для получения точного значения стандартной скорости используют кварцевые резонаторы частотой 7,3728 МГц или 14,7456 МГц.

Согласно техническому описанию микроконтроллера ATmega8, ошибка скорости в 0,5 % не ухудшает надежности приема. Допускаются и большие ошибки, но при этом снижается сопротивляемость приемника шумам, особенно при длинных передаваемых последовательностях.

После установки скорости вызывается макрозапись UInit, переводящая UART микроконтроллера в режим приема. Макрозапись удобно использовать, когда одна и та же последовательность команд, возможно с различными параметрами, повторяется в разных частях программы. Для вызова макрозаписи указывается ее имя и список параметров. Строка вызова макрозаписи UInit при ассемблировании будет заменена на содержимое макрозаписи UInit, параметры макрозаписи в этом примере отсутствуют. Таким образом, использование макрозаписи дает возможность сократить

листинг программы, упростить его чтение, но не сокращает размер кода, полученного при ассемблировании. Содержимое макрозаписи — это последовательность команд, заключенных между директивами .MACRO <имя макрозаписи> и .ENDMACRO.

Макрозапись UInit устанавливает разряды RXCIE и RXEN регистра UCSRB, соответственно разрешая прерывание при приеме символа и работу USART в режиме приема. Установка разрядов UPM1:UPM0 для регистра UCSRC выполняется операцией  $3 \ll \text{UPM0}$ , это обеспечивает проверку нечетности при передаче или приеме. Установкой разрядов UCSZ1:UCSZ0 (операцией  $3 \ll \text{UCSZ0}$ ) определяется передача восьмиразрядных слов.

В бесконечном цикле, начинающемся меткой cycle, анализируется состояние переменной cmdrs. Если произойдет прерывание при приеме символа USART и значение принятого символа (байта), переданное в обработчике прерывания U\_RXC из регистра данных UDR переменной cmdrs, окажется отличным от нуля, будет вызвана подпрограмма ExeCmd.

### Подпрограмма ExeCmd

Сбросом разряда RXCIE в регистре UCSRB в подпрограмме ExeCmd запрещается прерывание приема символа USART и анализируется поступивший байт cmdrs. Если значение cmdrs равно \$20, вызывается подпрограмма xTstRS, при \$21 — подпрограмма xCalibr. Затем переменная cmdrs очищается и происходит возврат в цикл cycle.

### Подпрограмма xTstRS

Эту подпрограмму можно использовать для контроля целостности программы микроконтроллера. Под-

программа вычисляет двухбайтную контрольную сумму памяти программ микроконтроллера и передает ее в компьютер. Перед циклом, в котором вычисляется контрольная сумма, в регистр Z записывается адрес последней ячейки flash-памяти (памяти программ микроконтроллера) — FLASHEND\*2+1.

Для рассматриваемых микроконтроллеров программный счетчик оперирует 16-разрядными (двухбайтными) ячейками flash-памяти, поэтому и в файле \Program Files\Atmel\AVR Tools\AvrAssembler2\Appnotes\m8def.inc описания регистров и адресов микроконтроллера, верхняя граница памяти программ FLASHEND — это адрес последнего двухбайтного слова. Команда микроконтроллера lpm выполняет считывание одного байта из flash-памяти. FLASHEND\*2 — это адрес предпоследнего байта, к нему следует добавить единицу, чтобы обратиться к последнему байту памяти.

В цикле clcCR считывание из flash-памяти выполняется командой lpm. Байт, считанный из ячейки, адрес которой хранится в регистре Z, помещается в регистр r0. Результат накапливается в регистрах hiSumF:loSumF, после чего декрементируется содержимое Z. Цикл повторяется, пока содержимое Z не достигнет нуля.

Можно проверить вычисление контрольной суммы в режиме отладки, для этого в листинге нужно убрать комментарий перед вызовом подпрограммы rcall xTstRS, расположенной непосредственно перед циклом cycle.

При отладке следует контролировать переменные ZH, ZL, hiSumF, loSumH, состояние регистра r0, а также содержимое памяти Program. Если перед первым циклом вычисле-



ния clcCR в трех-четырех последних ячейках памяти Program заменить содержимое, например, на 03 02 01, можно убедиться в правильности загрузки в регистр r0 содержимого ячеек flash-памяти.

По окончании вычисления контрольной суммы передается ответ микроконтроллера на команду. Для этого в переменную datrs заносится передаваемый байт, затем вызывается подпрограмма передачи байта TxCh. После передачи последнего байта вызывается подпрограмма TxEnd, переводящая USART микроконтроллера в режим приема, как только передача последнего байта будет завершена.

В переменной CR накапливается контрольная сумма передаваемого микроконтроллером сообщения.

При получении команды \$20 в результате выполнения подпрограммы

xTstRS микроконтроллер отправляет следующий ответ:

5A 20 <hiSumF> <loSumF> <CR>

5A — байт, являющийся признаком ответа микроконтроллера,

20 — команда, на которую дается ответ.

Проверка контрольной суммы flash-памяти позволяет обнаружить изменения в исполняемом коде программы, которые могут произойти из-за старения или под воздействием внешних факторов, таких, как перегрев, радиация.

### Подпрограмма xCalibr

В подпрограмме считывается калибровочный коэффициент внутреннего калиброванного генератора микроконтроллера из регистра OSCCAL и передается компьютеру в составе ответа микроконтроллера на команду \$21:

5A 21 <OSCCAL> <CR>.

### Подпрограмма передачи байта TxCh

Установкой разряда TXEN в регистре UCSRB USART микроконтроллера переводится в режим передачи. Для очистки флага TXC в регистр UCSRA передается значение 1 << TXC. Две команды, начинающиеся меткой mTx, повторяются, пока не установится разряд UDRE в регистре UCSRA, это свидетельствует о том, что передача предыдущего байта завершена. Загрузка в регистр UDR байта инициализирует его передачу.

*Продолжение следует*

**Вадим Баранов,**  
г. Харьков, Украина

## Карты flash-памяти типа Multi Media Card

*В этой статье приводится описание карт flash-памяти типа Multi Media Card и их разновидностей, приводятся краткие технические характеристики.*

Карты Multi Media Card (MMC) были разработаны в ноябре 1997 г. при участии компаний SanDisk, Siemens Semiconductors, именуемой ныне Infineon Technologies, и Hitachi. Стандарт был принят и поддержан в 1998 г. более чем 35 компаниями, которые вошли в ассоциацию MMCA (Multi Media Card Association), поддерживающую стандарт на карты данного типа.

Карты типа MMC являются одними из самых компактных сменных накопителей flash-памяти. Их размеры составляют 32×24×1,4 мм, а вес не превышает 1,5 г. Внешний вид карты MMC представлен на рис. 1.

Первоначально эти карты предназначались для использования в мультимедийных устройствах типа MP3 плееров, но позднее картами MMC начали оснащать цифровые камеры, КПК и мобильные телефоны. Такое широкое распространение карт этого типа вызвано их малыми габаритами и пониженным энергопотреблением по сравнению с картами CompactFlash.

Карты MMC отличаются высоким уровнем интеграции и предусматривают возможности как последовательного, так и произвольного доступа к

данным, осуществляемого через выделенный последовательный интерфейс, который оптимизирован для быстрой и надежной передачи данных.

### РАЗНОВИДНОСТИ КАРТ ПАМЯТИ

В начале 2002 г. этот формат карт получил еще большее развитие. Разработчики пошли по пути увеличения скорости передачи информации и уменьшения размеров карты. В результате появилось несколько разновидностей карт MMC, таких как RS-MMC, HS-MMC, MMC-micro, MMC-mobile и MMC-plus, которые отличаются друг от друга размерами и скоростью передачи данных.

Карты HS-MMC (High Speed MMC) отличаются от базового типа наличием 13 контактов вместо 7 и теоретической предельной скоростью 52 Мбайт/с. Увеличение количества выводов связано с введением в интерфейс дополнительных линий данных, обеспечивающих прием и передачу по восьмиразрядной шине. Внешний вид такой карты памяти показан на рис. 2.

Карты уменьшенного размера RS-MMC (Reduced Size MMC) имеют размеры 24×18×1,4 мм и созданы для применений в особо малогаба-

ритных устройствах. Они полностью совместимы по интерфейсному разъему с полноразмерной картой MMC и могут вставляться в обычный слот MMC с помощью механического переходника-удлинителя. Такой переходник, как правило, входит в комплект поставки карты и представляет собой лапки-удлинители, которые пристегиваются к тыльной части карты и увеличивают ее размер до размеров карты MMC. На рис. 3



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

показан такой тип карты отдельно и вместе с удлинителем.

В конце 2004 г. благодаря стараниям компании Samsung семейство карт MMC пополнилось еще тремя разновидностями — это полноразмерная быстройдействующая карта MMC-plus, ее уменьшенная версия MMC-mobile и сверхминиатюрная (12×14×1,1 мм) MMC-micro. Эти карты были созданы на основе спецификации MMC 4.0 и предназначены для использования в мобильных телефонах, КПК и цифровых камерах.

Карты памяти MMC-plus (рис. 4) выполнены в виде полноразмерных карт MMC и оснащены усовершенствованным интерфейсом, обеспечивающим возможность передачи данных по одно-, четырех- или восьмиразрядной шине с пропускной способностью до 52 Мбайт/с.

Карты MMC-mobile (рис. 5) выполнены в формате RS-MMC и предназначены для использования в мобильных устройствах.

Стандарт карт MMC-micro (рис. 6) поддерживает напряжения от 1,8 до 3,3 В, что позволяет применять такие карты памяти в самом широком ассортименте устройств.



Рис. 5



Рис. 6

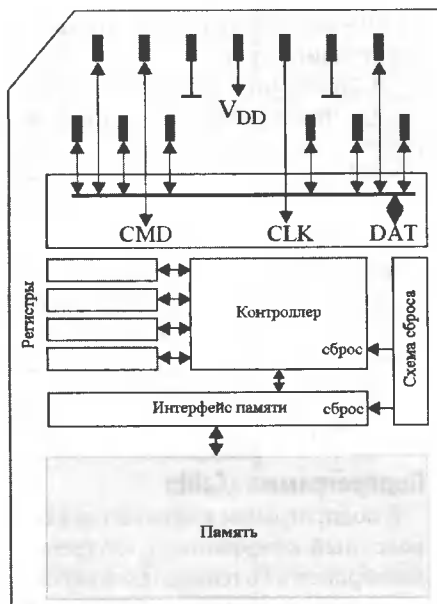


Рис. 7

Таблица 1

| Вывод | Сигнал | Тип        | Описание         |
|-------|--------|------------|------------------|
| 1     | RSV    | —          | Резерв           |
| 2     | CMD    | Вход/выход | Команда/ответ    |
| 3     | VSS1   | Питание    | Заземление       |
| 4     | VDD    | Питание    | Источник питания |
| 5     | CLK    | Вход       | Синхронизация    |
| 6     | VSS2   | Питание    | Заземление       |
| 7     | DAT    | Вход/выход | Данные           |

В картах MMC-plus и MMC-mobile используется новый 13-контактный физический интерфейс, схема расположения контактных площадок которого обеспечивает обратную совместимость данных карт с устройствами,

Таблица 2

| Вывод | Режим MMC |            |                  | Режим SPI       |         |                  |
|-------|-----------|------------|------------------|-----------------|---------|------------------|
|       | Имя       | Тип        | Описание         | Имя             | Тип     | Описание         |
| 1     | DAT3      | Вход/выход | Линия данных 3   | CS              | Вход    | Выбор            |
| 2     | CMD       | Вход/выход | Команда/Ответ    | DI              | Вход    | Вход данных      |
| 3     | VSS1      | Питание    | Заземление       | VSS1            | Питание | Заземление       |
| 4     | VDD       | Питание    | Источник питания | VDD             | Питание | Источник питания |
| 5     | CLK       | Вход       | Синхронизация    | CLK             | Вход    | Синхронизация    |
| 6     | VSS2      | Питание    | Заземление       | VSS2            | Питание | Заземление       |
| 7     | DAT0      | Вход/выход | Линия данных 0   | DO              | Выход   | Выход данных     |
| 8     | DAT1      | Вход/выход | Линия данных 1   | Не используются |         |                  |
| 9     | DAT2      | Вход/выход | Линия данных 2   |                 |         |                  |
| 10    | DAT4      | Вход/выход | Линия данных 4   |                 |         |                  |
| 11    | DAT5      | Вход/выход | Линия данных 5   |                 |         |                  |
| 12    | DAT6      | Вход/выход | Линия данных 6   |                 |         |                  |
| 13    | DAT7      | Вход/выход | Линия данных 7   |                 |         |                  |

рассчитанными на установку 7-контактных карт MMC. Естественно, что при подключении к 7-контактному интерфейсу скорость передачи данных снижается.

## СОВМЕСТИМОСТЬ

Карты различных модификаций MMC в большинстве своем совместимы между собой, однако при этом скорость работы карты зависит от ис-

пользуемого интерфейса. Кроме того, карты с рабочим напряжением 3,3 В не смогут работать в устройствах с напряжением питания 1,8 В, поэтому при выборе карты flash-памяти семейства MMC необходимо быть внимательнее и приобретать карту, рекомендуемую для применения в конкретном устройстве.

## СТРУКТУРА

Конструктивно карта flash-памяти MMC размещена в пластиковом корпусе, в котором находятся контроллер со служебными регистрами и интерфейсом, массив flash-памяти и схема сброса при включении питания. На рис. 7 представлена внутренняя структурная базовой карты памяти MMC.

В зависимости от модификации карты MMC ее структура может иметь некоторые незначительные отличия.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Первоначально карты MMC использовали шесть контактов из семи. Первый контакт был резервным и никуда не подключался. Обмен данными производился по одной двунаправленной линии. В табл. 1 приведено описание выводов такого интерфейса.

В дальнейшем с развитием стандарта на карты в интерфейсе были задействованы все контакты.

Современные карты MMC могут иметь интерфейс, состоящий из 7 или 13 контактов, и работать в одном из двух режимов: MMC или SPI (Serial

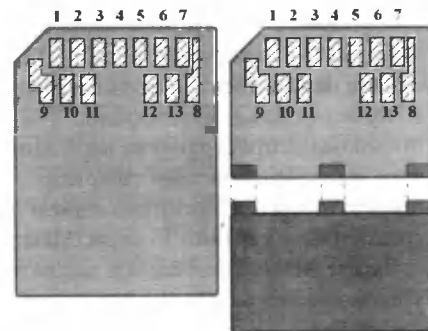


Рис. 8

Таблица 3

| Режим Multi Media Card                                                                                 | Режим SPI                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10-проводная шина, состоящая из сигнала синхронизации, одного разряда команды и 8 разрядов шины данных | 3-проводная последовательная шина данных, состоящая из сигнала синхронизации, входного и выходного разрядов шины данных |
| Выбор производится через назначенный уникальный адрес карты                                            | Выбор карты через аппаратный сигнал CS                                                                                  |

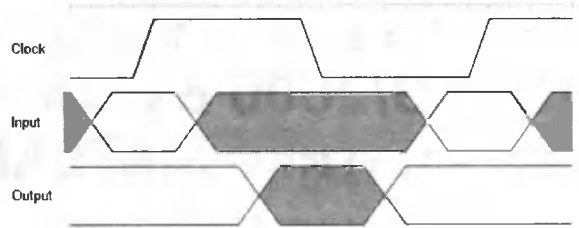


Рис. 9

рации чтения и записи, на диаграмме выделены темным цветом.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Напряжение питания карты допускается в диапазоне от 2,7 до 3,6 В. Потребление тока обычно не превышает 50 мА. Количество циклов перезаписи — не менее 1 млн.

На рис. 10 приведены габаритные чертежи базовой карты памяти MMC.

### ПЕРСПЕКТИВЫ

Компания Gartner Dataquest прогнозирует увеличение рынка продаж карт памяти MMC в 2007 г. 920 млн.

Согласно планам компании Samsung в 2008 г. доля MMC должна достигнуть 52—55 % мирового рынка карт flash-памяти. После принятия спецификации MMC 4.0 данный формат карт памяти вышел на первое место по максимальной скорости чтения/записи данных.

Олег Вальпа

г. Миасс,

Челябинской области

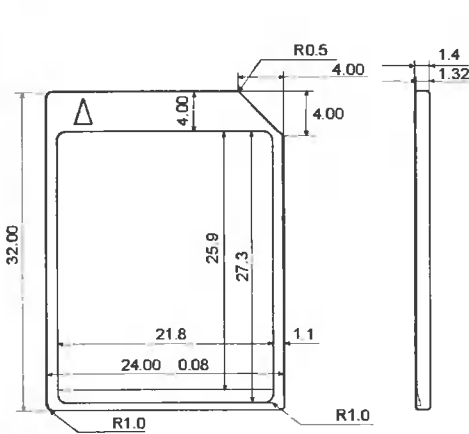


Рис. 10

Peripheral Interface). На рис. 8 показано расположение контактов карты и их нумерация.

В табл. 2 приведено название и описание сигналов интерфейса для обоих режимов работы карты памяти.

Режим SPI является частью протокола MMC и используется для коммуникации с каналом SPI, который обычно используется в микроконтроллерах различных производителей. Это дает возможность использования

уже готовых модулей, уменьшая затраты на разработку устройства.

Режим MMC позволяет повысить скорость чтения и записи данных карты памяти за счет использования параллельной шины данных.

Основные отличия режимов работы карты MMC приведены в табл. 3.

Временная диаграмма работы интерфейса карты представлена на рис. 9. Участки, во время которых данные достоверны и происходит опе-

### Новые книги

А. В. Фрунзе

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ФИРМЫ PHILIPS СЕМЕЙСТВА x51

А.В.Фрунзе

Микроконтроллеры  
фирмы PHILIPS  
семейства x51

Издательский дом «Скимен» выпустил первый том книги Александра Фрунзе «Микроконтроллеры фирмы Philips семейства x51». В этой книге приведен подробный обзор всех выпускаемых фирмой Philips микроконтроллеров, дана информация по доступным отечественному пользователю микроконтроллерам семейства x51, изготавливаемым другими ведущими мировыми производителями. В ней приведена самая свежая на момент выпуска сводная таблица по всем выпускаемым Philips микроконтроллерам, а также терминологический словарь. Далее подробно рассматриваются особенности классических микроконтроллеров семейства x51 — система команд (подробно описаны все команды микроконтроллеров с кодами операций, операндами, примерами действия команд, временем их исполнения) и аппаратные особенности (структура памяти и регистров, арифметическо-логическое устройство, таймеры-счетчики и режимы их работы, система прерываний, стандартный последовательный порт со всеми режимами работы и система управления питанием). Подробно описаны микроконтроллеры с разработанным фирмой Philips оригинальным ядром 80C51+, в том числе микроконтроллеры с флэш-памятью программ, с программируемой матрицей счетчиков, с расширенной памятью программ и данных. Рассмотрены также микроконтроллеры с дополнительными портами ввода/вывода, с аппаратно реализованной шиной I<sup>2</sup>C и встроенным аналого-цифровым преобразователем. Вся приведенная информация основана на справочных материалах фирмы Philips.

Книга рассчитана на широкий круг инженерно-технических работников, интересующихся последними достижениями микроконтроллерной техники.

Книга формата А4 имеет мягкую обложку и содержит 336 с.

Вы можете подписаться на эту книгу через редакцию. Стоимость подписки — 260 руб., в эту сумму включена пересылка по России. Пример заполнения квитанции для оплаты через банк см. на стр. 56.

# Работа цифровых осциллографов TDS 1000 В/2000 В с системой компьютерной математики MATLAB

Описана стыковка цифровых осциллографов серии TDS1000B/2000B, имеющих скоростной USB-порт, с персональным компьютером. Даны примеры расширенного спектрального анализа осциллограмм с помощью этих средств.

Цифровой осциллограф является важнейшим измерительным прибором разработчика электронных схем. Это дорогой прибор, возможности которого желательно использовать в максимально возможной степени. Возможности цифровых запоминающих осциллографов (ЦЗО), особенно массовых приборов умеренной стоимости серий TDS 1000 В/2000 В корпорации Tektronix, намного расширяются при подключении их к персональным компьютерам через высокоскоростной порт универсальной последовательной шины USB. Это, в принципе, обеспечивают поставляемые с осциллографами программные средства OpenChoice и NI Signal Express Tektronix Edition. Они реализуют идентификацию и активизацию подключенных к ПК осциллографов, просмотр осциллограмм, запись их в файлах стандартных осциллографических форматов и получение копий экрана осциллографов на экране ПК.

Однако неизмеримо большие возможности для обработки сигналов дают современные версии систем компьютерной математики (СКМ), математические и графические средства которых чрезвычайно разнообразны и обширны. К таким СКМ относятся MATLAB [2, 3], Mathcad и др. Но, к сожалению, поддержка формата файлов .CSV, используемого в осциллографах TDS 1000 В/2000 В, этими системами не обеспечивается. Кроме того, желательна непосредственная работа с осциллографами СКМ без идентификации и активизации осциллографов указанными выше программами и без промежуточного преобразования данных в файлы. Все это обеспечивает пакет расширения Instrument Control Toolbox системы MATLAB, введенный в ее последние версии. При этом обеспечивается поддержка виртуальных инструментов стандартной архитектуры VISA (Virtual Instrument Standard Architecture).

К сожалению, примеры применения этого пакета в его описании даны применительно к более старым моделям осциллографов, подключаемым к ПК через медленные порты — коммутационный RS-232 (COM) и приборный GPIB. Это относится и к материалам [4], где описано подключение осциллографов серии TDS5000 через приборный интерфейс GPIB. Поддержка соединения через USB порт, хотя и обеспечена пакетом Instrument Control Toolbox, но описана очень кратко и без реальных примеров применения. Это не удивительно, поскольку пакет Instrument Control Toolbox был создан до появления массовых осциллографов с USB интерфейсом, в частности TDS 1000 В/2000 В. Этот серьезный пробел призвана заполнить данная статья.

Предполагается, что осциллограф серии TDS 1000 В/2000 В подключен кабелем к порту USB и на ПК установлена программа СКМ MATLAB с пакетом расширения Instrument Control Toolbox. Практически использовалась версия СКМ MATLAB R2006b. Должна быть также установлена и программа VISATek.

Пакет расширения Instrument Control Toolbox предоставляет для разработки программ стыковки осцил-

лографа с системой MATLAB следующие основные функции:

- instrhwinfo — возвращает информацию о подключенном к ПК устройстве;
- visa — конструирование VISA-объекта;
- fopen — подключение VISA-объекта к прибору;
- query — запись или чтение форматированных данных с прибора;
- fprintf — запись текста в прибор;
- fclose — отключает связь с прибором;
- binblockread — чтение поблочно данных с прибора.

Для детального знакомства с каждой из этих функций достаточно в командном окне MATLAB исполнить команду:

```
>> instrhelp name
```

Здесь name — имя функции.

Перед разработкой программ надо убедиться в том, что на ПК установлена программа TekVISA. Для этого надо воспользоваться следующей командой:

```
>> tekvisainfo=instrhwinfo('visa','tek')

tekvisainfo =
    AdaptorDllName: [1x67 char]
    AdaptorDllVersion: 'Version 2.4.1'
    AdaptorName: 'TEK'
    AvailableChassis: []
    AvailableSerialPorts: {'ASRL1'}
    InstalledBoardIds: []
    ObjectConstructorName: {'visa('tek', 'ASRL1::INSTR');'}
    SerialPorts: {'ASRL1'}
    VendorDllName: 'visa32.dll'
    VendorDriverDescription: 'Tektronix VISA Driver'
    VendorDriverVersion: 3
```

Это значит, что изначально предполагается работа прибора с COM-портом ASRL1. Чтобы работать с портом USB, надо создать программу на языке системы MATLAB, определив при этом описание осциллографа. Для этого можно воспользоваться поставляемой с прибором программой OpenChoice. На рис. 1 показан момент регистрации осциллографа TDS-2024B в окне этой программы.

Для получения списка объектов надо активизировать кнопку Refresh. В данном случае осциллограф является одним из трех подключенных к ПК USB-объектов. Выделив нужный объект его можно идентифицировать, активизируя кнопку Identify. Имя объекта появится под списком объектов. Завершается идентификация активизацией кнопки OK.

Далее следует выяснить имя VISA-устройства, которым является применяемый осциллограф. Для этого надо открыть окно Preferences программы OpenChoice Desktop и активизировать мышью кнопку VISA. Появится окно

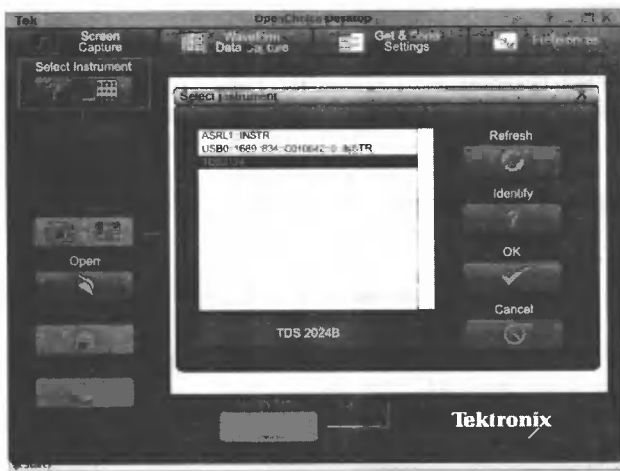


Рис. 1

OpenChoice Instrument Manager со списком доступных для регистрации приборов. Выделив осциллограф, надо нажать кнопку «Свойства». Это приведет к появлению окна TDS2024 с данными о приборе (рис. 2).

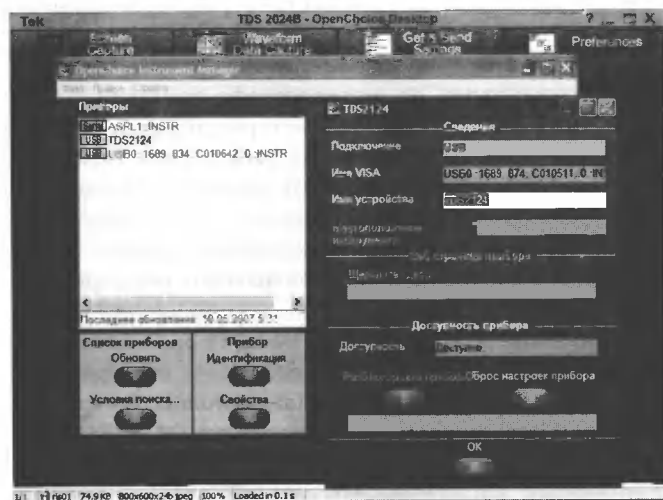


Рис. 2

В окне указано имя VISA-устройства и обычное имя прибора.

На этом потребность в программе OpenChoice завершается и ее можно закрыть и в дальнейшем использовать только тогда, когда нужны именно ее возможности, например, для получения на экране дисплея ПК точной копии экрана осциллографа. Все нужное для активизации осциллографа берет себя программа, созданная в среде MATLAB. Она должна начинаться с создания объекта типа USB-VISA, исполнив команду:

```
>> vu = visa('tek','USB0::1689::874::C010511::INSTR');
```

В ней первый параметр в прямых апострофах указывает на тип объекта — осциллограф фирмы Tektronix, а второй параметр — на имя VISA-устройства, определение которого было описано выше. Это имя содержит указание на порт USB, идентификационные номера устройства и его серийный номер. Важно обеспечить полную точность указания этих данных. Выполнение команды должно закончиться приглашением MATLAB к дальнейшей работе в виде знака «>>>». При этом происходит активизация VISA-объекта осциллографа. Исполнив команду `vu`, можно получить данные о созданном объекте.

Для детального знакомства с объектом `vu` можно использовать команды вызова окон инспектора объекта и обзора методов, используемых в этом программном объекте:

```
>> inspect(vu);
>> methodsview(vu);
```

Эти окна показаны на фоне окна сессии MATLAB на рис. 3.

В них содержится детальная информация о созданном VISA-объекте — в нашем случае осциллографе TDS2024B.

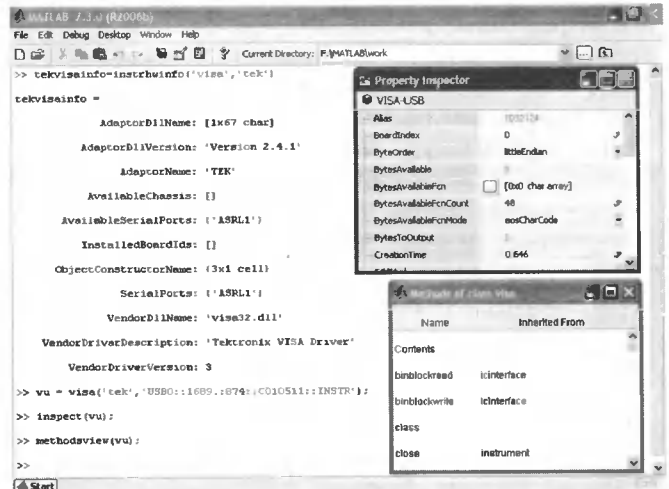


Рис. 3

Теперь создадим программу (М-файл) на языке системы MATLAB, которая обеспечивает активизацию осциллографа и передачу данных с памяти канала CH1 осциллографа в рабочую область (память) системы MATLAB с построением осциллограммы в графическом окне системы MATLAB (рис. 4).

Для создания программы используется редактор М-файлов системы MATLAB. По завершении ввода программы надо записать файл с заданным именем, например `osc.m`.

Эта программа представлена ниже и использует команды и функции пакета расширения Instrument Control Toolbox:

```
%Программа обеспечивает передачу данных с осциллографов
%в рабочее пространство (память)системы MATLAB, создание
%массивов xdata и ydata данных осциллограммы канала CH1
```

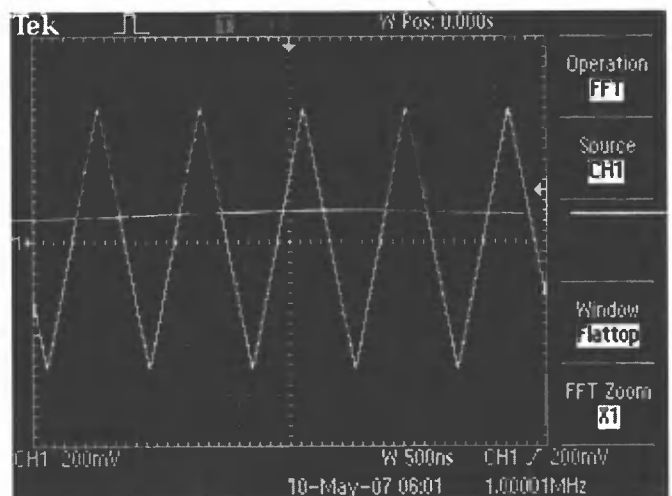


Рис. 4



```
%и определение параметров, нужных для построения графика
%осциллограммы в графическом окне системы MATLAB.
%Создание VISA-объекта
vu = visa('tek','USB0::1689::B74::C010511::INSTR');
fopen(vu); %Открытие объекта vu
%Чтение данных с канала CH1 и определение длины записи
id=query(vu,'*IDN?');
fprintf(vu,'DATA:SOURCE CH1');
l=query(vu,'HORIZONTAL:RECORDLENGTH?','%s\n','%d');
fclose(vu); %Закрытие объекта
vu.InputBufferSize = l; %Задание длины входного буфера
fopen(vu) %Открытие объекта vu
%Чтение данных построения осциллограмм
fprintf(vu,'CURVE?')
data=binblockread(vu,'schar');
ymult = str2num(query(vu,'WFMP:YMULT?')); %Масштаб CH1
yoff = str2num(query(vu,'WFMP:YOFF?')); %Сдвиг CH1
xmult = str2num(query(vu,'WFMP:XINCR?')); %Масштаб по оси X
xoff = str2num(query(vu,'WFMP:PT_OFF?')); %Сдвиг по оси X
xzero = str2num(query(vu,'WFMP:XZERO?')); %Ноль на оси X
%Реконструкция данных для построения графика осциллограммы
ydata = ymult*(data - yoff); %Координаты точек по оси Y
xdata = xmult*((0:length(data)-1)-xoff)+xzero; %то же по оси X
%Построение осциллограммы в графическом окне MATLAB
plot(xdata,ydata)
title('Scaled Waveform Data'); ylabel('Amplitude (V)');
xlabel('Time (s)')
fclose(vu) %Закрытие объекта vu
Fs = 1/xmult; %Вычисление частоты отсчетов
NFFT = 1024; %Задание числа гармоник FFT
```

При исполнении данной программы (командой osc в окне командного режима MATLAB) осциллограф активизируется и создается ряд массивов, которые видны в окне рабочего пространства системы MATLAB, которое показано на рис. 5 слева.

Справа виден график, построенный по полученным от осциллографа данным. Сравнение его с реальной осциллограммой (рис. 4) показывает их полную идентичность. Из массивов наиболее важными являются ydata (значения координат точек осциллограмм по вертикали) и xdata (координаты точек по горизонтали). Важны также значения переменных масштаба и смещения по вертикальной и горизонтальной осям, положения нуля на горизонтальной оси, частота отсчетов Fs и число гармоник NFFT. Они

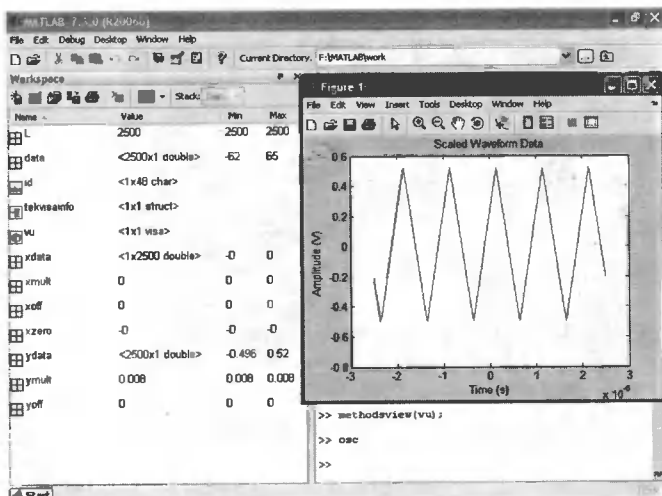


Рис. 5

обеспечивают реконструкцию полученных от осциллографа данных, что и позволяет строить рисунок осциллограммы в графическом окне MATLAB.

Вполне возможно считывание данных автоматических измерений осциллографа. Например, для считывания двойной амплитуды сигнала, представленного осциллограммой, перед последней строкой приведенной выше программы достаточно вставить фрагмент:

```
%Чтение данных измерения - двойной амплитуды
fprintf(vu,'MEASU:IMM:SOU CH1');
fprintf(vu,'MEASU:IMM:TYP PK2');
pk2pk = query(vu,'MEASU:IMM:VAL?')
```

Тогда исполнение команды osc даст вывод значения двойной амплитуды:

```
>> osc
pk2pk =
1.0320000648E0
```

В данном случае на вход осциллографа был подан синусоидальный сигнал от генератора AFG3101 с двойной амплитудой 1 В.

С полученными от осциллографа данными можно выполнять любые операции, которые предусмотрены в MATLAB и в десятках пакетов расширения этой мощной системы компьютерной математики. Покажем это на примерах проведения спектрального анализа полученной осциллограммы различными методами, которые не реализованы в самом приборе и позволяют расширить его возможности.

К примеру, осциллографы TDS 1000 В/2000 В не предусматривают возможность проведения спектрального анализа в линейном масштабе (задан только логарифмический). Ниже представлена программа (М-файл) spec\_1 выполняющая вычисление и построение графика спектра с линейным масштабом для сигнала, отсчеты которого хранятся в векторе ydata:

```
%Вычисление и построение спектра в линейном масштабе
Y = fft(ydata,NFFT)/L; %Задание БПФ
f = Fs/2.*linspace(0,1,NFFT/2); %Создание вектора частот
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2))) %Построение графика спектра
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of y(t)')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Y(f)')
```

Для проведения спектрального анализа сигнала, осциллограмма которого имеется на экране осциллографа, надо вначале исполнить команду osc (данные от осциллографа вводятся в MATLAB) и после просмотра графика сигнала исполнить команду scs\_1. График будет заменен спектрограммой.

На рис. 6 показан пример импорта осциллограммы прямоугольного импульса — сигнала от генератора AFG3101 корпорации Tektronix. Масштаб по горизонтали выбран так, чтобы с одной стороны было представлено большое число периодов сигнала, а с другой стороны была видна форма импульсов.

На рис. 7 показана спектрограмма прямоугольных импульсов с коэффициентом заполнения 10 % и амплитудой 1 В.

Она четко представляет гармоники спектра. В частности, отчетливо видно, что спектр имеет только нечетные гармоники, амплитуда которых убывает как  $1/k$ , где  $k$  — номер

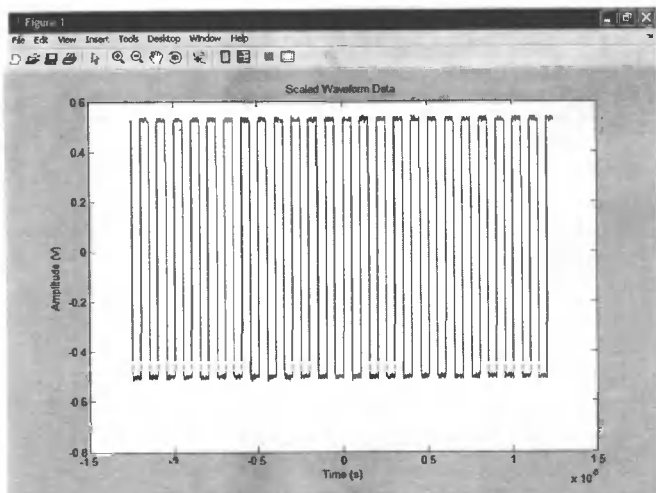


Рис. 6

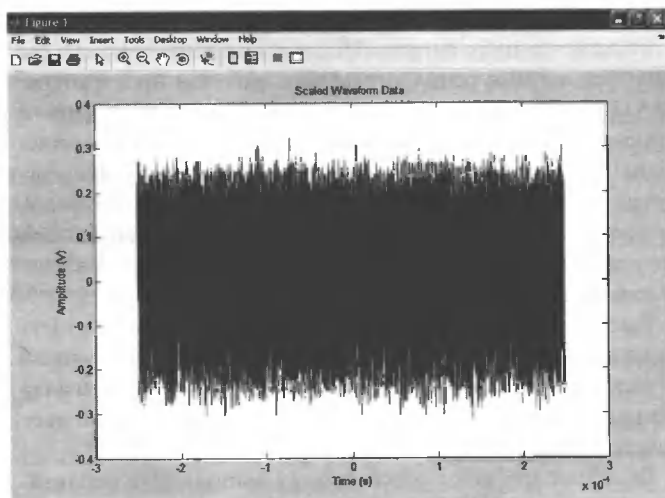


Рис. 8

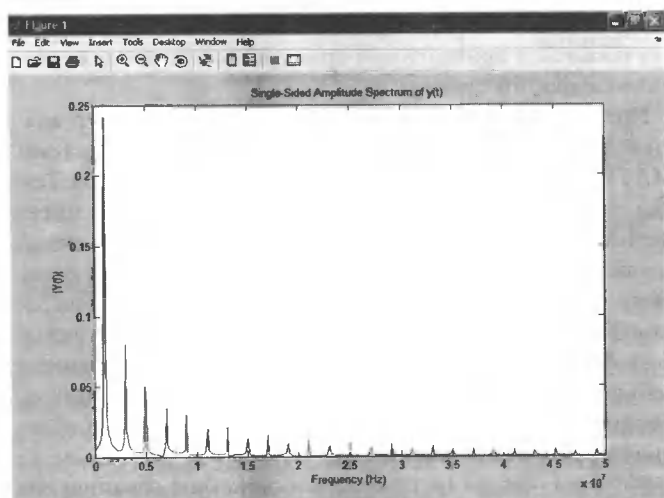


Рис. 7

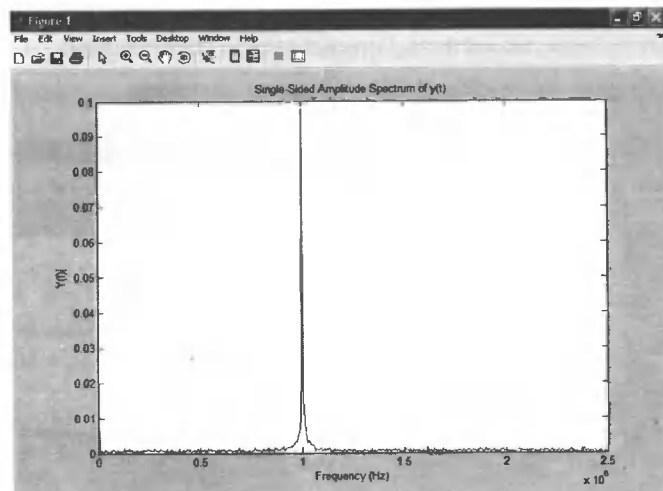


Рис. 9

гармоники. Это полностью соответствует теоретическим представлениям о спектре меандра.

На рис. 8 показана осциллограмма синусоидального сигнала с частотой 1 МГц, засоренная шумом (сигнал получен также от генератора AFG3101). Масштаб по горизонтали выбран так, что осциллограмма выглядит просто как шумовая дорожка — никаких признаков наличия синусоидального сигнала не наблюдается.

На рис. 9 показан спектр сигнала, показанного на рис. 8. Весьма отчетливо видна единственная спектральная линия с пиком на частоте 1 МГц. Таким образом, в данном случае отчетливо выделен сигнал синусоидальной формы. О его синусоидальности говорит практически полное отсутствие других гармоник.

После того, как данные сигнала осциллографа помещены в рабочее пространство (память) системы MATLAB командой `osc`, над ними можно проводить операции как с помощью программных модулей (примеры выше), так и командами, вводимыми в командном окне. Например, следующие команды обеспечивают получение спектрограммы (периодограммы) с окном Блэкмана-Харриса:

```
>> w = blackmanharris(2500);
>> periodogram(ydata,w,2500, Fs);
```

Периодограмма для прямоугольного импульса с частотой 1 МГц и коэффициентом заполнения 5 % показана на рис. 10.

В данном случае вычисляется спектр мощности сигнала в логарифмическом масштабе, что дает очень широкий динамический диапазон периодограммы, в который входят и шумовые компоненты. Окно Блэкмана-Харриса эффективно выделяет гармоники спектра и подавляет шумовые компоненты. Уровень собственных боковых лепестков у этого окна ослаблен более чем на 100 дБ.

К сожалению, временное положение компонент сигнала обычный спектральный анализ Фурье не выявляет. Для наглядной иллюстрации этого зададим с помощью генератора

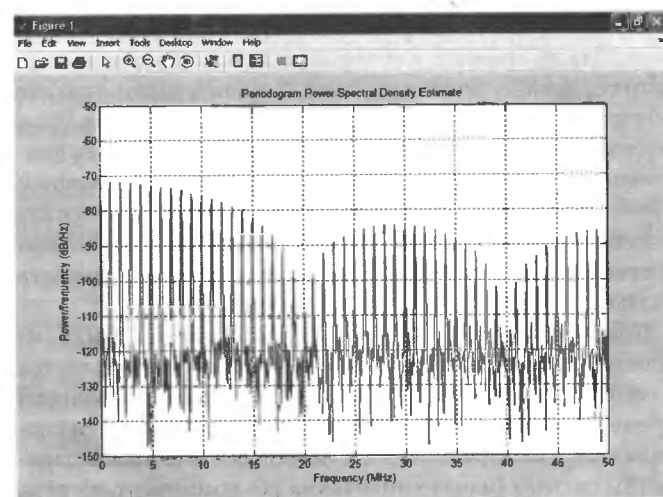


Рис. 10

AFG3101 сигнал в виде пачки из 10 периодов синусоидального зашумленного сигнала. После исполнения команды `osc` получим данные осциллограммы в рабочем пространстве MATLAB. Для получения осциллограммы и спектра в данном случае воспользуемся мощным средством пакета расширения Signal Processing Toolbox — инструментом анализа сигналов, фильтров и спектров SPTool. Запустив его командой `sptool`, можно из его окна загрузить массив `ydata` и наблюдать как сам сигнал, так и его спектр (рис. 11) при разных установках и разных видах спектрального анализа.

Высокая спектральная линия на спектрограмме отчетливо видна и говорит о наличии синусоидального сигнала с частотой 1 МГц. Однако о местоположении сигнала во времени и о его длительности спектрограмма не дает никаких данных.

Функция `spectrogram` обеспечивает выполнение скользящего оконного БПФ и построение спектрограммы в плоскости частота-время с разбивкой времени на ряд участков, размер которых задается размером скользящего окна и длительностью сигнала. Интенсивность спектральных со-

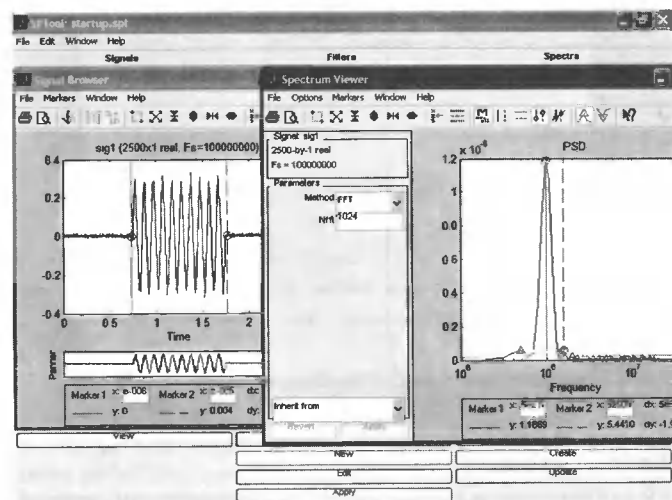


Рис. 11

ставляющих определяется цветом прямоугольников, из которых состоит спектрограмма. Например, для сигнала рис. 11, исполнение команды

```
>> spectrogram(ydata, 128, Fs)
```

создает спектрограмму, показанную на рис. 12.

На ней среди шумовых компонент (хаотично разбросанных прямоугольников разного цвета) отчетливо выделяется область времени, в которой расположена компонента сигнала в виде пачки синусоид. Хорошо видно, что эта область занимает отрезок времени от 7,5 до 17,5 мкс, т. е. местоположение основной компоненты сигнала и ее длительность четко определяются и совпадают с положением пачки синусоид на рис. 11. В указанной области снизу отчетливо видна сплошная темная линия синусоидальной составляющей с частотой 1 МГц. На ее синусоидальность указывает отсутствие высших гармоник.

Поскольку ширина данной области равна 10 мкс, из спектрограммы ясно, что компонента сигнала является пачкой из 10 синусоид! Спектрограммы со скользящим временным окном отчетливо выделяют особенности сигнала во временной области и позволяют оценивать параметры сигнала (начало появления его компонент, их длительность, временное положение), которые невозможно

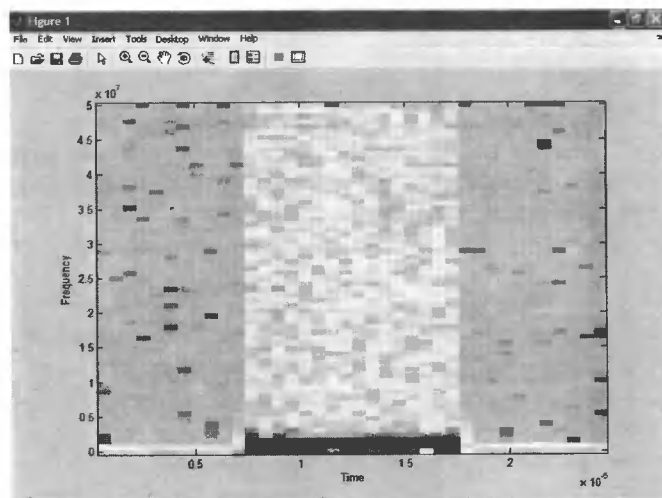


Рис. 12

оценить обычным преобразованием Фурье. В некоторых случаях, как в приведенном примере, возможно даже выявление формы сигнала.

Приведенные примеры из области спектрального анализа демонстрируют лишь малую часть средств системы MATLAB, расширяющих возможности осциллографов. Так, для проведения спектрального анализа MATLAB имеет целый ряд функций, например, оконный спектральный анализ с почти 20-ю видами окон. Для сравнения отметим, что спектральный анализ с помощью осциллографов TDS 1000 В/2000 В возможен только при трех окнах. Есть функции спектрального анализа на основе новейших вейвлет-преобразований [5] и проектирования фильтров. Возможности математической обработки сигналов и осциллограмм очень велики.

Впрочем, нельзя не отметить и серьезное ограничение описанного подхода — обрабатываются только отдельные фрагменты сигналов, которые задаются осциллограммой, представляющей сигнал в определенном промежутке времени. Это значит, что работа в реальном масштабе времени не обеспечивается.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. А. А. Афонский, В. П. Дьяконов. *Измерительные приборы и массовые электронные измерения. Под ред. проф. В. П. Дьяконова.* — М.: Солон-Пресс, 2007.
2. В. П. Дьяконов. *MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6. Основы применения.* — М.: Солон-Пресс, 2005.
3. В. П. Дьяконов. *MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров.* — М.: Солон-Пресс, 2005.
4. *Programming Tektronix OpenChoice Oscilloscopes with MATLAB®. Tektronix OpenChoice Software Developers' Kit.* — Articles (PHP0249).
5. В. П. Дьяконов. *Вейвлеты. От теории к практике. Изд-е 2-е переработанное и дополненное.* — М.: Солон-Пресс, 2004.

Владимир Дьяконов,  
г. Смоленск

# Снижение мощности, потребляемой реле

Задача снижения мощности, потребляемой реле в статическом режиме, не теряет актуальности для разработчиков электронной аппаратуры. Использование современной элементной базы позволяет разместить на плате компактное устройство управления реле, которое позволяет минимизировать потребляемую им мощность.

На рис. 1 представлена схема, позволяющая осуществлять управление обмоткой электромагнитного реле с номинальным напряжением питания 6 В.

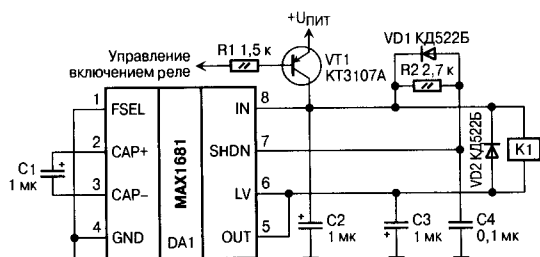


Рис. 1

Для уверенного срабатывания реле сначала к нему прикладывается полное напряжение, а затем оно снижается до напряжения удержания, равного приблизительно 3,3 В. Указанный алгоритм управления позволяет снизить потребляемую реле мощность приблизительно в четыре раза.

Для управления реле используется преобразователь напряжения на переключаемых конденсаторах MAX1681 [1] производства компании Maxim/Dallas. Этот производитель изготавливает еще одну микросхему той же серии — MAX1680 [1], отличающуюся лишь некоторыми показателями.

## Основные технические параметры микросхемы MAX1681

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| Напряжение питания, В                               | 2,0...5,5 |
| Выходной ток, мА                                    | ≤ 125     |
| Падение напряжения на микросхеме при токе 125 мА, В | 0,44      |
| Эквивалентное выходное сопротивление, Ом            | 3,5       |
| Ток потребления в выключенном режиме, мкА           | 1         |
| Корпус                                              | SOIC8     |

Микросхемы MAX1681 и MAX1680 могут инвертировать или удваивать входное напряжение. Возможен выбор частоты переключения — 500 кГц/

1 МГц для MAX1681 и 125/250 кГц для MAX1680.

Достоинством данных микросхем является возможность использования выходных, входных и переключаемых

конденсаторов малой емкости — 1 и 4,7 мкФ для MAX1681 и MAX1680 соответственно.

Напряжение питания всего узла (+U<sub>пит</sub>) составляет 3,3 В. Преобразователь обеспечивает его инвертирование таким образом, чтобы получить напряжение 6 В, необходимое для включения реле. При подаче низкого напряжения на резистор R1 включается транзистор VT1, что приводит к включению преобразователя и выработке на его выходе OUT напряжения около -3 В относительно общего провода. На реле поступает номинальное питающее напряжение, что приводит к его включению.

Внутренняя частота переключения преобразователя выбрана 1 МГц подключением вывода 1 FSEL к общему проводу, она значительно превышает частоту переключения популярной микросхемы удвоите-

Таблица 1

| Сопротивление обмотки реле, Ом | Напряжение срабатывания, В * | Напряжение срабатывания, В ** | Напряжение удержания, В |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 400                            | 5,51                         | 6,18                          | 3,293                   |
| 180                            | 4,80                         | 5,87                          | 3,283                   |
| 90                             | 3,94                         | 5,40                          | 3,266                   |

\* Конденсаторы C1—C3 — обычные танталовые окученные емкостью 1 мкФ на напряжение 6,3 В.

\*\* Конденсатор C2 — Sanyo OS-CON 25SC1M с низким последовательным сопротивлением (≤ 350 мОм).

ля/инвертора напряжения ICL7660, равную 10 кГц. Данное обстоятельство позволяет использовать выходные, входные и переключаемые конденсаторы C1—C3 емкостью всего лишь 1,0 мкФ. В качестве этих компонентов можно использовать недорогие керамические конденсаторы 1206YC105MAT2A серии X7R производства компании AVX.

При поступлении на вход микросхемы DA1 напряжения питания начинается заряд конденсатора C4 через резистор R2. Как только на входе SHDN (вывод 7) напряжение превысит уровень лог. 1, преобразователь выключается, но при этом его выход OUT (вывод 5) не переходит в высокоимпедансное состояние, а через внутренний ключ соединяется с общим проводом, обеспечивая в этом состоянии сопротивление менее 5 Ом. Данное обстоятельство позволяет использовать вывод SHDN как ключ, при срабатывании которого напряжение на выходе OUT увеличивается с -3 В относительно общего провода (переключатель работает в режиме инвертора напряжения) до нуля (переключатель находится в выключенном состоянии). В этом состоянии микросхема потребляет ток менее 1 мкА.

При испытании макета устройства и питании его от источника напряжением 3,3 В, измеренная частота переключения составляла 955 кГц. В табл. 1 приведены параметры работы устройства при управлении реле с рабочим напряжением 6 В и сопротивлением обмотки 400, 180 и 90 Ом.

Анализ таблицы показывает, что при использовании более качественных компонентов показатели работы преобразователя на переключаемых конденсаторах можно значительно улучшить (повысить напряжение на нагрузке). При проектировании и изготовлении подобных узлов к выбору комплектующих деталей следует подходить с особым вниманием.

Ввиду того, что микросхема MAX1681 выпускается в малогабаритном корпусе SOIC8, конструкцию можно сделать очень компактной. Для этого рекомендуется использовать следующие компоненты: DA1 — MAX1681ESA; C1—C3 — PS/L серии PSLP0J475M производства компании NEC-TOKIN (габаритные размеры 2,0×2,5×1,1 мм, ESR = 300 мОм); C4 — KHC500E104M21N0T00 производства компании United Chemi-con (габа-

ритные размеры 2,0×1,25×1,25 мм); D1, D2 — LL4148 производства компании Fairchild Semiconductor (габаритные размеры Ø1,4×3,5 мм); VT1 — FMMT717 производства компании ZETEX (корпус SOT23,  $I_C = 2,5$  А,  $h_{FE} = 180$  (минимум)); R1, R2 — резисторы для поверхностного монтажа (SMD) типоразмера 0402 или 0603.

С целью еще большего снижения тока, потребляемого по входу биполярным транзистором VT1, его мож-

но заменить (вместе с резистором R1) маломощным р-канальным MOSFET транзистором.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1680-MAX1681.pdf>.

Владимир Олейник,  
г. Королев Московской обл.

# Терморегулятор с ПИД алгоритмом управления для охлаждения полупроводниковых лазеров

*Регулированию температуры посвящено множество публикаций в литературе и сети Интернет [1—5], но в большинстве случаев описаны регуляторы с «релейным» законом управления. Эти регуляторы обладают далеко не самыми лучшими характеристиками. В данной статье сделана попытка устранить этот пробел — описан более совершенный пропорционально интегрально дифференциальный (ПИД) терморегулятор.*

Одно из достоинств полупроводниковых лазеров — возможность перестройки длины волны излучения путем изменения температуры теплоотвода (порядка 0,3 нм/°С). При накачке излучением полупроводникового лазера другой активной лазерной среды (лазерного кристалла) необходимо подстройкой температуры попасть в максимум узкой линии поглощения активного элемента и точно (в пределах ширины линии) удерживать эту температуру. Для позиционных («релейных» или Т-регуляторов) терморегуляторов процесс регулирования представляет собой колебания вокруг заданной температуры. Точность поддержания необходимой температуры оказывается неудовлетворительной. Колебания температуры приводят к колебаниям выходной мощности лазерной системы.

Цель разработки — создать регулятор для охлаждения сборки лазерных диодов с мощностью излучения 40 Вт, максимальной мощностью нагрева 60 Вт, максимальным отклонением от заданной температуры не более 0,3 °С в диапазоне 1...25 °С, обеспечив при этом минимальную стоимость изделия.

Кратко опишем алгоритм ПИД регулирования в данной конструкции.

Приведенные ниже имена переменных и параметров соответствуют их

названиям в программе для микроконтроллера (МК) на языке С. Коэффициент усиления системы — это коэффициент заполнения duty прямоугольного сигнала на выводе ШИМ МК, максимальное значение которого равно 255 и соответствует усилению 100 %. Коэффициент усиления складывается из трех составляющих:

$$duty = P\_term + I\_term + D\_term,$$

Первая составляющая

$$P\_term = K\_P \cdot error,$$

где  $K\_P$  — настраиваемый параметр,  $error = CUR\_T - T\_REF$  — разность между текущей температурой и заданной температурой (уставкой) в данной итерации или ошибка.

Пропорциональная составляющая  $P\_term$  вносит в обратную связь отклонение от уставки и отвечает за начальный линейный участок характеристики регулятора, а также за быстрое достижение  $T\_REF$ . При очень большом коэффициенте усиления  $P\_term$  пропорциональный регулятор вырождается в позиционный. Постоянная времени интегрирования или длительность одной итерации в нашей программе постоянна и равна приблизительно 1 с — время преоб-

разования температуры в цифровые данные датчиком DS18B20 [6, 7] плюс время вывода на ЖКИ.

Вторая составляющая

$$I\_term = K\_I \cdot sumError,$$

где  $K\_I$  — настраиваемый параметр,  $sumError = sumError + error$  — суммарная ошибка, максимальная разность между начальной температурой и заданной температурой.

$I\_term$  — интегральная составляющая, которая добавляет в цепь обратной связи интеграл от отклонения, что позволяет избежать статической ошибки. В установившемся режиме ( $error = 0$ ) в интеграторе содержится величина  $I\_term$ , которая равна выходной мощности, требуемой для удержания необходимой  $T\_REF$ , следовательно, интегратор находит статический коэффициент усиления системы. При очень малом  $I\_term$  регулятор очень медленно выводит объект на заданную температуру. При большом  $I\_term$  происходит перерегулирование, т. е. охладитель проскакивает необходимую  $T\_REF$ , а затем стремится к ней.

Третья составляющая

$$D\_term = K\_D \cdot (CUR\_T - last\_T),$$

где  $K\_D$  — настраиваемый параметр,  $last\_T$  — температура, измеренная в предыдущей итерации.

Разность ( $CUR\_T - last\_T$ ) меняет знак при смене характера зависимости температуры. Следовательно, дифференциальная составляющая добавляет в обратную связь производную отклонения (реакцию на возмущение системы), что позволяет улучшить динамические характеристики регулятора.

Подобрав для конкретного объекта  $K\_P$ ,  $K\_I$ ,  $K\_D$  можно оптимизировать качество работы регулятора — уменьшить время выхода на заданную температуру, снизить влияние внешних возмущений, уменьшить отклонение



от заданной температуры. Без настройки ПИД регулятор может работать даже хуже, чем позиционный регулятор. Начальные значения ПИД параметров выбраны из следующих соображений — мощность охладителя (пропорциональная составляющая) при ошибке более 3 °C должна быть близкой к 100 % ( $duty = 255$ ),  $error > 30$  (в программе для экономии памяти микроконтроллера вместо типа float для значения температуры используется тип int для температуры, умноженной на десять, при выводе на ЖКИ дисплей вместо запятой перед последней цифрой ставится пробел). Поэтому  $K_P = 7$ ,  $P\_term = 7 \times 30 = 210$ .

Интегральная компонента при уставке и старте равна 13 °C при комнатной температуре 20 °C и должна быть близкой к 60 %.  $SumError = 70$ , поэтому  $K_I = 2$ ,  $I\_term = 2 \times 70 = 140$ .

Дифференциальная компонента при уходе от  $T\_REF$  на 1 °C должна быть около 10 %.  $CUR\_T-last\_T = 10$ , поэтому  $K_D = 2$ ,  $D\_term = 2 \times 10 = 20$ .

Наиболее удобна, по мнению автора, настройка по методу T-регулятора, регулятора, который затем заменяется на ПИД-регулятор.

Для этого необходимо:

- перевести систему в режим позиционного регулятора;
- определить внешним измерителем температуры амплитуду  $T_{МАКС}$  (в данном случае это температура, умноженная на 10);
- измерить период колебаний  $t$  в единицах длительности одной итерации (в секундах). Система имеет постоянную времени порядка единиц секунд, поэтому для систем с большими характерными временами постоянную времени необходимо изменить;
- вычислить коэффициенты настройки согласно следующим примерным соотношениям (перенормированными для максимального усиления регулятора):

$$K_P = 140/T_{МАКС}, \\ K_I = 0,5t, K_D = 0,12t.$$

Для настройки нужно перевести регулятор в позиционный режим, сняв комментарии в двух следующих строках программы:

```
//if(error > 0) duty = del;
//if(error <= 0) duty = 0;
```

и закомментировать все строчки выше до строки:

$$error = CUR\_T - T_{REF};$$

Более подробную информацию о настройке ПИД-регуляторов можно найти в [8—10].

Система настраивается следующим образом.

Выход датчика температуры DS18B20 (вывод 2 DD1 на рис. 1) подключается ко входу PCI платы цифрового ввода/вывода в ПК, временно выпаивается резистор R7, а база транзистора VT1 подключается к TTL выходу платы для управления элементом Пельтье от ПК по тому же алгоритму.

Наблюдая на мониторе график изменения температуры, можно очень быстро и удобно настроить все параметры. На рис. 2 приведена одна из настроечных зависимостей удержания температуры.

Хорошо заметен небольшой выброс в начале плоского участка из-за боль-

шественном микроконтроллере DD1 AT90S2313 фирмы Atmel с памятью 2 Кбайт. Можно использовать и МК ATTiny2313. Не забудьте поставить «галочки» на Fuse-битах SUT0, CKSEL3, CKSEL2. Для экономии памяти микроконтроллера использован пространственный и доступный семисегментный 10-разрядный ЖКИ модуль DD4 AL-200LCD со встроенным контроллером фирмы Holtek HT1611 и подпрограмма для работы с ним [12]. Встроенные библиотечные функции C компилятора CodeVisionAVR [13] для работы с ЖКИ с контроллером HD44780 и датчиком температуры DS18B20 занимают много памяти и поэтому не используются. Надо отметить, что матричные алфавитно-цифровые ЖКИ с контроллером фирмы Hitachi HD44780 при всех своих достоинствах довольно дороги, да и просто избыточны для данного регулятора.

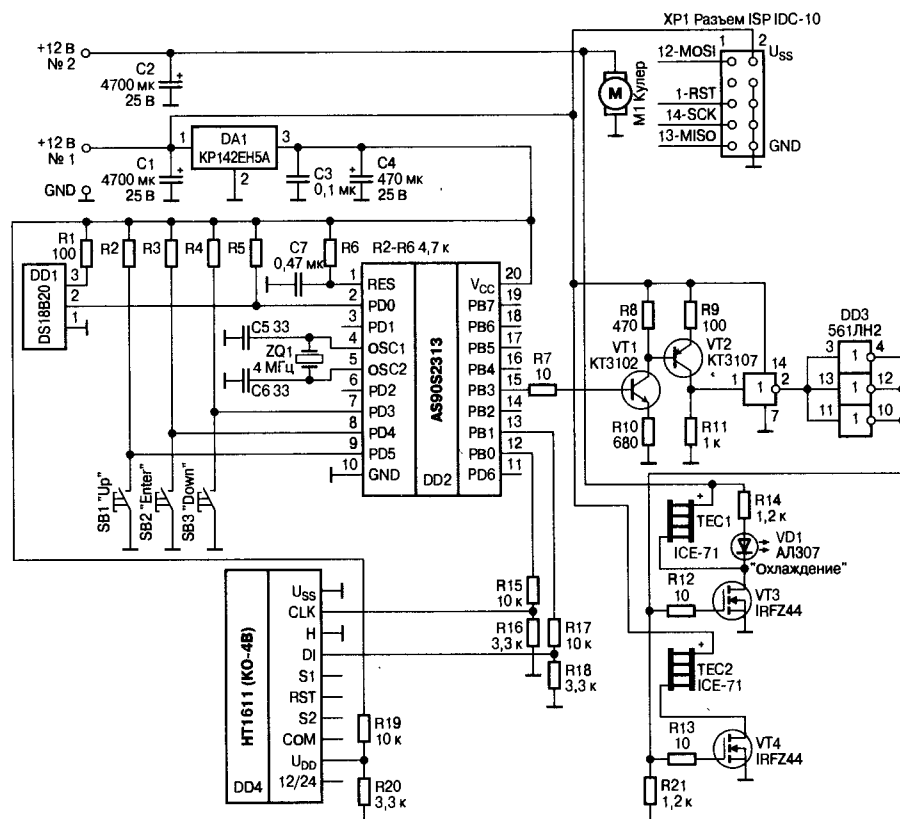


Рис. 1

шого  $K_I$  — происходит перерегулирование.

Для работы по интерфейсу 1-Wire компании Dallas нужна достаточно быстрая плата цифрового ввода/вывода, т. к. большинство плат работают с импульсами длиннее 1 мс. Для этого на сайте производителя плат и ПО есть примеры, например, для COM порта [11].

Принципиальная схема особенностей не имеет. Она построена на распро-

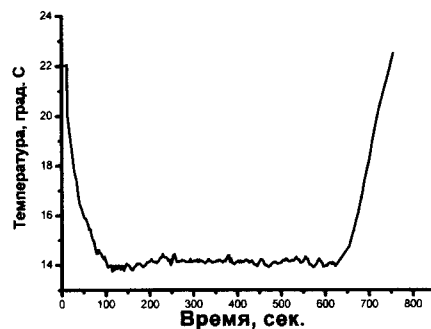


Рис. 2

Также для экономии flash-памяти программ МК в управляющем исходном коде закомментированы строчки для индикации отрицательных значений температуры.

Элементы Пельтье TEC1 и TEC2 мощностью 100 Вт и размерами 40×40 мм ICE-71 [14] или TOM-6-127 [15] крепятся «бутербродом» — сначала лазерный диод на медной пластине, затем первый элемент Пельтье, еще одна медная пластина, второй элемент Пельтье и, наконец, мощный радиатор с компьютерным кулером для процессоров AMD. Вся эта конструкция собирается на теплопроводящей пасте и стягивается длинными винтами через электро- и теплоизоляционные втулки. Датчик крепится к лазерному диоду.

Для питания схемы, кулера и элементов Пельтье используется блок питания ПК 470 Вт с двумя каналами питания +12 В. Плата блока питания и вентилятор аккуратно демонтируются и устанавливаются в корпус большего размера, например, от старого блока питания компьютеров. При подключении необходимо отсоединить плату управления оборотами вентилятора и подключить вентилятор напрямую. Блок будет работать с полной нагрузкой, возможен даже перегрев. В этом же корпусе надо закрепить плату терморегулятора. Модуль ЖКИ и кнопки установлены на передней панели. Плату блока питания и плату регулятора следует соединить гибкими проводами сечением не менее 2,5 мм<sup>2</sup>. Модули Пельтье необходимо соединять таким же проводом. Каскад на транзисторах VT1, VT2 и инверторе DD3 согласует уровень управления 5 В от МК с уровнем 12 В для полевых транзисторов VT3, VT4. Мощные транзисторы желательно установить на небольшие теплоотводы.

При первом включении регулятора необходимо ввести в память последовательно T\_REF, K\_P, K\_I, K\_D. Для этого необходимо нажать и удерживать некоторое время кнопку SB1 или SB3. При входе в режим установки T\_REF на индикатор будут выведены символы F4, а затем значение установки. В режимах установки K\_P, K\_I, K\_D на индикатор будут выведены символы P3, P2, P1 соответственно, а затем значения параметров. Переключение между режимами и выход из меню производится кнопкой SB2 «Enter». Увеличение или уменьшение параметров кнопками SB1 «UP» и SB3 «DOWN». При четвертом нажатии кнопки «Enter» после ввода K\_D на индикатор будут выведены симво-

лы FF, параметры будут сохранены в энергонезависимой памяти и программа вернется в режим циклического измерения температуры и ШИМ регулирования.

Схему и программу легко изменить для случая нагрева вместо охлаждения. Первый способ — исключить первый инвертор микросхемы DD3, для этого нужно перерезать дорожку на плате от вывода 1 DD3 и соединить коллектор VT2 с выводами 3, 11, 13 DD3. Второй способ — программный. Для этого нужно заменить в программе две строки:

```
error error = CUR-T-REF;
```

на строку

```
error = T-REF-CUR-T;  
D_term = K_D·(CUR-T-last-T);
```

на строку

```
D_term = K_D·(last-T-CUR-T);
```

На рис. 3 дано изображение печатной платы (вид со стороны монтажа).

На сайте редакции журнала по адресу [www.dian.ru](http://www.dian.ru) выложены исходный текст программы на языке C для компилятора CodeVisionAVR и hex-файл прошивки микроконтроллера, а также рисунок печатной платы в формате lay. Там же вариант программы и hex-файл для случая применения ЖК индикатора MT-10T7-7T фирмы «Мэлт» [16]. Изменения для этого варианта в схеме следующие — выход DS18B20 надо соединить с выводом 11 МК (порт D, бит 6), выходы кнопок S1—S3 подключить к выводам 12—14 МК (порт B, биты 0—3) соответственно. Входы ЖКИ D0—D3 следует соединить с выводами 2, 3, 6, 7 (порт D, биты 0—3), вход A0 к выводу 8 (порт D, бит 4), вход WR1 соединить с выводом 9 (порт D, бит 5). Входы WR2 и GND надо подключить к выводу 10 МК — GND. Вход питания +E — к шине +5 В. Вход регулировки контрастности ЖКИ U0 подключить к общему проводу через резистор 100 Ком. Согласующие резисторы R15—R20 удалить.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. А. Мельников. Термометр с ЖКИ и датчиком DS18B20. — Радио, 2007, № 1, с. 46.
2. К. Трищенко. Усовершенствованный термометр-термостат на

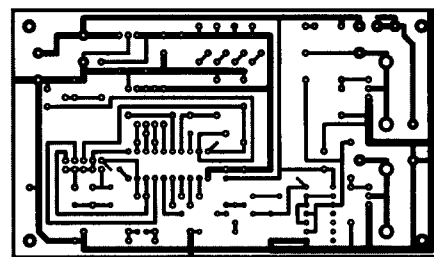


Рис. 3

микроконтроллере. — Радио, 2006, № 1, с. 43.

3. С. Коряков. Термометр с функцией таймера или управления термостатом. — Радио, 2003, № 10, с. 26.

4. П. Негроров. Электронный термометр на основе DS18B20. — Радиолюбитель, 2006, № 1, с. 31.

5. С. Аврамов. Простой термометр с датчиком температуры на DS18B20. — Радиолюбитель, 2006, № 3, с. 16.

6. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. — <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

7. А. Кокунин. Датчики температуры DS18B20. — Радиолюбитель, 2006, № 4, с. 65.

8. Д. Корниенко, А. Ерков, А. Хорошавцев. Регуляторы температуры. — [http://icm-tec.com/main1\\_8.htm](http://icm-tec.com/main1_8.htm).

9. <http://www.contravt.ru/>.

10. А. Фрунзе. Практика создания ПИ-регуляторов. — Схемотехника, 2001, № 1, с. 24.

11. <http://www.ni.com/>.

12. А. Шипов. НИИТ1611.С. — Пример работы с цифровым ЖКИ дисплеем HT1611. — <http://www.chat.ru/~histarcorp>.

13. <http://www.hpinfootech.com>.

14. <http://www.kryotherm.ru>.

15. <http://www.niitop.ru>.

16. <http://melt.com.ru/work/display/330#programm>.

Ильдус Нургалеев,  
Валерий Шарков,  
г. Нижний Новгород

# Автоматический включатель освещения на базе датчика движения

«Мастер КИТ» предлагает набор NM6013, позволяющий собрать автоматический включатель освещения на базе инфракрасного датчика движения.



Любые нагретые предметы, включая человеческое тело, являются источниками инфракрасного излучения. Это свойство используется для создания пассивных датчиков движения в системах автоматического включения освещения и охраны помещений. Такие датчики реагируют на малейшие изменения теплового излучения, вызываемые перемещением предметов в охраняемом помещении. Называются такие устройства пирозлектрическими датчиками, они состоят из инфракрасного приемника теплового излучения и предварительного усилителя на полевом транзисторе. Инфракрасный приемник — это специальный фотоэлемент, который вырабатывает электрический сигнал пропорциональный уровню попада-

ющего на него теплового излучения. Для снижения уровня помех перед фотоприемником обычно устанавливается светофильтр, пропускающий излучение только в диапазоне длин волн 5...14 мкм, наиболее характерном для излучения человеческого тела. Пирозлектрические датчики, построенные на базе простого одноканального инфракрасного приемника, не обеспечивают защиты от ложных срабатываний. Такие датчики реагируют на изменение внешней температуры, тепловые потоки от батарей отопления, солнечную засветку. Чтобы обеспечить защиту от ложных срабатываний, в более сложных датчиках инфракрасный приемник выполняется в виде двух одинаковых приемников, включенных навстречу друг другу.

При таком включении напряжения, генерируемые в фотоприемниках от внешней засветки и изменения температуры корпуса датчика, вычитаются и практически полностью компенсируются. Такие датчики реагируют только на изменение инфракрасного излучения и являются датчиками движущихся объектов. Не стоит думать, что такой датчик реагирует на перемещение только нагретых объектов. Поскольку в помещении всегда присутствует неравномерный тепловой фон, перемещение даже не нагретого объекта приводит к изменению теплового фона и срабатыванию датчика движения. Примером такого датчика является пирозлектрический датчик IRA-E710 фирмы Murata. Схематично его устройство показано на рис. 1.

## СВЕТОДИОДНЫЕ лампы

**MR-16**  
**MR-11**

- замена галогенных ламп с цоколем GU5.3 и GU4.0
- отсутствие нагрева поверхности
- совместимость с цоколем E27

для замены миниатюрных ламп накаливания

- гарантированный срок службы: 10 лет
- IP54
- Диаметр 35 и 50 мм

ПЛАТАН

Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, стр. 2  
Тел./факс: (495) 97-000-99

Почта: 121351, Москва, а/я 100  
E-mail: platan@aha.ru

## ВЕНТЕСН® ПРОМЫШЛЕННЫЕ металлические вентиляторы

- полностью металлическое исполнение вентилятора: корпус, лопасти
- рабочее напряжение 220, 380 В переменного тока
- прямоугольный и круглый профиль
- с одно- и трехфазным электродвигателем
- модели со встроенным конденсатором

**250FZL/FZY**  
**300FZL/FZY**  
**350FZL/FZY**  
**400FZL/FZY**

www.platan.ru

Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, стр. 2  
Тел./факс: (495) 97-000-99

Почта: 121351, Москва, а/я 100  
E-mail: platan@aha.ru

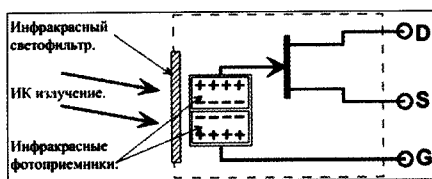


Рис. 1

Описываемое в статье устройство «Автоматический включатель освещения на базе датчика движения» собрано из набора NM6013 и обеспечивает включение ламп освещения на заданный интервал времени при появлении движущегося объекта в зоне его обнаружения. Время, на которое включается освещение, можно регулировать в широких пределах. В состав устройства входит также датчик внешней освещенности, его можно настроить так, что дополнительное освещение включается только при недостатке естественного освещения. В качестве исполнительного элемента используется симистор.

#### Технические характеристики

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| Напряжение питания, В           | 220±10 % |
| Максимальная мощность лампы, Вт | 500      |
| Время включенного состояния, с  | 5...300  |
| Дальность срабатывания, м       | 3...5    |
| Размеры печатной платы, мм      | 82×40    |
| Габариты корпуса, мм            | 85×50×35 |

Время включенного состояния измеряется от последнего зарегистрированного движения в зоне обнаружения датчика.

Принципиальная схема устройства показана на рис. 2.

Устройство работает следующим образом. Инфракрасное (ИК) излучение принимается пироэлектрическим приемником PIR1. Поскольку приемник реагирует только на изменение уровня ИК излучения между площадками приемника, перед ним устанавливается модуляционная решетка, состоящая из узких горизонтальных прозрачных и непрозрачных полосок. Тепловой объект, перемещаясь, оказывается поочередно закрыт/открыт для фотоприемника. Это вызывает появление на выходе фотоприемника переменного напряжения, которое является признаком движущегося объекта. Подбирая ширину модулирующих полосок можно добиться максимальной чувствительности прибора для объектов заданного размера, а изменяя размер окна модуляционной решетки, можно оптимально сформировать зону обслуживания прибора.

Питание на встроенный усилитель пироэлектрического приемника подается через сглаживающий фильтр R1C1. Выходной сигнал снимается с вывода 2. Резистор R19 является внешней нагрузкой встроенного полевого транзистора. Далее сигнал поступает на усилитель с коэффициентом усиления около 150, собранный на DA1 (выводы 1—3). При отсутствии движения в зоне действия датчика напряжение на выходе ОУ будет неизменным, а при появлении движущихся объектов на выходе ОУ появляется переменная составляющая. Эта составляющая через конденсатор C2 поступает на второй каскад усиления на DA1 (выводы 12—14), который имеет усиление около 100. Далее сигнал подается на компаратор, собранный на DA1

(выводы 8—10). Порог срабатывания компаратора задается резистивным делителем R8R11R20. В исходном состоянии напряжение на выходе компаратора близко к нулю, конденсатор C7 разряжен. Если переменная составляющая сигнала от датчика движения превышает порог срабатывания компаратора, на его выходе появляется напряжение близкое к напряжению источника питания, которое быстро заряжает времязадающий конденсатор C7. Диод VD5 не дает разрядиться конденсатору C7 через низкое выходное сопротивление компаратора. Разряд конденсатора происходит через последовательно соединенные резисторы R14, R22. При помощи переменного резистора R22 время разряда можно изменять в диапазоне 5...300 с. Конденсатор C7 подключен к неинвертирующему входу второго компаратора, собранного на DA1 (выводы 5—7). Порог срабатывания этого компаратора задается резистивным делителем R9R13. Сигнал с выхода этого компаратора поступает на усилитель на транзисторе VT1 и далее на управляющий вывод полупроводникового симистора, который подает напряжение на нагрузку. Время включенного состояния нагрузки определяется суммой продолжительности действия сигнала с датчика движения и постоянной времени разряда цепи C7R14R22.

Кроме инфракрасного датчика движения в устройстве установлен фотоприемник видимого света — фотодиод ФД263. На фотодиод, включенный в обратном направлении, через резисторы R15, R23 подается напряжение питания. Напряжение с образованного делителя поступает через

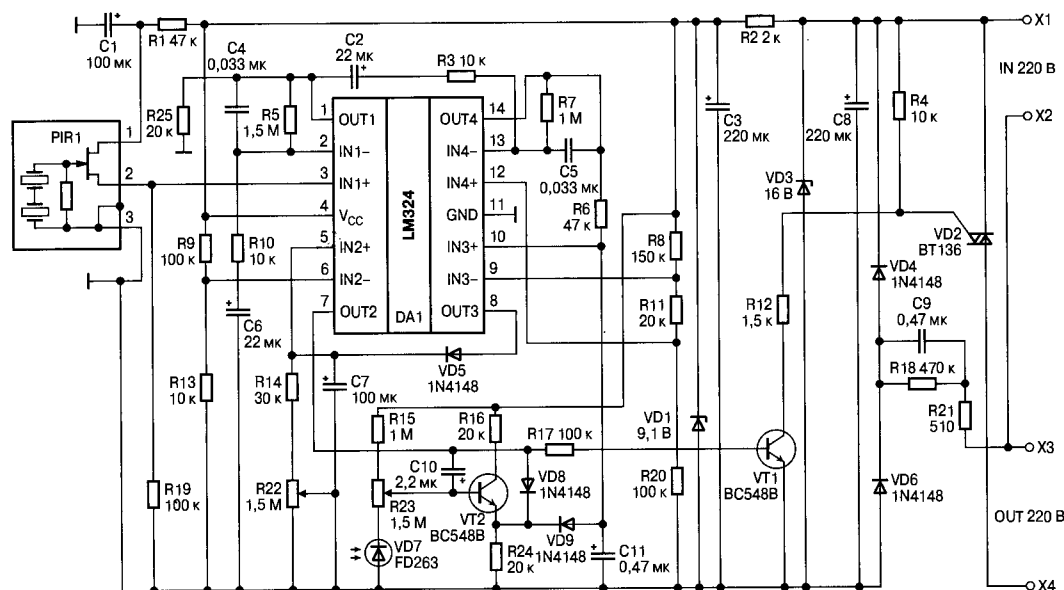


Рис. 2

резистор R23 на базу транзистора VT2. Пока внешняя освещенность мала напряжение на базе транзистора высокое, и он не оказывает никакого влияния на работу устройства. При достижении порогового уровня освещенности напряжение на базе транзистора падает, падает напряжение на его эмиттере, и через диод VD9 он блокирует прохождение сигнала с датчика движения. Внешняя освещенность, при которой происходит блокировка включения лампы по датчику





Рис. 6

движения, регулируется переменным резистором R23.

Если произошло включение лампы по датчику движения, работа узла контроля внешнего освещения блокируется при помощи диода VD8. При выключении лампы конденсатор C10 обеспечивает задержку включения схемы контроля внешнего освещения на 2...3 с. Этим обеспечивается отсутствие ложных переключений во время переходных процессов при выключении нагрузки.

Питание устройство получает от бестрансформаторного блока питания, состоящего из выпрямителя собранного на элементах R21, R18, C9, VD4, VD6, C8 и двухступенчатого стабилизатора на элементах VD3, R2, C3, VD1.

Устройство собрано на печатной плате размерами 82×40 мм, которая устанавливается в пластиковый корпус с поворотным кронштейном, позволяющий сориентировать требуемым образом положение приемного окна прибора после его установки.

Внешний вид устройства показан на рис. 3, пироэлектрический датчик — на рис. 4.



Рис. 3

Прямоугольное окно ИК-приемника располагается вертикально.

В процессе эксплуатации необходимо резистором R22 установить желаемое время работы освещения и резистором R23 порог внешней освещенности, при котором свет не включается (рис. 5).



Рис. 4



Рис. 5

Нужно иметь в виду, что время работы освещения отсчитывается от момента последнего обнаруженного движения в зоне работы датчика. Также нужно учитывать, что устройство полностью выходит на режим только через 0,5...1 мин после подачи на него питания, поэтому все установки можно делать только по истечении этого времени.

**Популярный ежемесячный журнал по практической радиоэлектронике.**

**Подписка в любом отделении связи.**

**Подписной индекс 74435**

По вопросам размещения рекламы, подписки и реализации обращайтесь по телефону в Москве:

(495) 780-46-61

e-mail: dsv@searu.com

www.searu.com

Для писем: 125190, г. Москва, а/я 12

ООО "СЭА Электроникс"

<http://www.ra-publish.com.ua>

# РАДИОАМАТОР

Практическая радиоэлектроника

**Аудио Видео Электроника Компьютер КВ+УКВ Связь СКТВ**

- Телевизоры фирмы DATWOO на шасси WP811N
- FM-приемник, особенности и перспективы коэффициента передачи выходных транзисторов VM34
- Ремонт телевизоров фирм JVC и Aiwa
- Пятиламповый радиоприемник Рекорд
- Селективный двухчастотный металлоискатель Кошеч
- Формирователи обратной величины
- Ручной малогабаритный электронный тестер M54B
- Предупреждение перегрева кулеров компьютера
- Ремонт стиральных машин Indesit WDS 1040 TX и Ariston AS 1047 CTX
- Буферные усилители в практике ремонта конструирования и модернизации аппаратуры
- Виртуальный частотомер
- Основы программируемых логических матриц фирмы ALTERA
- Микроконтроллеры PIC
- Любительская связь и радиоспорт

**150**  
номеров  
для наших  
читателей



Порог срабатывания датчика движения определяется номиналом резистора R11, поэтому при повышенном уровне ложных срабатываний устройства сопротивление этого резистора рекомендуется увеличить, а при необходимости повышения чувствительности устройства несколько уменьшить.

Вариант установки прибора над коридорной дверью рядом с осветительной лампой показан на рис. 6.

Прибор реагирует на пересечение движущимся объектом линий модуляционной решетки, поэтому он должен устанавливаться так, чтобы движущийся объект пересекал ее. Поэтому прибор лучше ставить свер-

ху — на стене или потолке, так, чтобы он решетчатым окошком «смотрел» на зону обнаружения, а движущиеся объекты перемещались преимущественно поперек решетки. Если необходимо, чтобы прибор срабатывал при пересечении человеком определенной границы, его можно установить вертикально, чтобы приемное окно смотрело поперек этой границы.

В качестве «движущегося объекта» автор применил открывающуюся входную дверь в квартиру. Аналогично срабатывает датчик и на движение человека в коридоре квартиры.

Устройство, подключенное в сети питания дверного звонка, также ре-

агирует на нажатие кнопки дверного звонка. Это очень удобно, т. к. не нужно включать в коридоре свет: Вы подходите к входной двери, чтобы открыть ее, посмотрев в дверной глазок, а свет уже горит!

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Описание набора NM6013.
2. [www.masterkit.ru](http://www.masterkit.ru).

Юрий Садиков,  
sadikov@masterkit.ru  
г. Москва

Чтобы сэкономить время и избавить вас от рутинной работы по поиску необходимых компонентов и изготовлению печатных плат, «Мастер КИТ» предлагает набор **NM6013**. Набор состоит из печатной платы, всех необходимых компонентов и инструкции по сборке и эксплуатации.

Более подробно ознакомиться с ассортиментом нашей продукции можно с помощью CD-каталога «Мастер КИТ-2007» и на сайте [www.masterkit.ru](http://www.masterkit.ru), где представлено много полезной информации по электронным наборам и модулям «Мастер КИТ», приведены адреса магазинов, где их можно купить.

На сайте «Мастер КИТ» работает конференция и электронная подписка на рассылку новостей, в разделе «КИТы в журналах» предложены радиотехнические статьи, а также много интересной информации для радиолюбителей и специалистов. Наш ассортимент постоянно расширяется и дополняется новинками, созданными с использованием новейших достижений современной электроники.

Наборы, блоки и модули «Мастер КИТ», а также журналы «Схемотехника» можно купить в магазинах радиодеталей вашего города.

За справками можно обратиться по тел. (495) 234-77-66, по почтовому адресу: МАСТЕР КИТ, А/Я 19, Москва, 109044, Россия.

Желаем вам приятных покупок!

# Преобразователь сигналов шунтов в цепях постоянного тока

Описан преобразователь сигналов стандартных шунтов в силовых цепях постоянного тока. Представлены рекомендации по его расчету, регулированию и применению.

Обеспечение безопасного и безаварийного функционирования электротехнического оборудования является одной из важнейших задач автоматизации технологических процессов. Для измерения токов в электротехнических установках часто применяют резистивные шунты, отличающиеся широкой номенклатурой и относительно невысокой стоимостью [1]. Информационную совместимость сигналов шунтов с приборами автоматики обеспечивают с помощью нормирующих преобразователей [2—4]. Фрагмент подсистемы сбора и обработки информации с применением таких преобразователей показан на рис. 1.

Источник электроэнергии (G) с электродвижущей силой  $E_p$  и выходным сопротивлением  $r$  питает потребитель (П) с эквивалентным сопротивлением  $R_n$ . Для измерения тока  $I$  в силовую цепь включен шунт — датчик тока (ДТ) с сопротивлением  $R_{DT}$ , выходное напряжение которого  $U_{DT} = I \times R_{DT}$  поступает на преобразователи сигналов шунтов (ПСШ1, ПСШ2), формирующие на входах многоканального прибора ввода информации (ПВИ) сигналы, гальванически развязанные от силовой цепи.

Чтобы обеспечить возможность поочередного отключения ПСШ без снижения точности, входное

сопротивление каждого из них должно быть достаточно высоким. Особенность ПСШ связана с необходимостью защиты их входных цепей в аварийных режимах, сопровождающихся разрушением шунта. При этом к входам ПСШ (рис. 1) приложено напряжение питания силовой цепи ( $E_p$ ), что может стать причиной теплового разрушения входных каскадов, а в ряде случаев привести к потере функции гальванической развязки силовых и сигнальных цепей. Поскольку пассивные диодно-резистивные цепи защиты ПСШ при сопротивлении балластного резистора порядка  $10^5$  Ом характеризуются существенной погрешностью, обусловленной токами утечки диодов, представляет интерес

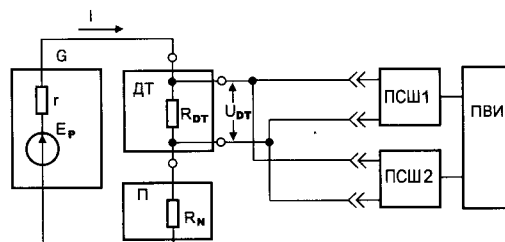


Рис. 1

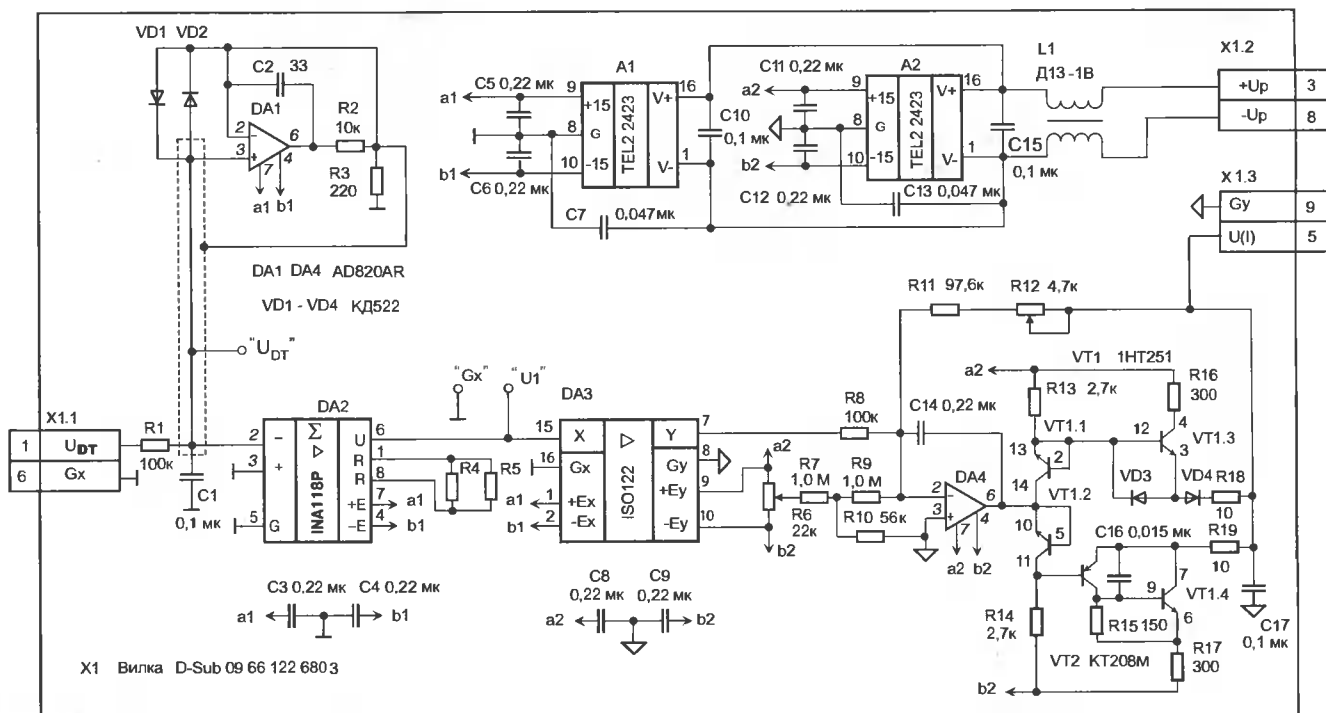


Рис. 2

применение ограничителей напряжения с уменьшенными токами утечки.

В состав ПСШ (рис. 2) с уменьшенным влиянием схемы защиты входных цепей на погрешность преобразования входят следующие функциональные узлы:

- измерительный усилитель (на микросхемах DA1 и DA2);
- узел гальванической развязки (DA3);
- инвертирующий выходной усилитель на ОУ DA4 с выходным каскадом на транзисторах VT1, VT2, имеющих защиту от короткого замыкания в нагрузку;
- узел электропитания на конверторах A1 и A2.

Измерительный усилитель, коэффициент передачи которого определяется сопротивлениями резисторов R4, R5, преобразует сигнал низкого уровня шунта  $U_{DT}$  в напряжение  $U_I$ , изменяющееся в диапазоне 0...10 В. Повторитель напряжения (DA1) формирует потенциал экрана во входной цепи ПСШ. Ток утечки в узле защиты соответствует входному току операционного усилителя DA1.

Устройство гальванической развязки передает напряжение  $U_I$  в цепи, гальванически развязанные от цепей датчика. Выходной усилитель формирует на внешней нагрузке сопротивлением не менее 1 кОм напряжение  $U(I) = 10 \times U_{DT} / U_{MAX}$ , где  $U_{MAX}$  — максимальное значение выходного напряжения шунта. Резисторы R6 и R12 предназначены для регулирова-

ния начального значения и масштаба напряжения  $U(I)$ .

Повышение входного напряжения ПСШ выше уровня ограничения, определяемого максимальным значением выходного напряжения микросхемы DA1, коэффициентом передачи и выходным сопротивлением делителя напряжения, построенного на резисторах R2, R3, приводит к отпиранию диодов V1, V2 и ограничению входного сигнала микросхемы DA2. Практически все входное напряжение падает на резисторе R1, ограничивающем ток узла защиты. Допустимая мощность резистора R1 выбрана из условия неограниченной длительности интервала времени, в течение которого на вход ПСШ поступает напряжение до 400 В.

Транзисторные каскады в выходном усилителе, наряду с обеспечением нагрузочной способности ПСШ, реализуют функцию его защиты от замыкания в нагрузку. Поскольку при таком замыкании умуощняющие транзисторы насыщаются и основная часть мощности рассеивается на ограничительных резисторах R16, R17, длительность замыкания выходов не ограничена.

ПСШ выполнен со сменными резисторами R4, R5, номинальные значения сопротивлений которых в зависимости от максимального значения выходного напряжения шунта указаны в табл. 1.

В ПСШ применены резисторы C2-29В-0,125 с допуском  $\pm 0,1\%$  (R4,

Таблица 1

| Максимальное выходное напряжение шунта ( $U_{MAX}$ ), мВ | Номинальные сопротивления резисторов, кОм |       |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------|
|                                                          | R4                                        | R5    |
| 60                                                       | 1,09                                      | 0,417 |
| 75                                                       | 1,21                                      | 0,549 |
| 100                                                      | 1,01                                      | 1,010 |
| 150                                                      | 1,01                                      | 3,090 |

R5, R8, R11), а также C2-23Н с допуском  $\pm 5\%$  (R1, R16, R17 мощностью 2,0 Вт). Остальные резисторы — 0,25 Вт. Регулировочные резисторы C5-2ВБ — 0,5 Вт с допуском  $\pm 5\%$ . Конденсаторы К73-16 с допуском  $\pm 5\%$  (C1, C14 на напряжение до 63 В, C7, C13 — до 1000 В), K10-17 — M1500 с допуском  $\pm 5\%$  (C6), K10-17a — H30 (C10, C15), остальные K10-17a — H90. Вместо микросхемы AD820 во входном каскаде можно применить операционный усилитель с малыми входными токами, а в выходном каскаде — операционные усилители с широким диапазоном выходного напряжения. Инструментальный усилитель INA118 может быть заменен микросхемой AD620 (при этом необходимо изменить сопротивления резисторов R4, R5), а полупроводниковые приборы — практически любыми маломощными кремниевыми аналогами.

Проводники, относящиеся к гальванически развязанным частям ПСШ, разнесены по печатной плате. Цепи питания выполнены проводниками с «лучевой» трассировкой. Плата помещена в пластиковый кор-

пус, обеспечивающий крепление на рейку DIN.

Перед регулированием ПСШ термометром с испытательным напряжением не более 10 В измеряют сопротивление изоляции между цепями «Gx» и «Gy», а также сопротивление резистора R1.

Регулирование и проверку ПСШ осуществляют в условиях, соответствующих стандарту [5], с помощью лабораторной установки (рис. 3), включающей калибратор (G1) в режиме формирования напряжения постоянного тока, генератор импульсов (G2), лабораторный источник питания (G3), тумблеры (S1, S2), осциллограф (P1), амперметр (P2), вольтметр постоянного тока (P3) и имитатор нагрузки (R<sub>H</sub>).

На начальном этапе регулирования с помощью резистора R6 по вольтметру P3 устанавливают начальное значение выходного напряжения ПСШ, которое должно быть равно  $0 \pm 2$  мВ (тумблеры S1, S2 в положении «0»).

Далее тумблер S2 переводят в положение «1», на приборе G1 устанавливают формируемое напряжение постоянного тока  $(0,9800 \pm 0,0002) \times U_{\text{MAX}}$ , где  $U_{\text{MAX}}$  — максимальное значение выходного напряжения шунта (табл. 1) и с помощью резистора R12 по вольтметру P3 устанавливают выходное напряжение ПСШ, которое должно составлять  $9,800 \pm 0,003$  В.

После регулирования проверяют соответствие тока потребления ПСШ, измеренного амперметром P2, расчетным значениям, функционирование схемы защиты входных цепей ПСШ, а также оценивают фактическую погрешность преобразования и измеряют величину постоянной времени.

В процессе проверки схемы защиты вольтметр P3 временно подключают к контрольным точкам ПСШ «U<sub>IN</sub>» и «G», на приборе G1 устанавливают формируемое напряжение  $10 \pm 1$  В. При этом напряжение, измеренное вольтметром P3, должно быть в диапазоне 0,5...1,4 В.

Основную погрешность преобразования оценивают при отсутствии входного сигнала, что обеспечивается установкой тумблера S2 в положение «0», а также при выходных напряжениях, близких к значениям 2, 4, 6, 8 и 10 В. Фактические значения погрешности в каждой точке вычисляют по формуле:

$$\gamma_{\text{ф}} = 10 \cdot (U(I) - U_{\text{ф}}) \%,$$

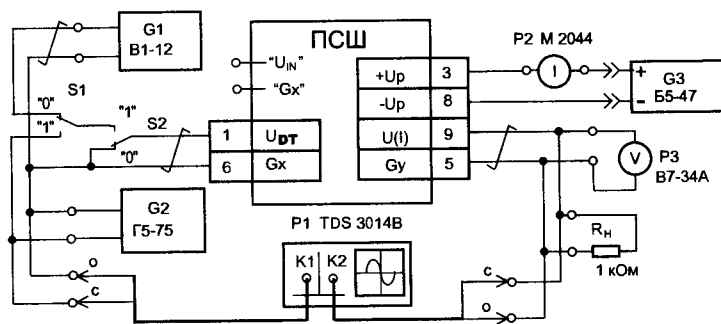


Рис. 3

где  $U(I)$ ,  $U_{\text{ф}}$  — расчетное и фактическое значения выходного напряжения ПСШ, соответствующие фактическому значению напряжения  $U_{\text{DT}}$  формируемого прибором G1.

В процессе проверки динамических характеристик ПСШ тумблеры S1 и S2 (рис. 3) устанавливают в положение «1», включают генератор G2 в режим формирования меандра с амплитудой  $0,8 \times U_{\text{MAX}}$  и периодом  $1,0 \pm 0,1$  с. При этом по осциллограммам входного и выходного импульсных сигналов, наблюдаемым на приборе P1, проверяют соответствие расчетным значениям интервалов времени  $t_1$  и  $t_2$  между одноименными фронтами импульсов (рис. 4).

Ввиду повышенной опасности электротехнического оборудования нормирование метрологических характеристик ПСШ выполнено в соответствии с моделью 2 стандарта [6]. При этом оценка основной погрешности, приведенной к максимальному значению выходного напряжения с учетом допустимой замены средств измерения, составит:

$$\gamma = \sigma + 2 \cdot (\gamma_1 + \gamma_2) + \Delta t \cdot [A_0 + 2 \cdot (A_1 + A_2)],$$

где  $\sigma = 0,05$  % — регулировочный допуск,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  — значения основных приведенных погрешностей приборов G1 и P3;  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  — температурные коэффициенты погрешностей ПСШ и приборов G1 и P3,  $\Delta t = 10$  °C — ширина температурного диапазона нормальных условий.

Средства измерений (рис. 3) в сочетании с применяемой элементной базой, обеспечивают основную погрешность  $|\gamma| \leq 0,1$  %. Рабочим условиям, характеризующимся температурой окружающей среды  $0 \leq t_{\text{ос}} \leq 50$  °C, соответствует дополнительная погрешность

$$|\Delta \gamma(t_{\text{ос}})| \leq 8,25 \cdot 10^{-3} \cdot |t_{\text{ос}} - 25^\circ \text{C}|.$$

При этом оценка эксплуатационной погрешности ПСШ в комплекте с шунтом класса точности 0,2 составит:

$$|\gamma + \Delta \gamma(t_{\text{ос}}) + 0,2\%| \leq 0,5\%.$$

Описанный преобразователь сигналов шунтов может быть применен в системах управления технологическими процессами.

Синтез ПСШ выполнен с помощью расчетной методики PSHdt.mcd в формате MathCad 2000 Pro. Файл можно скачать с сайта редакции журнала по адресу [www.dian.ru](http://www.dian.ru).

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Шунты и добавочные сопротивления. — [www.elpribor.ru](http://www.elpribor.ru).
2. Методы практического конструирования при нормировании сигналов с датчиков (по материалам семинара «Practical design techniques for sensor signal conditioning»). Пер. Б. Л. Горшкова, под ред. В. И. Силантьева. — <http://www.autex.ru>.
3. Гальваническая развязка датчика тока. — <http://www.gaw.ru>, [www.kazus.ru](http://www.kazus.ru).
4. SCM/SCT Series Isolated Signal Conditioning Products. — Dataforth, Burr-Brown Company.
5. ГОСТ 8.395-80. Нормальные условия измерений при поверке.
6. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

Юрий Пахоменков,  
г. Санкт-Петербург

## АДРЕСА НЕКОТОРЫХ МАГАЗИНОВ, В КОТОРЫХ МОЖНО ПРИОБРЕСТИ ПРОДУКЦИЮ МАСТЕР КИТ И ЖУРНАЛЫ "СХЕМОТЕХНИКА"

## РОССИЯ

## Москва

«МиТраКон», e-mail: mtk@mitracon.ru, www.mitracon.ru  
3-й Павловский пер, д. 14/18, стр. 1. Тел: (095) 237-10-95, 237-11-29.  
Факс 959-96-32.  
Проезд до ст. м. «Серпуховская», «Павелецкая», далее 10 мин. пешком.

«Радиохобби», e-mail: radiohobby@dessy.ru  
ул. 2-я Владимирская, дом 3. В помещении 123-го отделения связи.  
Вход со двора.  
Тел. 8-916-927-67-65. Время работы: понедельник—пятница 10.00—18.00;  
суббота 10.00—17.00 без перерыва на обед. Выходной — воскресенье.

«Чип и Дип», e-mail: sales@chipindustry.ru, http://www.chipindustry.ru  
ул. Беговая, д. 2,  
ул. Гиляровского, д. 39,  
ул. Земляной Вал, д. 34,  
ул. Космонавта Волкова, д. 10 (гарантийная мастерская), тел. 159-50-66.  
Тел. единой справочной: розн. 780-95-09, опт. 780-95-00,  
факс 671-31-45.

Митинский радиорынок. Торговый комплекс, цокольный этаж,  
место 56. Тел. моб. 8-903-791-45-78.

«Царицыно», радиорынок, место 126.  
Проезд до ст. метро «Царицыно», далее пешком 5 мин. Время работы:  
9.00—16.00 без выходных.

«На Можайке», радиорынок, пав. 14/22.  
Проезд до ст. м. «Киевская» или «Молодежная», далее бесплатным экс-  
прессом до магазина «Три кита». Время работы: 9.00—18.00. Выходной  
день: понедельник.

«Посылторг», наборы по почте наложенным платежом,  
e-mail: post@solon.ru, http://www.solon.ru  
111401, г. Москва, а/я 1. Тел. (095) 304-72-31.

**С.-Петербург.** «Мега-Электроника», e-mail: info@megachip.ru,  
www.icshop.ru — магазин электронных компонентов on-line  
ул. Большая Пушкарская, д. 41. Тел: (812) 327-32-71,  
факс: (812) 325-44-09

**Барнаул.** «Поток», e-mail: escor\_radio@mail.ru  
ул. Титова, д. 18, 2-ой этаж. Тел. (3852) 33-48-96, 36-09-61

**Владивосток.** «Электромаркет», e-mail: elektro@eastnet.febras.ru,  
www.elektro.febras.ru  
Партизанский проспект, д. 20, к. 314. Тел: (4232) 40-60-03,  
факс: 26-17-27

**Волгоград.** «ChipSet», e-mail: chipset@interdacom.ru  
ул. Петроградская, д. 3. Тел: (8442) 43-13-30

**Екатеринбург.** «Мегатрон», e-mail: 3271@mail.ur.ru  
ул. Малышева, д. 90. Тел: (3432) 56-48-36

**Ижевск.** «Радио», e-mail: rdo@udmnet.ru  
ул. Коммунаров, 230, пер. Широкий, 16,  
ул. 40-лет Победы, д. 52а. Справки по тел/факс (3412)43-72-51, 43-06-04

**Киров.** «Алми», e-mail: mail@almi.kirov.ru  
ул. Степана Халтурина, д. 2а. Тел. (8332)62-65-84

**Красноярск.** «Чип-маркет», e-mail: sergals@mail.ru, http://www.chip-market.ru  
ул. Вавилова, д.2а, радиорынок, строение 24. Тел. (3912)58-58-65

**Мурманск.** «Радиоклуб», e-mail: rclub137@aspol.ru  
ул. Папанина, д. 5. Тел: (8152) 45-62-91

**Новокузнецк.** «Дельта», e-mail: vic@nvkz.kuzbass.net,  
http://www.delta-n.ru  
ул. Воровского, д. 13. Тел: (3843) 74-59-49

**Новосибирск.** «Радиотехника», e-mail: wolna@online.sinor.ru  
ул. Ленина, д. 48. Тел/факс: (3832) 54-10-23

«Радиодетали», e-mail: wolna@online.sinor.ru  
ул. Геодезическая, д. 17. Тел/факс: (3832) 54-10-23

**Норильск.** «Радиомагазин», e-mail: alex.minus@norcom.ru  
ул. Мира, д. 1. Тел/факс: (3919) 48-12-04

**Ставрополь.** «Радиотовары», e-mail: stavvt@mail.ru  
ул. Доваторцев, д. 4а. Тел: (8652) 35-68-24

«Телезапчасти», e-mail: koketka@koketka.stavropol.net  
пер. Чернышевского, д. 3. Тел: (8652) 24-13-12, факс (8652) 24-23-15

**Тольятти.** «Радиодетали», e-mail: alexasa1@infopac.ru  
ул. Революционная, д. 52. Тел: (8482) 37-49-18

**Тольятти.** «Электронные компоненты», e-mail: impulse@infopac.ru  
ул. Дзержинского, д. 70. Тел: (8482) 32-91-19

**Томск.** 000 «Элко», м-н «Радиодетали», e-mail: elco@tomsk.ru,  
http://elco.tomsk.ru  
пер. 1905 года, д. 1В, оф. 205. Тел. (3822) 51-45-25

**Тюмень.** «Саша», e-mail: vissa@sibtel.ru  
ул. Тульская, д. 11. Тел/факс: (3452) 32-20-04

**Уфа.** «Электроника», e-mail: bes@diaspro.com  
пр. Октября, д. 108. Тел: (3472) 33-10-29, 33-11-39

**Хабаровск.** «ТВ Сервис», e-mail: tvservice@pop.redcom.ru  
ул. Шеронова, д. 75, оф. 13. Тел: (4212) 30-43-89

## БЕЛАРУСЬ

**Минск.** «Радио-дело», e-mail: sales@radiodelo.com. Наборы и журналы  
наложенным платежом, а/я 202, Минск-5, 220005, Беларусь.  
Тел. (017) 259-51-57, моб. тел. для СНГ: +375-297-73-88-01, моб. тел.  
для Республики Беларусь 8-0297-73-88-01.

**Минск,** продажа под заказ, срок до 5 дней. Пересылка наборов  
наложенным платежом. Тел. (375-17) 288-13-13, 285-24-13,  
моб. 8-029-682-03-37, 8-029-771-50-32, e-mail: service@imelcom.by.

**Брест.** ОДО «Лебедь»  
ул. Гоголя, д. 82. Тел. 21-38-87, 21-37-06.

**Мозырь.** УП «Гала».  
ул. Я. Коласа, д. 21. Тел. 8-(023-51)-2-64-74.

**Могилев.** «Электронные компоненты», e-mail: fek@fek.belpak.mogilev.by  
ул. Королева, дом 20. Тел. +375 (22) 46-83-76.

## УКРАИНА

**Киев.** «Инициатива», e-mail: ic@mgk-yaroslav.com.ua. Тел.: (044) 234-02-50,  
235-21-58, факс: (044) 235-04-91, ул. Ярослав Вал, 28,  
помещение сервисного центра «SAMSUNG»; рынок «Радиолюбитель»  
(ул. Ушинского, 4), торговые  
места № 43, 44.

«Имрад», e-mail: masterkit@tex.kiev.ua  
ул. Дегтяревская, д. 62, 5-й этаж, офис 67. Тел/факс: (044) 495-21-09,  
495-21-10,  
рынок «Радиолюбитель» (ул. Ушинского, 4), торговые места № 45,  
46, 47.

«НикС», e-mail: chip@nics.kiev.ua, http://www.nics.kiev.ua  
ул.Флоренции, 1/11, 1 этаж, 24. Тел: (044) 516-47-71, 290-46-51,  
рынок «Радиолюбитель» (ул. Ушинского, 4), торговые места  
№ 108, 109.

«Радиоман», http://www.radioman.com.ua  
ул. Урловская, д. 12. Тел. (044)255-15-80

**Одесса.** «Радиодетали и наборы "Мастер КИТ"», ул. Успенская, д. 26  
(во дворе).  
Тел. (0482)34-48-84, факс 47-69-94.  
Радиорынок, место № 10, по воскресеньям 8.00—14.00.

## КАЗАХСТАН

**Алматы.** «IC FOR US», e-mail: alexander@diy-ic.net,  
пр. Сейфуллина, д.53А. Время работы 9.00—19.00. Тел. +7(3272) 61-64-29,  
61-03-04, факс 72-87-24.

## ПОДПИСКА — 2007

### Журнал «СХЕМОТЕХНИКА»

Редакционная подписка на 2007 г. — 600 рублей.

Через каталог Агентства «РОСПЕЧАТЬ» (красный)

- индекс 80724 — подписка на 1-е полугодие 2007 г.;
- индекс 82117 — подписка на архив журнала за 2004 г. на CD.

Через каталог «ПОЧТА РОССИИ»

- индекс 60192 — подписка на 1-е полугодие 2007 г.
- индекс 60193 — годовая подписка на 2007 г.

Оформить подписку с последующей доставкой в ЛЮБОЙ СТРАНЕ можно через подписное агентство «МК-PERIODICA».

Подробная информация по телефонам в Москве 7+495 681-9345, 681-5715, 681-3322, e-mail: info@periodicals.ru

Подписка на Украине осуществляется также через каталог Подписного агентства KSS (тел: в Киеве 044 - 270-6220, 270-6222), подписной индекс 10540.

Подписка через редакцию по тел. (495)775-16-76, podpiska@dian.ru.

Для подписки через редакцию.

- перечислите деньги на наш расчетный счет через Сбербанк по квитанции, либо через почтовое отделение почтовым переводом;
- отправьте квитанцию об оплате (или копию) и свой точный почтовый адрес (индекс обязательно) в редакцию по почтовому адресу: 127015, Москва, ул. Бутырская, д. 41/47, ООО «ИД Скимен», отдел подписки или по факсу (495) 775116-76, email: podpiska@dian.ru.
- вы можете также подписаться на журнал непосредственно в редакции по адресу: г. Москва, Ленинградское ш., д. 18, офис 342 (метро «Войковская», из первого вагона от центра направо, вперед по ходу поезда до последнего здания перед железной дорогой, вход со стороны д. 16) и на специализированных выставках.

Подписка через Альтернативные Агентства г. Москвы — «АртосГал»,

«Вся пресса», «ИнтерПочта», «КоммерсантКурьер»,

«Красносельское агентство «Союзпечать», «УралПресс», «ЭксПресс»

### Пример заполнения банковского извещения для подписки на издания ИД «СКИМЕН»:

|           |                                                                                                                                                                                            |       |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Извещение | ООО «ИД СКИМЕН»<br>ИНН/КПП 7731195492/773101001<br>в ОАО «НК банк» в г. Москва<br>Р/с 40702810200000005646<br>К/с 30101810900000000278 БИК 044579278<br>Платательщик<br>Адрес (с индексом) |       |
|           | Назначение платежа                                                                                                                                                                         | Сумма |
|           |                                                                                                                                                                                            |       |
| Кассир    | Подпись _____ 2006 г.                                                                                                                                                                      |       |
| Квитанция | ООО «ИД СКИМЕН»<br>ИНН/КПП 7731195492/773101001<br>в ОАО «НК банк» в г. Москва<br>Р/с 40702810200000005646<br>К/с 30101810900000000278 БИК 044579278<br>Платательщик<br>Адрес (с индексом) |       |
|           | Назначение платежа                                                                                                                                                                         | Сумма |
|           |                                                                                                                                                                                            |       |
| Кассир    | Подпись _____ 2006 г.                                                                                                                                                                      |       |