

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 5 2005

Тема номера:  
производство  
электронной техники

Компакт-диск  
компании  
Sharp





# Электронные компоненты **SHARP**

**PROSOFT**<sup>®</sup>

**ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

Телефон: (095) 234-0636 • E-mail: [info@prochip.ru](mailto:info@prochip.ru) • Web: [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)



**Главный редактор**

Александр Майстренко

**Научный редактор**

Александр Масякин

**Ответственный секретарь**

Татьяна Крюк

**Дизайн и верстка**

Татьяна Крюк, Александр Либков,  
Дмитрий Юсим, Константин Седов

**Web-мастер**

Дмитрий Романчук

**Служба распространения**

Ирина Самохина (circul@soel.ru)

Издательство «СТА-ПРЕСС»

Директор Константин Седов

Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26

Телефон: (095) 232-0087

Факс: (095) 232-1653

Сайт: www.soel.ru

E-mail: info@soel.ru

Тираж 15 000 экземпляров

Журнал зарегистрирован в Федеральной  
службе по надзору за соблюдением  
законодательства в сфере массовых  
коммуникаций и охране культурного наследия  
(свидетельство ПИ № ФС77-18792  
от 28 октября 2004 года)

Цена договорная

Отпечатано:

Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

www.pkpp.ru

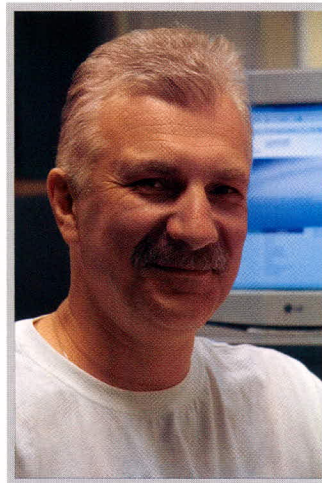
Перепечатка материалов допускается только  
с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы  
несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей  
несут авторы.

Материалы, переданные редакции,  
не рецензируются и не возвращаются.

© СТА-ПРЕСС, 2005



## Уважаемые читатели!

Нашему журналу исполнился год.

Год назад мы представили наш новый журнал на выставке Chip Expo-2004. Я хорошо помню волнение, сопровождавшее наше первое участие в выставке. Казалось, всё не в нашу пользу: и журнал всего один, кроме него на стенд положить нечего, и расположение стенда не самое выигрышное. Да и понравится ли журнал читателям? Но оказалось, что волнения напрасны, на нашем стенде было всегда много посетителей, и практически все они стали нашими подписчиками. Значит, труды, положенные на создание журнала, были не напрасны. Журнал оказался востребованным.

За этот год мы представили журнал практически на всех профильных выставках Москвы и Петербурга. Интерес к нему был неизменно большим, и нынешнему количеству наших читателей могут позавидовать журналы, работающие на этом рынке не один год. К нам пришли интересные авторы, и мы предложили им прекрасные условия сотрудничества. Наш журнал не пестрит рекламой, но та, что есть, эффективно работает. Значит, концепция журнала была определена правильно, а это главное. В наших планах увеличить периодичность и объем журнала, познакомить с ним читателей отдалённых регионов России, а возможно, и других стран.

Прошёл год, и мы уже не новый журнал. Но мы – журнал молодой, динамично развивающийся, интересный. И мы всегда рады встрече с вами, дорогие читатели!

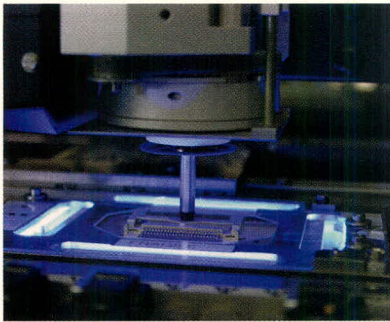
Тема этого номера журнала – производство электронной техники. Это относительно новый и очень перспективный рынок. Застолбить место на нём и объявить себя контрактными производителями стремятся чуткие к запаху денег продавцы компонентов, ищущие новые пути сбыта своего товара. Научить читателя отделять «овнов от козлиц», т.е. действительно производителей от посредников – вот та скромная задача, которую мы поставили перед собой при формировании этого номера журнала. Надеюсь, он будет вам интересен и полезен.

*С наилучшими пожеланиями,  
Александр Майстренко*

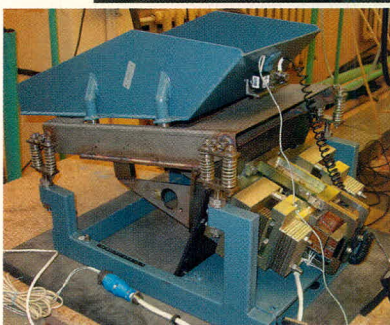


# Содержание 5

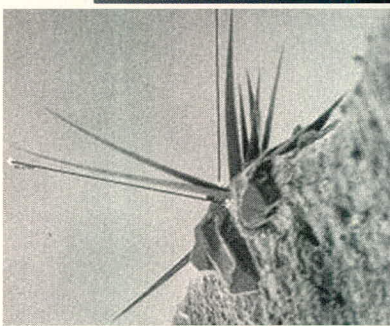
2005



Стр. 12



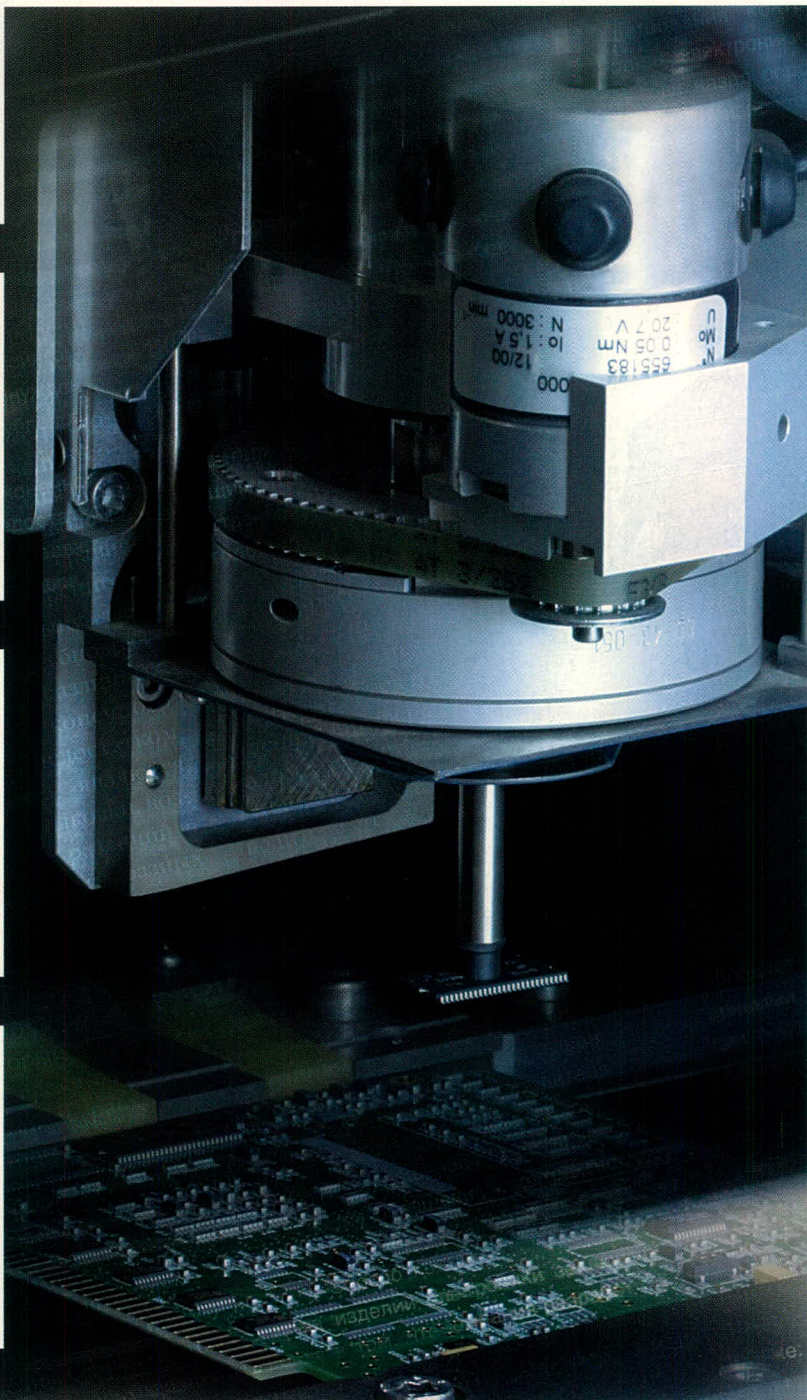
Стр. 44



Стр. 24



Стр. 34





## РЫНОК

- 4 **Контрактное производство: за и против**  
*Юрий Широков*
- 8 **Кто такой контрактный производитель**  
*Максим Поляничко*
- 12 **Fastwel: 14 лет на рынке производства электроники**
- 18 **Экономика и психология ценообразования в производстве электроники**  
*Вадим Лысов*
- 22 **Услуги и товары на российском рынке производства электроники**

## Современные технологии

- 24 **Особенности применения электронных компонентов, не содержащих свинца (Pb-free)**  
*Александр Кратько*

## Компоненты

- 30 **Системные кабели и разъёмы Harting для промышленных сетей Ethernet**  
*Ольга Гуреева*
- 34 **Герметичные химические источники тока для автономного питания электроаппаратуры: проблема выбора**  
*Алевтина Таганова*
- 38 **Новости российских фирм**

## Узлы и модули

- 40 **Терморегулятор с гистерезисом**  
*Николай Заец*

## Схемные решения

- 44 **Твердотельный акселерометр в схеме управления производительностью обогатительного оборудования**  
*Евгений Владимиров, Татьяна Романовская, Борис Соколов*

## Проекты

- 48 **Спектрофотометр дневного неба**  
*Алексей Галахов*

## Проектирование и моделирование

- 50 **Обзор средств функциональной верификации компании Mentor Graphics**  
*Андрей Лохов*
- 56 **Эволюция SPICE-совместимых макромоделей операционных усилителей (часть 2)**  
*Сергей Лозицкий*

## Программирование

- 66 **Практикум программиста USB-устройств. Часть 2. Разработка аппаратно-программного ядра USB-устройства**  
*Дмитрий Чекунов*
- 74 **Программирование микроконтроллеров LPC9xx фирмы Philips**  
*Андрей Сошкин*



# Контрактное производство: за и против

Юрий Широков (Москва)

**Рынок контрактных услуг в России практически сформировался. Есть и предложение, и спрос. Однако контрактный производитель не всегда оправдывает надежды заказчика. Почему это происходит?**

**Как избежать конфликта интересов сторон? Как правильно выстроить производственно-логистическую цепочку? Об основах взаимоотношений заказчика и контрактного производителя рассказывает эта статья.**

О контрактном производстве как таковом и о контрактном производстве изделий радиоэлектроники в частности было написано множество статей. Большинство работ отечественных авторов относится к периоду зарождения и становления услуг аутсорсинга в России. Сейчас же можно говорить о сформировавшемся в России рынке контрактных услуг со своей спецификой. Мощный импульс развитию этого рынка в России дал, в частности, приход международных торговых сетей, реализующих продукцию под своими «приватными» торговыми марками. Не последнюю роль сыграло появление мелкого и среднего бизнеса, дающего работу оказавшимся не у дел после развала Советского Союза промышленным производствам. Рынок оказался настолько привлекательным, что на нём стали появляться и новые специализированные компании, ориентированные на контрактное производство и организованные по западному образцу.

Обычно посредством союза с контрактным производителем заказчик надеется решить следующие проблемы:

- высвобождение собственных внутренних ресурсов для других проектов;
- повышение технологического уровня изделий;
- сокращение издержек за счёт отказа от неспецифической деятельности;
- частичное перекладывание рисков на плечи контрактного производителя.

Мировой опыт показывает, что среди крупнейших OEM-производителей существует устойчивая тенденция к передаче субподрядчикам час-

ти (порой весьма значительной) функций по производству своих продуктов. Журнал Wired дал определение аутсорсингу как новой стратегии управления, сформулировав его главный принцип: не заниматься в ущерб основному бизнесу тем, что не можешь сделать сам лучше всех.

В настоящее время доли контрактных производств в различных отраслях промышленности распределены примерно следующим образом:

Автомобильная промышленность	15%
Беспроводные телекоммуникации	38%
ВПК, авиация и космос	10%
Компьютерная периферия	28%
Компьютерные системы	27%
Медицинское оборудование	13%
Потребительские товары	12%
Приборы	18%
Проводные телекоммуникации	51%
Средства производства	21%

Из приведённых данных видно, что доля аутсорсинговых услуг наиболее велика как раз в области наиболее высокотехнологичных производств. Производитель в наши дни далеко не всегда имеет собственные заводы. Прогресс не стоит на месте, и с усложнением и удорожанием технологий производства проблема только усугубляется. Для крупных международных компаний, имеющих сетевую структуру, решающим является не вопрос собственно производства изделий, а вопрос координации усилий по установлению и поддержанию связей с бизнес-партнёрами. Доля аутсорсинговых услуг в производстве продукта может быть различной: от минимальной до полного цикла производства товаров на стороне и продажи их под своей торговой маркой. Так называемые «оболочечные ком-

пании», фокусирующиеся на маркетинге своего продукта, а производственные вопросы делегирующие партнёрам, уверенно занимают позиции на рынке. О них немного позже, а сейчас о проблемах во взаимоотношениях заказчика с контрактным производителем.

Казалось бы, приведённая оптимистичная статистика должна свидетельствовать об идеальной ситуации в этой области. Но, к сожалению, контрактный производитель не всегда оправдывает надежды, возлагаемые на него заказчиком. Почему же это происходит? Зачастую заказчик обманывает сам себя, внушая себе ошибочное представление о контрактных схемах работы. К примеру, издержки контрактного производства действительно могут быть значительно ниже за счёт более оптимально «заточенного» производственного процесса. Безусловно, это преимущество узкоспециализированного подрядчика. Но кто сказал, что выгоду от этого получит и заказчик? Ещё один пример из области снабжения. Как правило, контрактный производитель, выпускающий достаточно большие объёмы продукции, имеет привлекательные условия поставок сырья и материалов по своим собственным каналам. Заказчик же, приходящий к нему со своим объёмом работ, зачастую стремится навязать контрактнику свои каналы поставок, искренне считая, что таким образом он контролирует его деятельность и тем самым страхует себя от производственных и финансовых рисков. Не всегда верно и то, что отдавая производство на откуп контрактнику, вы повышаете его гибкость и оперативность. Для минимизации своих внутренних издержек контрактник стремится загрузить своё производство выпуском однотипной массовой продукции, что позволяет ему значительно снизить затраты на логистику, свести к минимуму товарные запасы на складе, удешевить технологическое оборудование. Однако, несмотря на возможные



проблемы во взаимоотношениях заказчика с производителем, первому не так-то легко порой отказаться от действующей схемы работы: слишком много вложено в неё, слишком много придётся ломать и перестраивать. В результате нередки ситуации, когда контрактный производитель вопреки ожиданиям начинает сдерживать технологический прогресс продукта. Неоднозначна и ситуация с делегированием рисков. Многие заказчики по умолчанию считают, что передав некий производственный процесс контрактнику, они автоматически передали ему и связанные с этим процессом риски. Контрактник же, естественным образом заинтересованный в освобождении от этих рисков, зачастую включает в договоры скрытые лазейки, позволяющие ему возвращать риски заказчику.

Таким образом, использование или неиспользование услуг контрактного производителя становится для компании вопросом не праздным, а стратегическим. Известнейшие мировые компании, прибегающие к контрактным услугам, признают данный факт.

Добиться успеха на этом пути можно только выстроив соответствующим образом схемы своей работы, включающие схемы внутреннего управления и логистики. В основу взаимоотношений с контрактным производителем ведущие мировые компании закладывают два фактора: риски (поставки сырья и материалов, непредсказуемость сбыта) и соотношение сильных и слабых сторон контрактного производителя (его способность справляться с факторами неопределённости).

Таким образом, весьма важен фактор «зрелости» контрактного производителя, его устойчивого и понятного положения на рынке. С надёжным, зрелым производителем работать проще всего, поскольку, как правило, не требуется ресурсоемкого и сложного контроля его деятельности со стороны заказчика. Достаточно лишь предусмотреть в договоре измеряемые ключевые параметры и периодичность их проверки, а также санкции за отклонение от них. В настоящее время нет ни одного мирового производителя, который бы осуществлял полный цикл производства своих товаров, не прибегая на той или иной стадии к услугам подрядчиков. К примеру, всемирно известный производитель компьютер-

ного оборудования компания HP основную упор делает именно на брендинг и разработки в области высоких технологий, всё больше отдавая производственную составляющую подрядчикам. На заводах, принадлежащих HP, производятся только узлы, содержащие технологические ноу-хау.

Как не допустить конфликта интересов заказчика и контрактного производителя?

Идеальный, «классический», контрактный производитель – это высокотехнологичное предприятие, при этом не имеющее своей продукции, своих брендов и не ассоциирующееся в глазах потребителя ни с одной из торговых марок. В такой ситуации заинтересован заказчик, продвигающий собственный продукт и заботящийся о чистоте и укреплении принадлежащего ему бренда. И контрактники, успешно работающие на рынке, хорошо понимают важность этих условий. К примеру, в первой десятке мировых лидеров контрактного производства электроники находятся девять североамериканских компаний, оказывающих услуги множеству известных производителей, но при этом остающихся в тени.

Рассмотрим вкратце оболочечные компании как предельный случай использования услуг аутсорсинга. Наверное, все слышали о Владимире Довгане с его зонтичным брендом, под сенью которого было объединено более сотни товаров различных производителей. Создать собственный бренд, производить и продавать товары, не владея при этом реальными производственными мощностями и запасами сырья, – такова идея оболочечной стратегии. Именно эффективное управление брендом и технологические разработки, а не управление производством, в наши дни приносит основные дивиденды. Повсеместное перетекание капиталов из сферы производства в интеллектуальную сферу – лучшее тому подтверждение. Эта тенденция связана ещё и с тем, что в век глобальных коммуникаций аутсорсинг стал объективно менее затратным механизмом реализации поставленных целей. Таким образом, главная задача оболочечной компании – «всего лишь» добиться слаженной работы выстроенной ею же производственно-логистической цепочки. Упомянутому Довганю, например, не удалось справиться с этой задачей, и, как следствие,

бренд умер. Ещё одна из проблем заключается в существовании своеобразного психологического барьера, пока не преодоленного в нашей стране. У многих существует стойкое убеждение, что если компания сама ничего не производит, значит, она является элементарным паразитом-посредником, мыльным пузырьком, с которым деловые отношения иметь нельзя. На самом деле это не так, и появляющиеся положительные примеры российских компаний с подобной организацией ломают стереотипы.

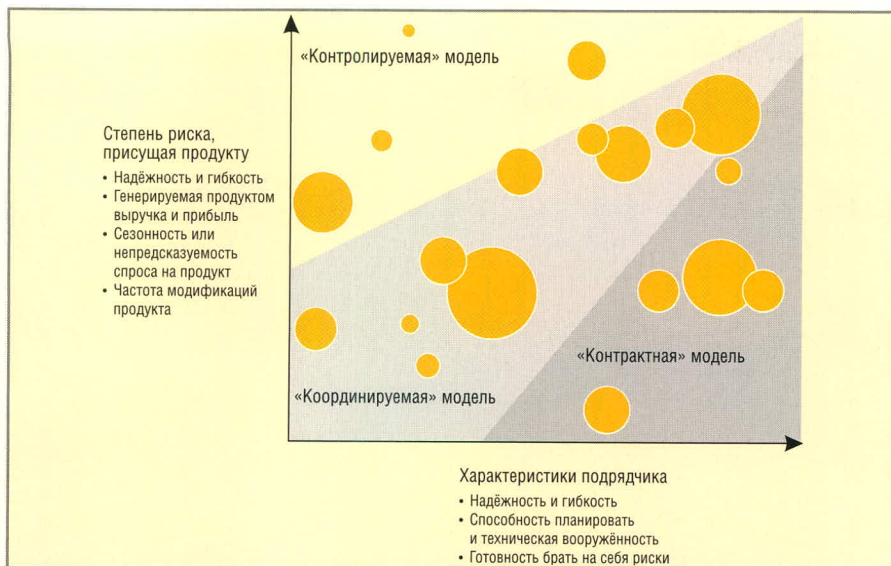
Имеет ли смысл прибегать к услугам контрактного производителя в нынешних российских условиях?

Проблема устаревшего производственного оборудования, устаревших технологий, недостатка средств на техническое перевооружение – едва ли не главная беда отечественной промышленности. Ещё один серьёзный фактор сдерживания прогресса – недостатки внутренней организации. Ещё недавно загадочная аббревиатура «ISO9001» многим абсолютно ни о чем не говорила. Сейчас действительность такова, что не имеющий чётко отлаженных и сертифицированных производственных процессов игрок на рынке обречён. Часто имея не одну, а весь «букет» перечисленных проблем, предприятие не в состоянии выкарабкаться из этого замкнутого круга, используя только собственные ресурсы. Успешный же контрактный производитель по определению лишён перечисленных недостатков. Вот тут-то, тщательно взвесив все «за» и «против», самое время рассмотреть и вариант стратегии аутсорсинга.

Как же найти «своего» контрактного производителя?

Сейчас множество предприятий в России, осознав выгоды предоставления аутсорсинговых услуг, стали позиционироваться как контрактные производители и призывать воспользоваться их услугами. В большинстве случаев, однако, к подобным предложениям следует относиться осторожно, поскольку не всегда желание подзаработать, загрузив простаивающие производственные мощности, сочетается со способностью качественно исполнять роль подрядчика. Как уже было сказано, для того чтобы впоследствии не пожалеть о своем выборе, заказчик должен заранее тщательно продумать стратегию работы с контрактным производителем.





### Три модели работы с подрядчиком (по материалам А.Т.Кеарнеу)

Величина круга отражает суммарные расходы на контрактное производство

Существуют различные модели работы с подрядчиком, базирующиеся на различных приоритетах в работе. В общем случае принято рассматривать три модели: «контролируемую», «координируемую» и «контрактную» (см. рисунок). Контрактная модель характеризуется наибольшей надёжностью и наименьшей степенью риска. Её можно использовать в работе с надёж-

ным, проверенным подрядчиком. «Контролируемая» и «координируемая» модели применимы к взаимоотношениям с новыми производителями, чьи деловые качества ещё не проверены на практике. Наиболее оптимально при этом партнёрство компаний. При такой организации дополнительной гарантией успеха будет выработка общих целей.

По мнению журнала Wired, в ближайшие годы в высокотехнологичном секторе объём производства вырастет на 85%, соответственно вырастет и объём оказываемых OEM-производителям контрактных услуг. Предприятие, активно пользующееся услугами контрактников, как правило, более мобильно и, следовательно, более конкурентоспособно. Со вступлением в ВТО, с приходом на российский рынок транснациональных корпораций это может стать решающим фактором выживания. Такой производитель, умело выстраивая производственно-логистическую цепочку и проводя разумную маркетинговую политику, имеет шанс выйти со своим продуктом на международные рынки. Известны успешные на сегодняшний день примеры привлечения российскими компаниями в качестве подрядчиков иностранных фирм. Существует множество примеров привлечения отечественных подрядчиков иностранными компаниями. Таким образом, налицо процессы международной интеграции, зарождающейся на базе идеи аутсорсинга. И это позволяет с надеждой смотреть в будущее отечественной экономики. ©

## Новости мира News of the World Новости мира

### Сможет ли Индия повторить китайское чудо?

Китай давно стал излюбленным местом западных фирм для размещения производства товаров широкого потребления, в том числе бытовой электроники. Однако соседняя с Китаем страна, Индия, в силу ряда причин (и не в последнюю очередь – благодаря демографическому росту, который, в отличие от Китая, Индия не обуздала) может составить конкуренцию Поднебесной.

Индийское агентство полупроводниковой промышленности, стремящееся превратить Индию в альтернативный центр производства электроники, ведёт переговоры с такими организациями, как FSA (Fabless Semiconductor Association) и SIA (Semiconductor Industry Association). Сообщается, что ISA уже заключила соглашение с тайваньским консорциумом SoC Consortium о партнёрстве.

Усилиями ISA инженеры, получившие образование в Индии, остаются работать в стране, а не уезжают в Северную Америку или Европу – в частности, в рамках программы Si-Quest, действующей в 30 индийских вузах.

Усилиями ISA организована ежегодная конференция, на которой обсуждаются

экономические и технологические аспекты полупроводниковой отрасли в Индии. Конференция будет проводиться в Бангалоре каждый декабрь, а в качестве докладчиков будут привлекаться представители ИТ-компаний.

Для исследования промышленных перспектив и инвестиционного климата ISA привлекла аналитиков Frost&Sullivan.

Шумиха, поднятая вокруг индийских программ развития полупроводниковой промышленности, практически отсутствующей в стране, может оказаться чрезмерной – жизнь вносит свои коррективы, а мировая экономика, задавленная высокими ценами на энергоносители, переживает не лучшие времена. Но организация крупномасштабного промышленного производства бытовой электроники, благодаря отработанности технологий, не является трудновыполнимой задачей – а квалифицированного персонала в Индии достаточно. Поэтому на первый план выходят экономические аспекты, в частности, вопрос о том, смогут ли индийцы конкурировать с китайцами по себестоимости производства. Надо полагать, долго ждать ответа не придётся.

EE Times, [www.ixbt.com/news/hard/](http://www.ixbt.com/news/hard/)

### Основы для ЖК-панелей 8G и 9G

Samsung Corning Precision Glass (SCP), совместное предприятие Samsung Electronics и Corning, представили 7-е поколение стеклянных подложек для ЖК-панелей и структуры для 8-го и 9-го поколения. Новинки были показаны на выставке Information Display and Exhibition (IMID' 05) в Южной Корее.

Джанг-Ван Чо, спикер SCP, сообщил, что 8G- (2160 × 2460 мм) и 9G-подложки (2400 × 2800 мм) соответствуют недавно представленным новинкам. Но основания могут быть приспособлены и для панелей 8-го поколения от Sharp (2160 × 2400 мм).

«Стеклянные подложки, производимые нами, не имеют никакого ограничения по размеру, поскольку производственный метод позволяет их изменять. Однако 3 м – это максимум из-за проблем транспортировки», – сказал Джанг-Ван Чо.

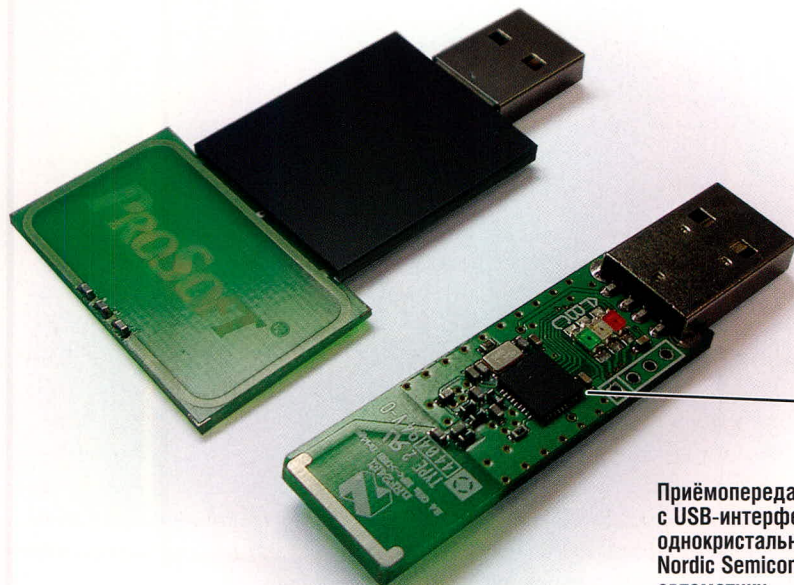
На сегодняшний день компания SCP производит почти 2/3 подложек, необходимых производителям в Южной Корее: 90% оснований для Samsung и более чем 50% – для LG.Philips.

[www.hifinews.ru/article/details/1761.htm](http://www.hifinews.ru/article/details/1761.htm)



# Цифровые решения

## Пример практического применения



Приёмопередатчики с USB-интерфейсом на базе однокристалльных трансиверов Nordic Semiconductor для систем автоматике

### Основные достоинства продукта

- Встроенные микроконтроллер и АЦП
- Индустриальный диапазон рабочих температур
- Расширенный диапазон питающих напряжений
- Минимальное количество внешних компонентов
- Сверхнизкое потребление тока в режиме покоя
- Аппаратные протоколы защиты от коллизий

### Основные характеристики

- Частота: 433/868/915 МГц
- Напряжение питания: от 1,9 до 3,6 В
- Скорость передачи: до 50 Кбод
- Индустриальный диапазон температур: -40 + 85°C
- Дальность: до 200 метров
- Максимальная выходная мощность: 10 дБм

### Области применения

- Пожарная и охранная сигнализация
- Дистанционное управление и мониторинг объектов
- Спортивная медицина
- Автоэлектроника
- Радиочастотная идентификация

## Век проводных коммуникаций миновал!

Узнайте подробности в компании ПРОСОФТ

Телефон: (095) 234-0636 • Web: [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)

anadigm™

CIRRUS LOGIC®

intel®

nordic  
Nordic VLSI ASA

RDC®

SHARP



# Кто такой контрактный производитель

Максим Поляничко (Санкт-Петербург)

**В статье рассматриваются особенности контрактного производства электроники в России, описываются характеристики, позволяющие заказчику безошибочно отличить настоящего производителя от посредника, от того, кто выдаёт себя за контрактного производителя.**

Контрактное производство изделий электроники – это принципиально новое бизнес-решение в России, это новая схема производства электронных блоков, позволяющая не только сэкономить денежные ресурсы заказчика, но и существенно сократить сроки выполнения заказа.

Схема контрактного производства имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным аутсорсингом, когда компания-заказчик вынуждена обращаться к нескольким субподрядчикам для производства различных комплектующих своего конечного изделия. Бесспорным недостатком традиционного метода являются сопутствующие ему нестыковки, возникающие в результате различий в способах и методах работы разных субподрядчиков, их технической оснащённости, используемых компонентах и материалах. Решать эти вопросы приходится конечному производителю, который в итоге тратит свои средства и время на согласование неточностей и расхождений, вместо того чтобы сосредоточиться на маркетинговой части выпуска продукта.

Естественным решением в данной ситуации было бы оснащение компании-производителя оборудованием для самостоятельного изготовления своего изделия. Однако в этом случае компании пришлось бы закупить всю высокотехнологичную дорогостоящую производственную линию, а также наладить сложнейший технологический процесс. Решая вопрос таким образом, компании не избежать проблем, связанных с техническими нюансами производства тех или иных изделий. Таким образом, обладание собственным производством ещё не гарантирует изготовле-

ние высококачественных изделий, но бесспорно затруднит главную задачу компании-производителя – вывод своей продукции на рынок. Логичным решением этой дилеммы является обращение к контрактному производителю.

Способ контрактного производства изделий электроники заключается в том, что компания-разработчик работает только с одним контрагентом, который берёт на себя весь комплекс вопросов, связанных с обеспечением конечного изделия производителем необходимыми комплектующими. Несмотря на то что производственная дифференциация с каждым годом расширяет специализацию субподрядчиков и связывает производителя со всё большим и большим количеством контрагентов, она же толкает субподрядчиков на поиск новых путей взаимодействия и консолидации (например, объединения в холдинги, альянсы) с целью упрощения схемы выполнения различных работ для заказчика.

Многие компании, так или иначе связанные с производством изделий электроники, осознав перспективность работы в данном направлении, заявили о себе как о контрактных производителях, не обладая при этом всеми необходимыми ресурсами. Работы, выполняемые такими компаниями, по сути дела являются посредническими и не имеют ничего общего с контрактным производством. Обращаясь к таким фирмам, заказчик переплачивает за посредничество, не получая при этом должного комплекса услуг контрактного производителя. Далее описываются главные отличия реального производителя от фирм-посредников.

## НАЛИЧИЕ СОБСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

Одной из наиболее важных и необходимых характеристик контрактного производителя является наличие собственной производственной базы (завода или цехов). В противном случае исчезает сама суть контрактного производства как именно процесса изготовления изделий электроники.

Проанализировав ситуацию на рынке контрактных производителей изделий электроники лишь по этому критерию, можно легко убедиться в том, что большая часть участников не обладает собственными производственными мощностями. Такая ситуация сохраняется с самого начала существования контрактного производства электроники в России. Ещё два года назад опрос по теме «Контрактное производство», проведённый одним из профильных журналов, показал, что многие интервьюируемые компании не обладают автоматической линией для монтажа печатных плат. Сегодня картина остаётся такой же: лишь немногие фирмы работают на собственном оборудовании. Остальные же перенаправляют заказы другим отечественным и зарубежным (китайским, тайваньским, европейским) производителям. Самым большим минусом тут является то, что выступая, таким образом, в качестве посредника, компания-подрядчик не может гарантировать качество поставляемых изделий. В такой ситуации заказчик не только теряет в деньгах, но и рискует сорвать срок выпуска конечного изделия в случае брака или возникновения других проблем, на решение которых из-за сложной схемы с посредничеством потребуется значительное время. Избежать всего этого можно, проверив предварительно, есть ли у исполнителя собственное оборудование. Современные автоматические линии поверхностного монтажа от ведущих производителей Siemens, Assembleon, Juki способны работать с высокой производительностью и точностью. Тенденции современного рынка по минимизации типоразмеров устанавливаемых компонентов, а также огромное разнообразие заказываемой продукции (как по сложности, так и по количеству) ограничивают спектр используемого в настоящее время оборудования для поверхност-



ного монтажа, налагая дополнительные требования к техническим характеристикам линий и возможности её быстрой переналадки.

Однако для изготовления изделий высшего качества контрактный производитель должен обладать не только современным оборудованием, но и иметь чётко отлаженный технологический процесс.

Технологический процесс монтажа печатных плат должен включать два этапа: подготовку платы к монтажу техническими специалистами и непосредственное его осуществление.

Типовой технологический процесс подготовки печатной платы к автоматизированному монтажу можно разделить на несколько ступеней:

- проверка печатной платы на соответствие требованиям для поверхностного монтажа компонентов;
- установка реперных знаков, создание технологической заготовки (панели из плат) с учётом технических характеристик монтажного оборудования, количества плат в заказе, особенностей изготовления, стоимости трафарета и т.д.;
- размещение «технологических зон» на панели.

Подготовка печатной платы к автоматизированному монтажу должна осуществляться силами собственного технического отдела, являющегося неотъемлемым структурным подразделением в организационной структуре контрактного производителя.

Организация технологического процесса в той же степени, что и используемое оборудование, обуславливает качество изготавливаемой продукции.

Оптимальная, эффективная схема организации производства рождается из объективных требований производства, с одной стороны, и богатого опыта, накопленного компанией, – с другой. Выбирая контрактного производителя, заказчик выбирает оборудование и технологию, которые в совокупности и дают на выходе хорошие или плохие результаты.

Таким образом, контрактный производитель должен не только обладать всем необходимым оборудованием, но и иметь отработанный технологический процесс, а также высококвалифицированный персонал. Только тогда он может гарантировать заказчику высокое качество и выгодные условия изготовления продукции.

## КОМПЛЕКСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

При монтаже печатных плат обеспечение электронными компонентами происходит одним из двух возможных способов: монтаж с использованием компонентов заказчика либо компонентная база контрактного производителя. Выбор, разумеется, остаётся за заказчиком, однако настоящий контрактный производитель непременно предложит услугу комплексного обеспечения электронными компонентами, учитывая, что задача контрактного производства – взять на себя максимальное решение задач по комплектации конечного изделия разработчика. Это удобно как заказчику, так и исполнителю, поскольку, используя собственную элементную базу, контрактный производитель может гарантировать максимально высокое качество своей продукции. Это происходит благодаря оптимизации технологического процесса под «собственную» базу комплектации, исключающей необходимость переналадки и/или оптимизации линии под компоненты заказчика.

В противном случае, если брак при монтаже печатных плат возникает именно из-за некачественных электронных компонентов (например, происходит коробление корпуса компонента или непропай из-за непланарности выводов микросхем и т.д.), контрактный производитель не может нести ответственность за дефекты полученных печатных плат и за низкое качество монтажа.

У опытного производителя есть база надёжных поставщиков, схема сотрудничества с которыми отработана до мелочей и эффективна, поскольку гарантированно защищает производителя от получения некачественных компонентов и срыва сроков поставок. В случае необходимости технические специалисты подберут аналоги компонентов из имеющихся в своей базе. Очевидные выгоды от такой работы получает не только сам контрактный производитель, но и его заказчик. Подрядчик не озадачен в необходимом случае оптимизировать своё производство под комплектацию заказчика, что позволяет в конечном счёте предоставить продукцию максимально высокого качества, избежав ещё и временных потерь; клиент же, в свою очередь, получает изделия

в оговоренные сроки и с заданными техническими параметрами.

## ВОЗМОЖНОСТЬ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАЛАДКИ ЛИНИИ

Формально это требование является второстепенным, однако практика контрактного производства показывает всё возрастающую актуальность этой характеристики оборудования. Это связано с нюансами опытного, мелко- и среднесерийного производства.

Опытное производство высокотехнологично, наукоёмко и требует квалифицированной технической поддержки при подготовке печатных плат к монтажу. В то же время для самого процесса монтажа опытных образцов изделий не требуется высокая скорость и большая производительность автоматической линии, на этом этапе для заказчика, перед которым стоит задача выявить и устранить допущенные в ходе проектировки ошибки, гораздо важнее наличие мощной интеллектуальной базы компании-субподрядчика.

В серийном производстве при условии изготовления опытных образцов уже не требуется столь тщательной подготовки изделия к производству, разработчикам уже известны все особенности его изготовления. В этом случае необходимо, чтобы производитель обладал современным высокопроизводительным оборудованием, которое позволит изготавливать большие партии в короткие сроки и с минимальными технологическими потерями.

Таким образом, не только непосредственно факт наличия оборудования, но и его специфические характеристики играют роль при выполнении контрактным производителем заказа того или иного объёма. Зачастую получается так, что компания, называющая себя контрактным производителем и формально действительно им являющаяся, тем не менее, не способна выполнить заказ на изготовление очень больших или, наоборот, очень маленьких партий изделий исключительно в силу характеристик своей производственной базы. Отсюда рождается специализация компаний по объёму выполняемых заказов. Однако данная специализация отнюдь не является шагом вперёд, именно потому что затрудняет заказчику производство конечного изделия.

Дело в том, что любая продукция, прежде чем выйти на рынок, должна



пройти обе стадии: и опытное, и серийное производство. Изготовление опытных образцов у одного субпдрядчика, а массовых партий – у другого чревато для заказчика нестыковками из-за различий в способах и методах работы между двумя контрагентами. Решение проблем, связанных с такими нестыковками, может отнять у заказчика деньги и время и затормозить процесс постановки конечного изделия «на поток».

Таким образом, контрактный производитель должен иметь возможность предложить заказчику как изготовление опытных образцов печатных плат, что включает квалифицированную помощь в подготовке к монтажу и сам монтаж малых партий, так и последующее крупносерийное производство на одном и том же оборудовании. Только в этом случае заказчик может быть уверен, что массовые партии изделия будут точно соответствовать качеству и характеристикам опытных образцов.

Обеспечить такой комплекс услуг может только тот контрактный производитель, чьи производственные возможности позволяют выпускать продукцию как малыми, так и большими партиями без потерь.

А если учесть, что контрактный производитель работает со многими компаниями, чьи заказы различаются и объёмами, и сложностью, его производственная база должна обладать достаточной гибкостью для быстрой и частой смены заказов.

### **ОТКРЫТОСТЬ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЗАКАЗЧИКОМ НА ВСЕХ ЭТАПАХ РАБОТЫ**

Из трёх рассмотренных выше характеристик настоящего контрактного производителя рождается четвёртая – гибкость взаимодействия и открытость информации для заказчика на всех этапах выполнения заказа.

Несмотря на то что данный параметр рассматривается последним, именно он может подсказать заказчику, является ли фирма, с которой он хочет сотрудничать, настоящим контрактным производителем.

Компания, обладающая всеми вышеуказанными признаками, необходимым для осуществления качественного контрактного производства, будет стремиться показать клиенту весь спектр своих широких возможно-

стей. И наоборот: те фирмы, которые не имеют собственной производственной базы, или те, чьё оборудование, используемое при монтаже, не отвечает современным требованиям, будут стараться скрыть свою несостоятельность за коммерческими тайнами и закрытостью бизнес-процессов.

Контрактное производство в условиях закрытости информации теряет очень важную составляющую, а именно – совместный характер работы заказчика и исполнителя над изделием.

Технологи и разработчики обеих компаний должны на время стать единой командой, стремящейся к достижению общей цели – изготовлению высококачественной продукции. Такая кооперация возможна только в условиях открытости и гибкости взаимодействия с заказчиком на всех этапах выполнения заказа. При этом клиент должен иметь возможность не просто получать сведения о ходе работ от менеджера (хотя одно это уже немаловажно), но и лично общаться с техническими специалистами. Такие консультации не только исключают возможность допущения ошибки или недопонимания, но и позволяют заказчику чувствовать себя более уверенно во взаимоотношениях с производителем.

При этом ничуть не теряется роль менеджеров отдела продаж. Напротив, при частом и активном общении технических специалистов обеих сторон менеджер является связующим звеном между ними. Кроме того, он и сам должен располагать всей информацией относительно хода выполнения заказа «его» клиента. В случае, если у заказчика нет особой потребности в личном общении с техническими специалистами или же если такое общение по каким-либо причинам невозможно (географическое расположение, техническая оснащённость), клиент в любое время может получить все интересные его сведения у своего менеджера, ведущего его заказ.

*Таким образом, настоящего контрактного производителя от посредника отличают:*

- наличие собственной производственной базы,
- комплексное обеспечение электронными компонентами,
- гибкость автоматической линии монтажа,
- открытость и взаимодействие с заказчиком на всех этапах работ

## Новости мира

### «Жидкие кристаллы» вытесняют «плазму»

По сообщению Pacific Media Associates (PMA), уже в мае 2005 г. ЖК ТВ составили 51% всего 37-дюймового рынка телевизоров, обогнав при этом плазменные ТВ. И май не был случайностью, так как в июне доля ЖКД на рынке увеличилась ещё на 6% и составила 57%.

В связи с увеличением доли 37-дюймовых ЖК ТВ на рынке, цены на них начали падать и теперь сопоставимы с ценами на плазменные ТВ. В июне средняя цена на 37-дюймовые ЖК ТВ находилась на уровне \$3126, что на 25% меньше, чем в марте. А вот средняя отпускная цена 37-дюймовой плазменной панели в июне составляла \$2963.

Многие производители «плазмы» после такого обвала цен на 37-дюймовые ЖК ТВ решили покинуть этот сегмент и сосредоточиться на выпуске 42-дюймовых экранов. ЖК ТВ вытеснили «плазму» из сектора 32-дюймовых панелей и находятся в двух шагах от победы в 37-дюймовом сегменте. Компании – производители плазменных панелей беспокоятся о том, что в недалеком будущем рынок 42-дюймовых панелей также может пострадать.

[www.hifinews.ru/article/details/1956.htm](http://www.hifinews.ru/article/details/1956.htm)

### Рынок полупроводников растёт

Ассоциация производителей полупроводников США опубликовала результаты статистических показателей динамики рынка полупроводников. Согласно этим данным, в июле рост общемировых продаж полупроводников составил 1,9% по сравнению с июлем прошлого года, тогда как в июне этот показатель составлял 2,2%. Абсолютные значения объёмов продаж – \$16,79 млрд. в июле 2005 г. против \$16,48 млрд. в июле 2004 г.

«Локомотивом» общего роста продаж стал азиатско-тихоокеанский регион, где рост составил 14,4%, тогда как на рынках обеих Америк, Японии и Европы, напротив, наблюдалось сокращение продаж.

По средним показателям за первые семь месяцев 2005 г. общемировой рост продаж составил около 5,8% по сравнению с тем же периодом 2004 г. Прежние прогнозы на существенный (>10%) рост объёмов продаж во второй половине года теперь пересматриваются в сторону уменьшения, что связано с замедлением мировой экономики из-за высоких цен на нефть и последствий урагана Катрина.

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



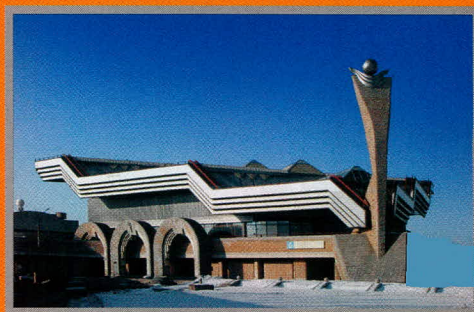
Санкт-Петербург, Ленэкспо,  
14-17 февраля 2006 года

# ElectronExpo

ИДЕАЛЬНЫЙ КОНТАКТ

Второй форум для профессиональных разработчиков, производителей и поставщиков электронной аппаратуры и компонентов.

Ориентирован на промышленный рынок Северо-Западного региона России!



**Мы делаем идеальные контакты возможными!**

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



# Fastwel: 14 лет на рынке производства электроники

Контрактное производство электроники – сравнительно новая сфера деятельности, успешно осваиваемая российскими фирмами. Об этапах становления и развития фирмы Fastwel, ведущего игрока этого динамичного рынка, рассказал в своем интервью журналу «Современная электроника» директор предприятия *К.Е. Корнеев*.

*Константин Евгеньевич, расскажите, пожалуйста, как образовалось ваше предприятие.*

История Fastwel началась в 1991 году. Изначально это был коллектив разработчиков из НПО «Алмаз» и Института космических исследований, всего семь человек.

До 1996 года мы занимались разработками серии контроллеров для управления судовыми процессами совместно с одной из питерских фирм. С 1996 года в альянсе с компанией «Прософт» начали производить линейку изделий для АСУ ТП в популярном формате Micro PC. Этот проект настолько успешно развивался, что в 1998 году была зарегистрирована отдельная торговая марка Fastwel. К 2000 году технологический уровень новых разработок сделал невозможным качественное серийное производство изделий Fastwel ни на одном из российских предприятий. В связи с этим было принято решение организовать собственное производство. Проведя в это же время маркетинговое исследование, которое показало, что предложений, отражающих российские реалии, на рынке монтажа нет, а спрос есть, мы открыли новое направление – контрактное

производство электронного оборудования. Весной 2002 года новым производством был выпущен первый модуль. С этого момента вся номенклатура изделий Fastwel выпускается на собственном производстве.

Fastwel сегодня – это:

- один из лидеров отечественной электронной промышленности;
- более 1000 потребителей продукции;
- более 100 потребителей услуг контрактного производства;
- выпуск более 40 000 изделий в год;
- широкий спектр областей применения, в том числе транспорт, атомная энергетика, телекоммуникации, нефтедобывающая промышленность;
- ежегодный прирост выпуска продукции – более 30%.

*Как Fastwel позиционирует себя на рынке? Каковы основные направления деятельности компании?*

Прежде всего, в любой области деятельности мы стараемся быть лидером. А для этого необходимо постоянно осваивать новые технологии и предлагать их заказчику.

На сегодняшний день можно выделить три направления работы.



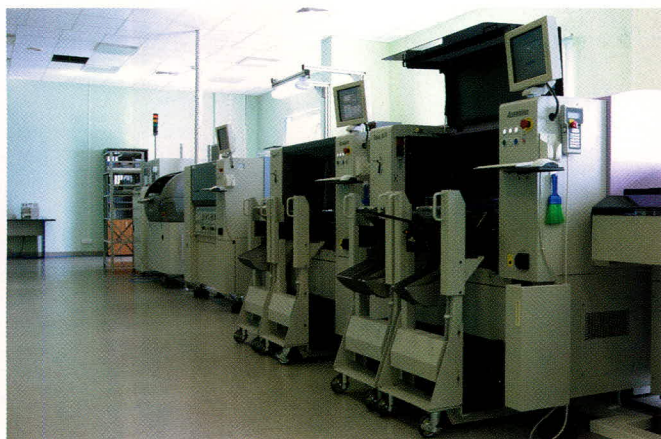
Первое – это то, с чего мы начинали: разработка и производство электронного оборудования для жёстких условий эксплуатации. Это оборудование создаётся по нашим внутренним техническим заданиям и предлагается тому или иному сегменту рынка. Очень важно, кто определяет направления разработок и продвигает продукцию на рынок. Для нас маркетологом и продавцом в одном лице выступает компания «Прософт».

Второе направление, появившееся в Fastwel в 2001 году, – разработка электроники под конкретного заказчика. Как правило, мы и производим продукцию, разработанную для клиента.

Ну и, наконец, третье направление, самое молодое, но интенсивно развивающееся: контрактное производство.







*Какие из направлений являются для вас приоритетными?*

О приоритетах в данном случае говорить сложно, поскольку все три направления оказывают существенное взаимное влияние. К примеру, разработанное для клиента изделие оказывается востребованным рынком и успешно продаётся. Или ещё пример: клиент, производящий у нас изделие, просит провести небольшой редизайн, а в результате мы начинаем с ним серьёзную разработку.

*Есть ли у компании проблемы подбора персонала? Легко ли найти подходящего специалиста? Готовите ли вы специалистов «со студенческой скамьи»?*

Это одна из главных проблем. Найти хороших разработчиков, технологов, программистов очень сложно. В стране произошел 10 – 15 летний «провал» в подготовке специалистов, а те, кто к началу 90-х работал по профессии, вынуждены были, чтобы выжить, заняться чем-то более прибыльным.

На начальном этапе мы вынуждены были брать готовых специалистов. Теперь же сформирован костяк, вокруг которого мы можем уже что-то наращивать. Привлекаем в том чи-

сле и студентов. У нас есть договорённости с некоторыми техническими вузами о прохождении производственной практики на нашем предприятии.

*Проводите ли вы обучение специалистов заказчика?*

В части продукции это с успехом делает «Прософт» в своем прекрасно оборудованном учебном классе. При выполнении заказов по контрактному производству постоянно работаем с разработчиками заказчика для адаптации изделий к нашей технологии.

*Расскажите об особенностях ценовой политики фирмы. Какими конкурентными преимуществами обладают ваши услуги и продукция?*

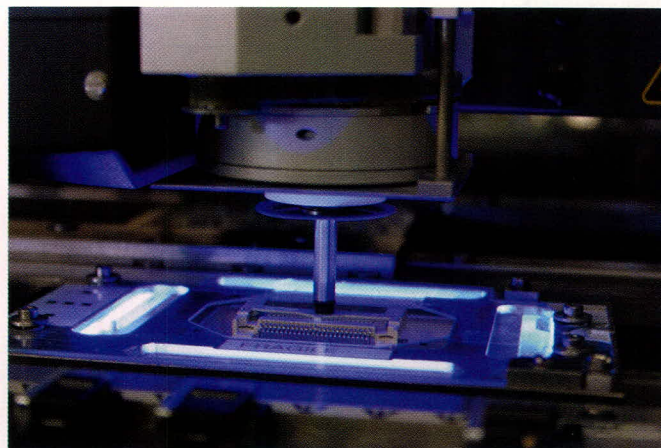
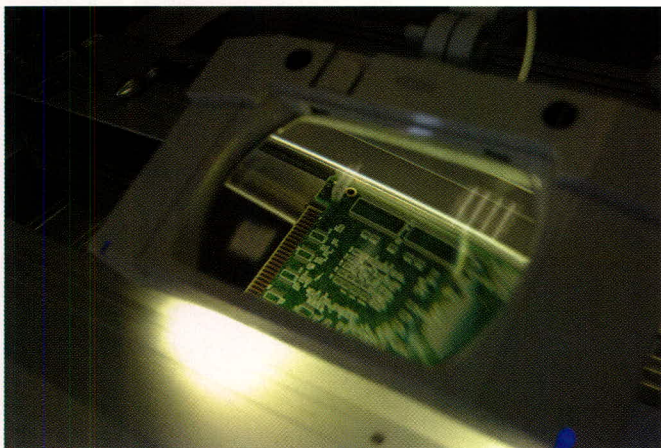
Продавать изделия и услуги слишком дёшево, как это делают многие, мы не хотим, да и не можем, поскольку качество стоит дорого. Мы всегда думаем о цене жизненного цикла изделия. Согласитесь, мало кто пересчитывает эксплуатационные расходы на одно конкретное изделие.

В формате этого интервью неуместно вдаваться в подробности, но мы с некоторыми заказчиками проводили основанные на статистике рас-

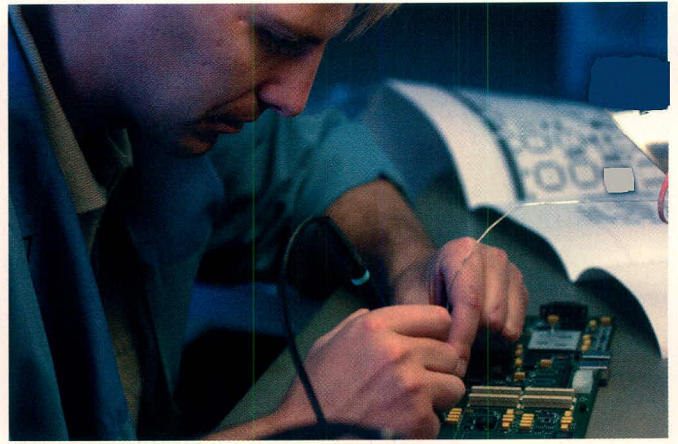
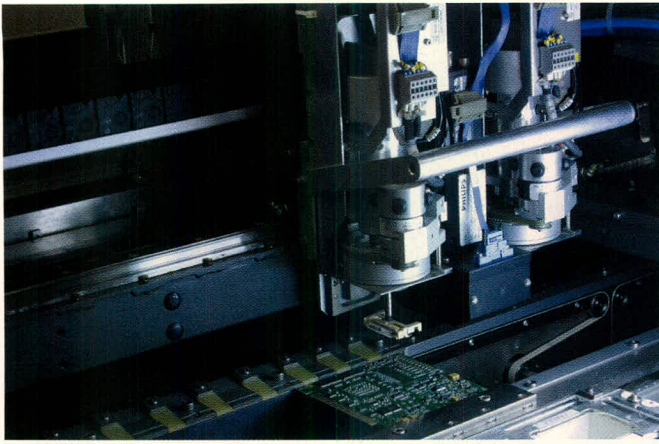
чёты, которые убеждали их в том, что плата на «входе» завышенную, по их мнению, цену, они в течение последующих 3 – 5 лет эксплуатируют наши изделия «бесплатно». Более того, мы уверенно даём годовую гарантию на монтаж. Именно поэтому у нас много клиентов с долгосрочными программами.

Логика развития предприятия обусловила тот факт, что Fastwel сегодня – единственный контрактный производитель в России, имеющий глубокую «технологическую историю». Мы вкладываем в проекты наших заказчиков более чем 10-летний опыт разработки и производства всего спектра собственных изделий. К нам обращаются заказчики, от которых в силу сложности проектов отказываются другие производители, и получают в результате качественный продукт.

Реализация принципа «репутация прежде всего» требует больших вложений в систему контроля качества выпускаемой продукции. Так, например, мы единственный в России контрактный производитель, имеющий рентгеновский аппарат для контроля качества пайки корпусов BGA, а также автоматическую встроенную в линию систему визуального контроля фирмы







Orbotech. На сегодняшний день мы выпускаем партии изделий в десятки тысяч штук с нулевым процентом брака.

Мы ориентированы в первую очередь на российский рынок. Для успешной работы на этом рынке надо, прежде всего, понимать, кто наш клиент. Как правило, никому не хочется заниматься мелкосерийными заказами, а российский заказчик в большинстве своём приходит как раз с заказами на небольшие партии изделий. Но мы можем выполнять заказы практически любой сложности и любой серийности, поскольку время перестройки наших линий на производство нового изделия не превышает получаса.

Кроме того, очень часто приходящие к нам изделия спроектированы без учёта требований автоматизированного производства. Наши разработчики и конструкторы печатных плат помогают клиентам сделать технологический редизайн изделий и адаптировать их к нашей технологии.

Значительную роль в конечном качестве изделия играет выбор компонентов. Fastwel на сегодняшний день является одним из российских лидеров в области разработок и производства электронных изделий для ответственных применений, поэтому мы имеем большой опыт выбора и поставки компонентов от ведущих мировых производителей.

*Какие организации являются основными заказчиками контрактных разработок? Расскажите, пожалуйста, о наиболее интересных заказах.*

На самом деле их трудно классифицировать, их спектр очень широк. Лучше приведу примеры.

В 2004 и 2005 годах разработанной нами системой речевого оповещения пассажиров оснащены электрички и платформы на участках Москва – Мытищи и Москва – Раменское. На базе этой же аппаратуры создана система, позволяющая использовать двоянные электрички. Сейчас она проходит эксплуатационные испытания.

Пример контрактного производства: в 2004 году мы произвели изделия, входящие в состав системы «электронных выборов», которая использовалась при выборах президента Казахстана.

Пример внедрения типовой продукции: в 2003 году с космодрома Плесецк осуществлён запуск спутника «Можайск», на борту которого по сей день успешно работает наш процессорный модуль CPC101.

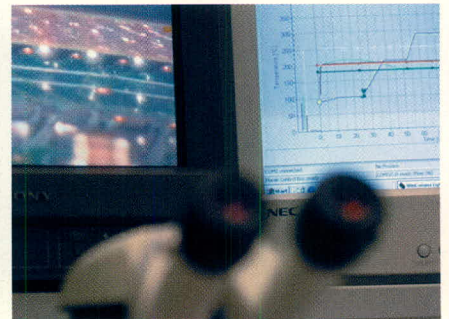
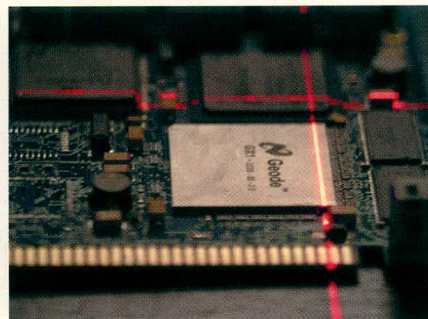
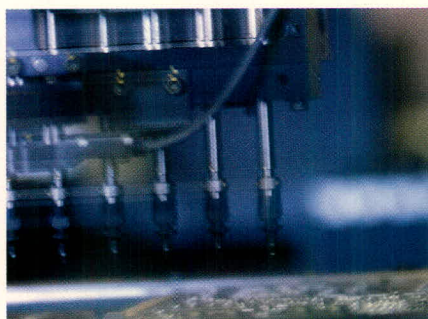
*В последнее время появились фирмы, позиционирующие себя как контрактных производителей, но по существу являющиеся лишь посредниками. Стоит ли обращаться к таким фирмам?*

На самом деле всё зависит от того, кто в конечном итоге производит изделие.

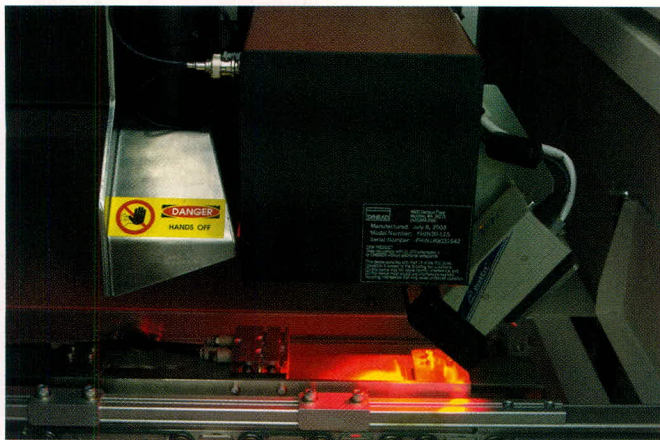
Часть контрактных производителей используют дилерскую сеть, поэтому появляются авторизованные посредники, а это нормально. Есть несколько примеров объединения небольших узкоспециализированных компаний, а вместе они перекрывают типовой для контрактного производителя набор услуг. Чаще всего это поставщик печатных плат, поставщик компонентов и собственно монтажное производство, как правило, небольшое. Это естественный эволюционный путь развития. Правда, при этом заказчику часто приходится иметь дело с несколькими менеджерами, а ответственность за конечный результат размыта. И, вероятнее всего, целью таких объединений является увеличение объёмов поставок комплектующих и печатных плат, а производство выступает в роли дополнительной приманки.

Лишь единицы предприятий, и среди них Fastwel, обладают полным набором услуг, необходимых для самостоятельного выполнения заказов на производство электронных модулей.

*Как вы осуществляете контроль качества? Как оценивают вашу продукцию заказчики и независимые эксперты?*







В 2003 году система менеджмента качества нашего предприятия сертифицирована авторитетной организацией TUV Rheinland на соответствие стандарту ISO9001:2000. Как я уже говорил, наши заказчики покупают более 40 000 высокотехнологических изделий в год. Думаю, для России это очень хороший показатель.

*Каким был минувший год для российских производителей электроники? Как изменился российский рынок контрактного производства и каковы его перспективы?*

Трудно судить о состоянии всех производителей, но, как мне кажется, рынок «возмужал».

Спрос, несомненно, увеличился, сложность и серийность изделий возросли. Многие начали относиться с должным уважением к отечественным контрактным производителям, пришло понимание того, что размещение заказов в Юго-Восточной Азии – не панацея, а соотношение цена–качество в сравнении с изготовлением в Европе примерно такое же, только без проблем с логистикой и контролем за процессом.

Сейчас сложилась такая ситуация, что госпредприятия, которые ещё

пять-десять лет назад обладали монополией на дорогостоящее оборудование, потеряли большую часть потенциала и в большинстве своем не отвечают требованиям рынка. На первый план начали выходить частные компании, которые уже могут позволить себе купить дорогостоящее оборудование и научились эффективно его использовать. Именно они и будут в ближайшие годы делить перспективный рынок контрактного производства.

*Расскажите, пожалуйста, о наиболее заметных достижениях компании за прошедший год. Какие из реализованных уже проектов вы считаете наиболее успешными?*

В 2005 году были завершены разработки и выпущена первая партия процессорных модулей в формате CompactPCI на базе ядра Intel Pentium M. Это новый этап развития компании, поскольку и технически, и технологически данный проект поднял нас на ещё одну ступень. В этом же году мы получили заказ на поставку разработанного нами оборудования, применяющегося в системе управления электровозами ЧС-7 и ВЛ-10.

За последний год Fastwel выставлял свою продукцию на нескольких меж-

дународных выставках. Мгновенного результата мы, конечно же, не ожидаем, но устойчивый интерес к нашей продукции есть.

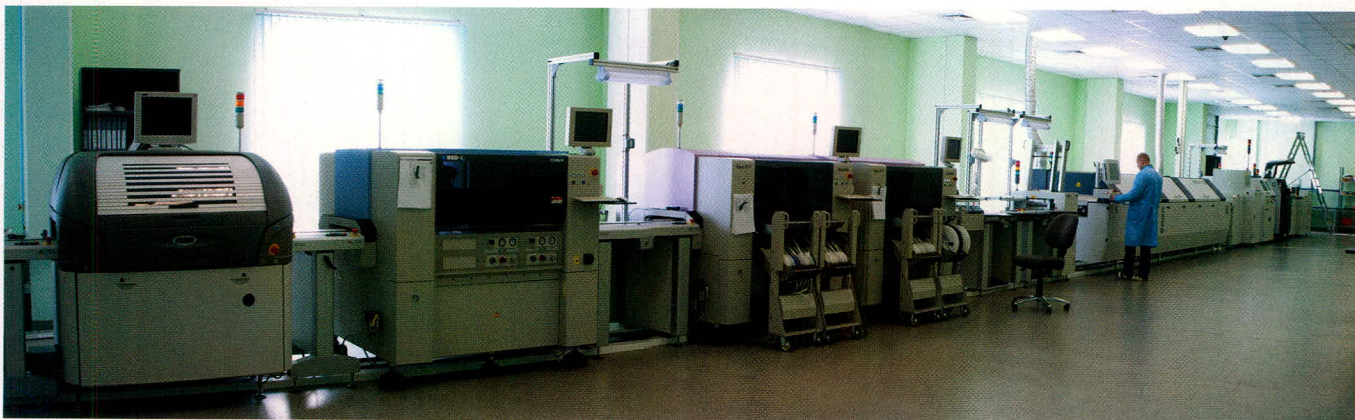
*Каковы планы на ближайшие год-два?*

Будем развивать все направления нашей деятельности. Что касается производства, то в течение года будут запущены новые участки: электромеханической сборки, механический, кабельный и участок влагозащиты.

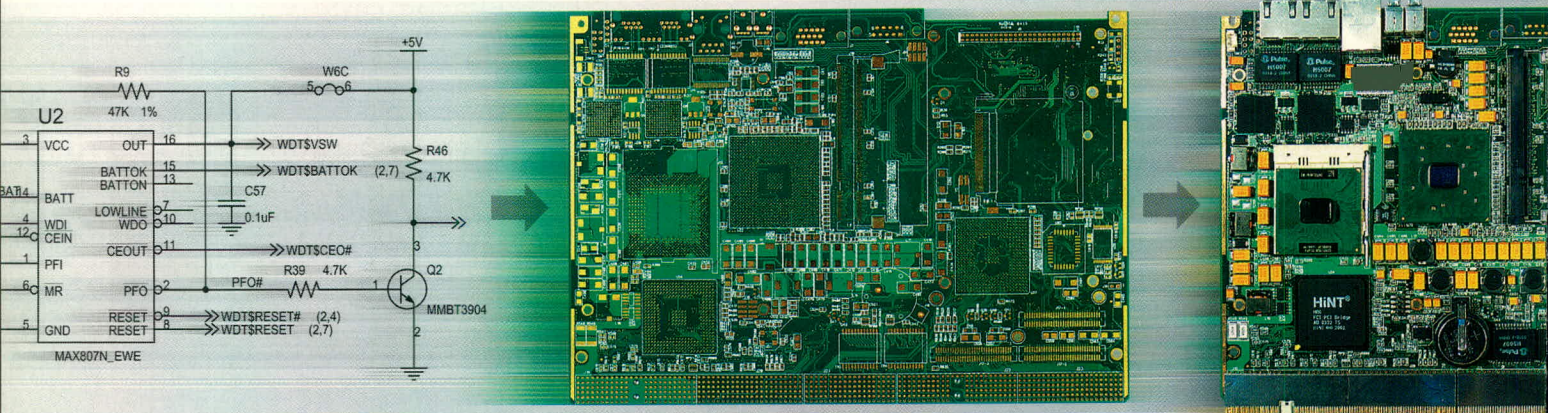
В части разработок мы в ближайшем будущем предложим наш новый универсальный контроллер с предварительным названием Fastwel I/O. Надеемся, что на его базе будут разрабатываться серьёзные решения. Активно будем развивать направление разработок под заказчика.

*Как Вы оцениваете долгосрочные перспективы вашего бизнеса?*

Мы сторонники эволюционного развития. Каждый новый шаг мы делаем, опираясь на анализ ситуации на рынке и в стране в целом. Перспективы, на мой взгляд, хорошие. В обозримом будущем интерес к контрактным производителям будет неуклонно расти.







## ТЕХНОЛОГИИ МЕНЯЮТСЯ - *доверие остается*

Fastwel – ведущий контрактный производитель электроники в России и СНГ.  
 Производственные ресурсы компании по квалификации персонала и составу оборудования стоят в ряду лучших европейских производств.  
 В активе компании прочные и эффективные отношения с признанными лидерами в области электронных компонентов, печатных плат и оборудования.  
 Компания предоставляет своим клиентам полный комплекс работ и услуг, осуществляя законченный цикл электронного производства.  
 Fastwel – мир передовых технологий, современных разработок, ответственных решений, заслуженно пользующихся доверием клиентов.

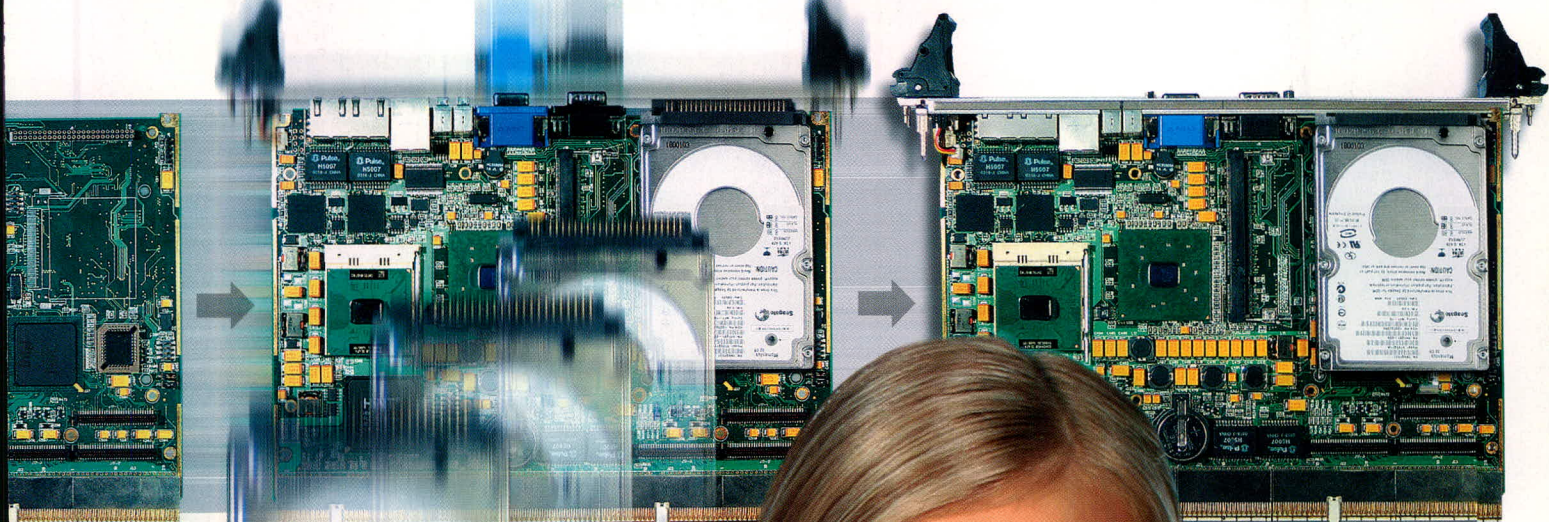


## мир электроники Fastwel





# ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ





# Экономика и психология ценообразования в производстве электроники

Вадим Лысов (Москва)

**Как правильно совместить интересы потребителей и производителей в отрасли контрактного производства электроники? Статистика реального контрактного производства показывает, что минимизация рисков заказчика достигается путём совмещения в одном лице поставщиков печатных плат, комплектующих и монтажного производства.**

Большинство исследований и публикаций на тему эффективности бизнеса заостряют внимание на абсолютной стоимости как на основной характеристике ценности продукта. Таким образом, цена товара или услуги превращается в фетиш, заслоняющий факторы, которые действительно влияют на успешность бизнеса как производителей и поставщиков, так и заказчиков. С точки зрения потребителя, цена (счёт от поставщика) – это то, что он теряет или чем ему приходится пожертвовать ради приобретения товара, услуги. Производитель же воспринимает цену (точнее, полученные от заказчика деньги) как меру удовлетворённости клиента и сбалансированности интересов участников проекта: ведь заказчик готов заплатить лишь тогда, когда изготовитель полностью оправдывает его ожидания. Только в таком случае у него не возникнет сожаления о том, что он расстался с деньгами. Более того, он может стать постоянным клиентом!

Упрощая ситуацию, рассмотрим уже сформировавшийся рынок с достаточным количеством как заказчиков, так и изготовителей при условии, что как минимум 50% клиентов уже имеют опыт работы с разными контрактными производителями и вывели линейки своих серийных продуктов на рынок конечного потребителя. При этом постоянно появляются новые участники, предлагающие свои разработки высокого уровня, востребованные на рынке, и желающие технично и быстро переиграть конкурентов.

Как правильно совместить интересы потребителей и производителей при формировании цены в отрасли контрактного производства электроники? Какие проблемы восприятия цены, качества и ценности товара предстоит при этом решить обеим сторонам на этапе переговоров и по завершению работ? Однозначный ответ на эти вопросы, конечно, отсутствует. Но существует статистика исполненных заказов (сотни успешно исполненных заявок и больших проектов, тысячи расчётов и контактов за 3 года – достаточно репрезентативная выборка), опыт и история наблюдения за процессом согласования интересов. Есть и желание открытого обсуждения вопросов цены, качества, ожиданий и их оправданности.

## Истоки конфликта

В дальнейшем рассматривается ситуация, когда заказчик и производитель де-юре и де-факто являются двумя независимыми друг от друга бизнес-единицами, имеющими свободу самостоятельного принятия решений. Такой вариант выбран не для обострения и драматизации отношений сторон, а с целью более наглядной демонстрации их поведения при согласовании условий контракта. Впрочем, принципы поиска эффективности бизнес-решений одинаковы как для переговоров между разными компаниями, так и для взаимодействия инжинирингового и производственного секторов внутри одного предприятия. Различен только путь принятия ре-

шения: в едином предприятии все подразделения зависят от конечного результата, а руководитель проекта должен рассматривать весь процесс – от разработки изделий до внедрения их у клиентов – как нечто целостное.

Производство электроники по контракту относится к категории сложных техно- и ресурсоёмких процессов, поэтому зачастую оно включает в себя целый комплекс предпроектных работ. В частности, могут потребоваться дополнительные этапы научных, инженерных исследований, опытно-конструкторских и технологических разработок, испытаний и т.д.

В большинстве случаев производитель электроники по контракту (далее – КП, контрактный производитель) «на входе» имеет дело с конструкторской документацией (далее – КД) потенциального заказчика, в которой приведены требования к печатным платам (далее – ПП), компонентам, условиям монтажных работ, полной сборке, тестированию, программированию, упаковке и т.п. Уровень детализации, разработанности и адаптации к технологическим особенностям производителей ПП и монтажных работ может существенно различаться: от чрезмерно детализированных традиционных изделий зарубежных компаний до «сырых» проектов, только что вышедших из-под пера разработчиков компаний – новичков.

На основании полученной документации, а также с учётом требований к изделию и его сложности КП принимает решение о выборе поставщика ПП. Если в КД заказчика требования к материалу, покрытиям и другим технологическим параметрам заданы жёстко, КП проводит анализ их обоснованности и реализуемости. При этом не всегда заключения технологов производителя совпадают с требованиями КД заказ-



чика. Однако именно ведущий технолог контрактного производства несёт персональную ответственность за качество готового изделия.

Таким образом, возникает спорная ситуация, имеющая следующие варианты разрешения:

- заказчик изначально доверяет репутации КП и соглашается с решающим мнением его технолога;
- КП предоставляет заказчику доказательств корректности точки зрения своих технологов, а в случае необходимости проводит дополнительные исследования с целью выявления новых аргументов в пользу изменения требований КД;
- при заключении контракта договорными условиями оговаривается и фиксируется ограничение обязательств по качеству;
- крайне редко, но случается, что уже на этапе переговоров КП считает целесообразным отказаться от исполнения заказа, если добиться понимания с заказчиком не удаётся.

Позиция КП обусловлена уверенностью в квалификации своих технологов, опыте работы и плотных связях непосредственно с заводами – изготовителями ПП.

В качестве примера, убеждающего в компетенции технологов КП, приведу принятую с первого дня существования производства в Fastwel и ставшую сегодня практически повсеместной практику операционной раскладки предложения по сборке модулей. Она подразумевает контроль и экспертную оценку всех производственных процессов. При этом приводится раздельное и подробное описание стоимости, сроков и, если требуется, дополнительных условий (требований по импедансу, нестандартной внутренней структуре многослойных ПП, цвету и типу маски и т.п.). Все эти нюансы согласовываются уже на первых этапах обсуждения контракта. Помимо необходимых технологических данных заказчик получает полную ценовую информацию, зависящую от технических требований к ПП, сроков поставки, выбранного завода-изготовителя и иных параметров. Передача этой информации клиенту означает наступление самой напряжённой поры для коммерсантов с обеих сторон: вопрос цены на время заслоняет все

остальные и иногда он, этот вопрос, может оказаться последним в отношениях сторон! Предлагаю серьезно подойти к определению понятия «стоимость», ибо, если заказчик и производитель оперируют в одном терминологическом поле, недоразумений можно в большинстве случаев избежать.

### Абсолютная и относительная стоимость печатных плат

Тезис о том, что сами по себе ПП являются промежуточным продуктом контрактного производства и не обладают необходимыми характеристиками ценности для конечного потребителя, очевиден... только до критической стадии обсуждения их цены с поставщиком! Как только озвучиваются денежные суммы, виртуальная стоимость ПП выходит на первый план и затмевает собой всё остальное. Такова магия чисел с сопровождающей их аббревиатурой «руб.» или «у.е.». Разрушая эти чары, посмотрим на феномен с точки зрения эффективности конечного результата.

На рис. 1 приведена диаграмма долевого распределения стоимостей компонентов изделия. Данные получены после обработки сотен заказов на ПП и собственные изделия Fastwel за 2003 – 2004 годы. Для наглядности были выделены три зоны, в каждую из которых входит свой тип изделий: опытные образцы и уникальные несерийные изделия, серийная продукция сложной и средней технологичности, «облегченные» массовые изделия. Дальнейшее упрощение рассуждений заключается в том, что серийные изделия вообще не учитывают предшествующие затраты этапа разработок и отработки опытных партий.

Осталось сделать немного простых арифметических действий, чтобы перейти непосредственно к экономической составляющей бизнеса. Правда, остаётся неточно определённая величина для зоны 1 – это стоимость этапа разработок. Информацию о ней от сторонних организаций удаётся получить крайне редко, да и обнародованные данные весьма недостоверны.

Предположим, что этап разработок в стоимости опытных образцов «весит» не менее 90% (впрочем, каждый

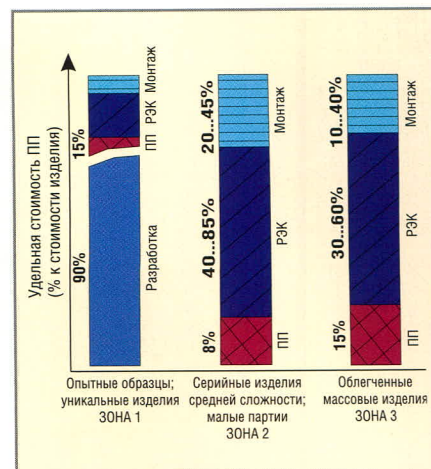


Рис. 1. Диаграмма долевого распределения стоимостей компонентов изделия

волен указать число по своему усмотрению: чётких границ здесь нет). Тогда максимальная относительная стоимость ПП в стоимости изделия составляет:

- для зоны 1: до 1,5%;
- для зоны 2: до 8%;
- для зоны 3: до 15%.

А теперь вернемся к конфликту участников, в котором потенциальный заказчик борется за значительное (обычно порядка 20...40%) снижение стоимости ПП. В соответствии с предыдущими статистическими выкладками снижение стоимости ПП на 30% могло бы привести к экономии на изделии от 0,45% до 4,5%. Именно в этих пределах и идёт борьба за цену, борьба, в которой может вообще не оказаться победителей!

В России переговоры по коммерческим вопросам со стороны заказчиков традиционно (исходя из анализа выборки контактов компании Fastwel, не менее чем в 80% случаев) ведёт не коммерческий или финансовый персонал, а разработчики, на которых возложена ответственность за проект, главные инженеры и конструкторы, начальники смежных производств, сотрудники отделов снабжения. Как правило, это яркие, технически очень грамотные, талантливые в своих областях люди. Но, к сожалению, финансовый менеджмент не входит в сферу их основных профессиональных компетенций. Соответственно, часто возникают проблемы, связанные с неквалифицированным подходом к вопросам ценообразования, и КП приходится сталкиваться с заявлениями клиента типа: «Мы уже потра-



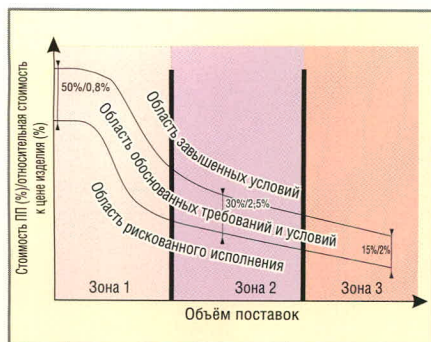


Рис. 2. Стоимость ПП в зависимости от объема поставок

тили на данный проект 50 000 у.е. И поэтому переплачивать ещё 50 у.е. за ПП нет никакого желания или возможностей. Дорого». Подобное поведение уже мало связано с восприятием проблемы с экономической точки зрения, а скорее, имеет психологический подтекст. Последующее, в разумных пределах, конечно, за заказчиком, и на качественном уровне попробуем поработать и с экономическими, и с психологическими аспектами.

### Подход к бизнес-решению

Рисунок 2 если и требует пояснений, то только в расшифровке подписей. Итак, для уже рассмотренных зон 1, 2 и 3 действует единый закон, несмотря на то что сам характер ПП и требования к ним существенно различаются.

В нижнюю область входят рискованные заказы ПП, для которых характерны высокая вероятность срыва сроков, ненадлежащее или нестабильное качество изделий, непредсказуемая (от заказа к заказу) ситуация взаимодействия с поставщиком и производителем ПП, меняющаяся от хорошей до безобразной, невозможность управления рисками, возникающими в процессе совместной работы. В этой области работают коллективы с малой ответственностью за итог, так называемые «азартные игроки». Как правило, в этой категории потребителей и поставщиков заказ ПП, комплектующих и монтаж разнесены по не связанным между собой предприятиям или отделам, что позволяет значительно снизить ответственность каждого звена, а то и полностью её снять.

Средняя область включает решения наибольшей экономической целесообразности. Это область ответст-

венных поставщиков, грамотных производителей и искушённых заказчиков.

Верхняя область принадлежит, как правило, участникам, недавно работающим на данном рынке и пока ещё осваивающим его. Это область либо неэффективно выбранных производителей и плохой логистики, либо сверхприбылей для поставщиков, либо перестраховочных решений. Число заключаемых контрактов в этой области достигает наивысшего значения в переходные периоды, характеризующиеся минимальной информированностью участников. Как ни странно, эта цифра никогда не снижается до отметки «0», и её можно отнести к категории «тестирования на верхний предел рынка».

Обсуждая приведённые графики, имеет смысл ещё раз напомнить, что относительный ценовой коридор средней области лежит в пределах всего 0,5...5% от стоимости изделия! И при рассмотрении проблемы ценообразования на рынке ПП это всегда необходимо иметь в виду.

Используя в качестве критериев полную стоимость и вероятность срыва выпуска работоспособного изделия, можно выделить на рис. 2 «оптимальную» область, к которой должны по идее относиться решения, принимаемые заказчиком и КП. Это верхняя граница средней области. Увы, повседневная практика показывает другое преобладающее поведение заказчика. Он настойчиво старается вытолкнуть решение КП в нижнюю область. Вероятно, клиент подсознательно предполагает, что если КП, вынужденный работать в этой области, взялся за исполнение заказа, вся ответственность уже полностью переложена на него. Это верно только отчасти: при таком подходе обеим сторонам необходимо осознанно представлять распределение ответственности.

Принятие решения (опять-таки, для обеих сторон) — это, скорее, искусство, чем формализованное ремесло. Зачастую такое трудное и противоречащее природе менеджеров-коммерсантов «нет» является единственно верным бизнес-решением! Впрочем, останется лишь дожидаться, пока потери отказавшейся от сотрудничества стороны не переполнят ча-

шу её терпения или не выйдут за рамки бюджета. Тогда ей придётся перейти к обсуждению реалистичных условий, базирующихся на объективной информации.

### Частные выводы и рекомендации

Безусловно, формализовать рынок до автоматического принятия решения по нескольким параметрам принципиально невозможно. Речь может идти только о предоставлении корректной, достоверной и полной информации, на которой решение будет базироваться.

*Реальная минимизация рисков заказчика и интегрированная экономическая оценка процесса контрактной сборки достигается путём совмещения в одном лице поставщиков ПП, комплектующих и монтажного производства.*

Однако, это не всегда возможно или эффективно (в силу разных, иногда внеэкономических причин), поэтому вернёмся к изолированному процессу поставки ПП.

Выделим основные характеристики поставщиков ПП, которые целесообразно использовать в качестве критериев сравнительного анализа при их выборе:

- точное понимание и реализуемость требований КД, а также требований к изготовителю ПП. Каждый изготовитель имеет свои сильные и слабые стороны. Требование от производителя работы на грани собственных возможностей — это риск получения нестабильного качества продукции при завышенных стоимости и сроках изготовления;
- стабильное качество продукции, воспроизводимость её характеристик при переходе от опытных образцов к серийным, от партии к партии (для изделий, изготавливаемых на протяжении длительного периода);
- соответствие параметров ПП данного поставщика заданным техническим требованиям (импеданс, ВЧ-характеристики, устойчивость к внешним воздействиям и т.п.). Кроме информации, предоставленной поставщиком с целью привлечения клиентов, полезно заранее выяснить, за счёт чего и какими методами он собирается достигнуть обещанного результата;



- соответствие стандартов поставщика общепринятым технологиям монтажных работ, куда входят физико-химические параметры ПП, их покрытия, механические характеристики и геометрия заготовок. Отступление от этих норм приводит в лучшем случае к повышению стоимости монтажных работ (необходимости специальных инженерных ухищрений, дополнительных операций) или переводу части работ с автоматизированных на ручные, а в худшем – к невозможности качественного исполнения;
- обеспечение эксплуатационных параметров (в том числе недопущение отложенных отказов готовых изделий из-за нарушений контактов, отслоения, дегметаллизации отверстий ПП и проч.);
- готовность нести ответственность в случае наступления форс-мажорных обстоятельств. Здесь тоже полезно заранее понимать, какими ресурсами обладает данный поставщик, за счёт чего и какими методами он собирается достигнуть обещанного.

Обобщая вышесказанное, попробую сформулировать образ ответственного КП, профессионально работающего на рынке ПП. Как и любой собирательный образ, он не соответствует ни одному действующему в данный момент участнику рынка. Он схематичен, ограничен и, скорее, представляет собой совокупность НЕОБХОДИМЫХ атрибутов. Нарисованный портрет близок к классическому «лес – это совокупность деревьев, а дерево есть корни, ветви и листья». Но ведь и это уже немало!

Итак, профессиональный КП характеризуется:

- наличием собственного квалифицированного персонала, способного осуществлять все необходимые процессы в жизни изделия: проектирование, производство и монтаж ПП. Именно на входе осуществляется первая проверка КД на отсутствие фатальных ошибок, а для постоянных клиентов вырабатываются рекомендации, позволяющие снизить стоимость и повысить итоговое качество изделия;
- наличием надёжных, проверенных партнеров – изготовителей

ПП с различными возможностями. КП должен постоянно сотрудничать с ними в течение 1,5...2 лет. Большое значение имеет непрерывный процесс проверки качества ПП, поступающих от производителя. Близким к идеалу вариантом можно считать совмещение двух уровней тестирования: в лаборатории производителя (т.н. карты «репорт») для каждой партии ПП и выборочный контроль (периодичность которого задаётся в зависимости от уровня сложности ПП) в независимой лаборатории, имеющей необходимое оснащение, квалифицированных сотрудников и лицензию на ведение этой деятельности на профессиональном уровне;

- возможностью, умением и обязательством отстаивать интересы свои и своих заказчиков в случае возникновения спорных или проблемных ситуаций. Речь идёт об организационной поддержке, готовности производителя ПП воспринять обоснованные претензии заказчика и принять меры по устранению возможных негативных последствий (включая срочное изготовление партии ПП за свой счёт);
- отличию налаженной собственной или внешней логистикой как гарантией соблюдения оговоренных сроков, подконтрольности и управляемости процессов доставки продукции от цеха производителя ПП до собственного склада;
- финансовой устойчивостью, позволяющей сглаживать возникающие негативные ситуации, нацеленностью на развитие и продолжительность пребывания на рынке, трепетным отношением к собственной репутации как экономической категории бизнеса и его этическому компоненту.

*Достаточная полнота и надлежащий уровень «джентльменского набора» качеств и умений КП являются своеобразной прививкой от сиюминутного и иногда весьма соблазнительного для коммерсантов желания рискнуть качеством чужих изделий и взять заказ на условиях клиента, что влечёт за собой чрезмерное снижение стоимости продукции и, соответственно, переход в зону безответственности перед заказчиком. Вполне возможно,*

*что и сам КП при этом понесёт значительные убытки. Естественно, что подобные последствия нежелательны как для производителя, так и для его клиента. Теперь признаюсь: основной целью статьи было желание предостеречь обе стороны от принятия таких разрушительных решений.*

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

Таким образом, на примере печатных плат рассмотрены проблемы ценнообразования и эффективности бизнеса в отрасли производства электронных изделий. Существуют и другие, не менее важные вопросы, такие как комплектование РЭК и технологическая реализуемость проектов, и они требуют отдельного рассмотрения. Мы постараемся осветить их в дальнейшем.

В данной статье никоим образом не ставились цели обсудить технологии или дать рекомендации по проектированию ПП. По этому вопросу существует специальная литература, одно перечисление которой многократно превысит объём всей статьи.

Впрочем, несколько полезных ссылок считаю целесообразным привести.

Краткая информация для разработчиков, готовящих изделия для серийной сборки на автоматических линиях производства, содержится на страницах сайта [www.fastwel.ru](http://www.fastwel.ru). Это переведённые на русский язык выдержки из стандартов проектирования и производства IPC. Дополненные информацией производителей радиоэлектронных компонентов (каждый уважающий себя производитель имеет на сайте полную информацию о геометрии ответного «принта» для данного компонента и общие рекомендации, включающие температурные профили, механические нагрузки, теплоотвод и т.п.), эти данные составляют достаточно полную рекомендательную базу при проектировании.

Много интересной и полезной информации также содержится в книгах доктора технических наук, проф. МАИ А. Медведева «Печатные платы. Конструкции и материалы» и «Технология производства печатных плат» (издание совсем свежее – 2005 года).





# Услуги и товары на российском рынке производства электроники

Название фирмы	Телефон Сайт	Разработка проекта				Изготовление печатных плат	
		Разработка принципиальных схем	Проектирование печатных плат	Моделирование работы устройства	Разработка конструкторской документации	Изготовитель печатных плат (фирма или контрагент)	Серийность производства плат / срок выполнения
Pacific Microelectronics Inc.	(095) 933-2737, (095) 775-0147 www.fullmarkspcb.ru					Фирма	Опытные образцы – 1...10 шт. / 3 дня, серийное – от 1000 шт. / от 14 дн.
ГРАНИТ-ВТ, ЗАО	(812) 578-0297, (812) 274-0448 www.granit-vt.ru	OrCAD	Cadence	Ibis, P-Spice, трёхмерный тепловой анализ	ЕСКД, ЕСПД, электронный документооборот с сертифицированными ЭЦП, ВП МО, поддержка жизненного цикла, встраиваемое, тестовое и функциональное программное обеспечение		
Группа компаний ЭРИКОН	(812) 380-1491, (095) 775-1518 www.ericon.ru, www.ncab.ru				По согласованию	Фирма	Опытная партия / от 1 дня, серия / от 10 дней
ДЕРБИ, ООО	(812) 275-8594 www.pcbboard.ru		P-CAD, OrCAD, MENTOR, PADS Power PCB	MENTOR	ЕСКД, Компасс, AutoCAD	Фирма	2...10 слов / 1 неделя; 2...16 слов / 2...3 недели; пром. партии / 2...5 недель; 20...64 слоя / 3...5 недель
Многослойные печатные платы, ЗАО	(812) 596-5767 www.zaompp.spb.ru		P-CAD, PADS Power PCB		ISO, ЕСКД, Компасс, AutoCAD	Фирма	Опытное, мелкосерийное
ТелеРем-СЛ, ООО	(095) 739-0727, (095) 536-8737 www.telerem.ru	OrCAD	P-CAD		ЕСКД	Фирма и контрагент	Опытное – до 15 кв. дм / от 4 дней; мелкосерийное – до 50 кв. дм / от 14 дней; серийное от 50 кв. дм / от 30 дней
Фаствел, ООО	(095) 234-0639 www.fastwel.ru	MENTOR	MENTOR	MENTOR	ЕСКД	Контрагент (Корея, Финляндия)	От 1 шт. до серии / от 6 дней до 5 недель

Название фирмы	Телефон Сайт	Монтаж печатных плат						
		Выполнение монтажа плат (фирма или контрагент)	Типы монтируемых SMD-корпусов	Минимальный размер SMD-корпуса / точность установки (сигма), мкм	Трафарет для паяльной пасты	Суммарная производительность оборудования, комп./ч	Технология пайки	Контроль пайки
Cybertech	(095) 980-7852 www.cyberplast.ru							
Pacific Microelectronics Inc.	(095) 933-2737, (095) 775-0147 www.fullmarkspcb.ru	Фирма	Все известные (BGA, TQFP, FlipChip, QFN и др.)	Монтаж любых корпусов	Нержавеющая сталь	1,5 млн.	Конвекционная, волна, ручная, бессвинцовая	Оптический, рентгеновский, визуальный
ГРАНИТ-ВТ, ЗАО	(812) 578-0297, (812) 274-0448 www.granit-vt.ru	Фирма	BGA, CSP, QFP и др.	0402 / 5	Сталь	5000 (по IPC 9850)	Конвекционная, двойная волна, ручная, бессвинцовая	Оптический, рентгеновский
Группа компаний ЭРИКОН	(812) 380-1491, (095) 775-1518 www.ericon.ru, www.ncab.ru	Фирма	BGA, FlipChip и др.	0201 / 5	Нержавеющая сталь 600 × 600	22 000	Ручная, конвекционная, волна, бессвинцовая	Рентгеновский
ТелеРем-СЛ, ООО	(095) 739-0727, (095) 536-8737 www.telerem.ru	Фирма	BGA, FlipChip, QFN	0603 / 3,5	Бронза, сталь	21 000	Конвекционная, волна, ручная	Визуальный
Фаствел, ООО	(095) 234-0639 www.fastwel.ru	Фирма	BGA, FlipChip, CSP, QFN	0201 / 3,5	Стальной, на самонатягивающей раме	70 000	Конвекционная, волна, ручная, бессвинцовая	Оптический, рентгеновский, визуальный
ЦНИТИ «Техномаш-Трасса», ЗАО	(095) 146-1904, (095) 146-1959 www.trassa.chat.ru	Фирма	Chip, MELF, SOT-23, SOT-89, SO, QFP, PLCC и др.	0201 / 3,5	Сталь	9000	Инфракрасно-конвекционная	Визуальный



Предлагаем вашему вниманию таблицу, которая содержит информацию о наиболее активных российских фирмах, предлагающих свои услуги на рынке производства электроники. Мы постарались представить достаточно полную и объективную информацию, облегчающую выбор не только производителя печатных плат, но и контрактного производителя, способного выдержать весь объём работ по изготовлению вашего изделия.

Изготовление печатных плат								
Срочность изготовления плат / партия	Исходные файлы для производства плат	Класс печатных плат (ширина проводника / зазора, мм)	Число слоёв плат (жёстких/гибких)	Максимальный размер плат, мм	Маска	Технологии производства плат	Контроль печатных плат	
Экспресс – 1 день / 10 шт., срочное – 3 дня / 1000 шт.	P-CAD, OrCAD, CAM, GERBER, PROTEL, AutoCAD, Eagle	5 (0,1/0,1)	24/24	550 × 550 для ОПП; 406 × 508 для ДПП и МПП	Жидкая фотопроявляемая любых цветов	СВЧ, глухие и скрытые п/о, металлическое основание	Оптический контроль, электроконтроль	
От 1 раб. дня	GERBER, P-CAD	Выше 5 (0,075/0,075)	40/8	ОПП и ДПП – 1500 × 750 МПП – 890 × 890	Жидкая фотопроявляемая. Цвета: зелёный, синий, красный, белый, чёрный, жёлтый	СВЧ, глухие и скрытые п/о, металлическое основание, печатные трансформаторы, гибко-жёсткие платы	Электроконтроль	
Супер-экспресс – 1...3 дня / 100 шт.; экспресс – 3...5 дней / 1000 шт.	P-CAD, OrCAD, MENTOR, GERBER	5 (0,1/0,1)	64/10	600 × 600	Жидкая фотопроявляемая (LPISM)	Жёсткие, гибкие, гибко-жёсткие, сквозная металлизация, глухие, скрытые, полиимиды, двухсторонние б/м, радиочастотные, толстая медь, металлическое основание	AOI, E-TEST	
Срочное: ОПП – 1 день, ДПП – 3 дня, МПП – 10 дней	P-CAD, GERBER	4 (0,15/0,15)	24	500 × 400	Плёночная, жидкая	Металлизация сквозных отверстий и торцов, иммерсионное золото и серебро, скрытые п/о, теплоотвод	Визуальный контроль, электроконтроль	
Экспресс – в планах, срочное – от 4 дней / до 50 кв. дм	P-CAD (от 4.5 до 2004), ORCAD, Protel, CAM350, GERBER	5 (0,1/0,1 для HAL и 0,075/0,075 для Flash Gold)		600 × 1100	Плёночная, жидкая (LPI)	СВЧ, глухие и скрытые п/о, металлическое основание, зенковка, в т.ч. и PTH	Оптический контроль, электроконтроль, контроль импеданса	
Экспресс – 6 дней / до 100 кв. дм; срочное – 2 недели / до 300 кв. дм	GERBER, P-CAD, OrCAD, MENTOR и др.	5 (0,1/0,1)	48/10	580 × 700	Жидкая фотопроявляемая (LPI)	Глухие и скрытые п/о, серебряные п/о, гибко-жёсткие, металлическое основание, толстая фольга, СВЧ, технология наращивания	Оптический контроль (AOI), электроконтроль	

Монтаж печатных плат					Корпуса и фурнитура			
Метод очистки	Виды испытаний	Комплектация производства (фирма или заказчик)	Дополнительные услуги	Изготовление корпусов приборов	Изготовление панелей и шильдов	Готовые корпуса	Фурнитура	
Ультразвуковая ванна, продувка сжатым воздухом, деионизированная вода, сушка	Механические и климатические	Фирма	Влагозащита, сборка готовых изделий, кабели и жгуты, доставка заказчику	Металл, пластмасса	Шелкография, металлофото	Металл, пластмасса	Алюминий, пластмасса	
Ультразвуковая ванна, барботаж, продувка сжатым воздухом, деионизированная вода, сушка	Климат, вибрация (фиксированная частота и ШСВ), одиночный удар, вакуум	Заказчик или фирма (собственный склад + развитая кооперация)	Влагозащитное покрытие на основе полипарааксилена, механосборка, ВП МО, поддержка жизненного цикла, ремонт с восстановлением покрытия					
	Любые, по запросу	Только серийные заказы	Все					
Ультразвуковая ванна, продувка сжатым воздухом	Климат, термоудар, вибрация	Заказчик или фирма (собственный склад + развитая кооперация)	Влагозащита, сборка блоков, настройка, пайка жгутов, доставка заказчику, доработка и рестайлинг проектов, инвестирование	Сталь, алюминий (контрагент)	Тампопечать	15 моделей склад + каталог		
Ультразвуковая и струйная	Климат, термоудар, вибрация, солевой туман	Фирма или заказчик	Влагозащита, кабели и жгуты, PressFit, сборка блоков и шкафов	Сталь, алюминий (контрагент)	Металлофото			
Промывка водой с ПАВ	Механические и климатические	Фирма	Ручной монтаж традиционных элементов, сборка блоков					



# Особенности применения электронных компонентов, не содержащих свинца (Pb-free)

Александр Кратько (г. Минск, Белоруссия)

Рассмотрены вопросы применения электронных компонентов без содержания свинца (Pb-free). Даны рекомендации по автоматической и ручной пайке, освещены некоторые проблемы, возникающие при переходе на новые технологии.

## ПОЧЕМУ И ЗАЧЕМ ОНИ ПОЯВИЛИСЬ?

Начало всему положила директива 2002/95/ЕС Евросоюза, ограничивающая использование опасных химических соединений в промышленной электронной продукции [1]. Согласно этой директиве, известной ныне под аббревиатурой RoHS (Restriction of Hazardous Substances – запрет вредных веществ), с 1 июля 2006 г. запрещается использование в новой электронной технике многих опасных для здоровья и окружающей среды материалов. Директивы аналогичного содержания приняли Китай, Япония и некоторые штаты США (в том числе «колыбель» Кремниевой долины – Калифорния). В число таких материалов входят ртуть, кадмий, шестивалентный хром, но основным материалом, из-за которого и разгорелся весь сыр-бор, явился свинец, который входит в состав традиционных оловянно-свинцовых припоев, используемых в том числе в качестве покрытия выводов электронных компонентов. В данной статье мы не будем оценивать эффективность такого решения (по данным Американского геологического общества, менее 1% используемого в промышленности свинца расходуется на цели электронной промышленности [2], более того – многие Pb-free-припой намного токсичнее впавшего в немилость оловянно-свинцового собрата) и его экономические последствия. Рассмотрим лишь технические аспекты, с которыми предстоит столкнуться разработчикам и производителям электронной техники. Развитием экологического направления в электронной индустрии является (де-фак-

то) стандарт Green. Вдобавок к требованиям RoHS, он запрещает использование галогенов (бром, хлор и т.д.), что на практике приводит к использованию других материалов корпусов интегральных микросхем и других вспомогательных веществ (клеи и т.д.). Несмотря на то что официальный стандарт Green на данный момент отсутствует, ведущие производители выработали общие критерии, которых собираются придерживаться.

## КОГО ЭТО КОСНЁТСЯ?

Практически всех разработчиков и производителей электронной техники! В первую очередь, конечно, следует задуматься тем из них, кто экспортирует продукцию в вышеперечисленные страны. У них осталось меньше года для того, чтобы полностью «вывести» свинец из состава изделий. Однако не следует думать, что остальных данная проблема не затронет. Такие крупные фирмы – производители интегральных микросхем, как Texas Instruments, AMD, Fairchild Semiconductor, Philips и многие другие планируют полностью перейти на бессвинцовые технологии в самое ближайшее время. Компоненты, выполненные по традиционной технологии, будут доступны только под заказ. Об этом же сообщают производители дискретных полупроводников (ON Semiconductors, Vishay). Не отстают и производители пассивных компонентов – один из крупнейших мировых производителей Samsung Electro-Mechanic на данный момент практически полностью перешёл на новые технологии. В связи с этим использование компонентов, не

содержащих свинца во всей выпускаемой продукции, – это вопрос ближайшего времени для всех производителей электроники.

## ЧТО ВЗАМЕН СВИНЦА?

На данный момент среди производителей электронных компонентов нет единодушия в этом вопросе. В качестве альтернативы покрытиям выводов, содержащим свинец, наиболее часто используется чистое олово (Sn), сплавы олова и висмута (Sn-Bi) (в настоящее время используется всё реже) и многослойное покрытие золотом, палладием и никелем (Au-Pd-Ni). В качестве материала для изготовления выводов микросхем в корпусе Ball Grid Array (BGA) наиболее часто используется сплав олова, серебра и меди (Sn-Ag-Cu). Этот же материал наряду со сплавом олова и меди (Sn-Cu) является наиболее популярным бессвинцовым припоем. Строго говоря, данные материалы были известны и ранее, но серьёзно проигрывали в популярности традиционному сплаву олово-свинец (Pb-Sn). Например, покрытие Au-Pd-Ni впервые было использовано фирмой Texas Instruments в 1989 г., и с тех пор ею выпущено несколько миллионов компонентов с таким покрытием. Кроме этого, претерпевают изменения и покрытия самих печатных плат, для которых всё чаще используются золото (обычно с промежуточным слоем никеля), чистое олово, серебро и даже органические материалы. Такое разнообразие материалов, нередко усугубляемое необходимостью использования на одной печатной плате как компонентов, произведённых по традиционной технологии, так и бессвинцовых элементов, вызывает много вопросов по корректной технологии пайки и выбору припоев у разработчиков и производителей электроники. Учитывая всё больший рост в процентном соотношении компонентов без содержа-



ния свинца (в том числе и на отечественном рынке), в данной статье мы постараемся осветить хотя бы часть этих вопросов.

### КАК РАСПОЗНАТЬ РВ-FREE-КОМПОНЕНТ?

Как и в вопросе выбора материалов на замену оловянно-свинцовому припою, здесь среди производителей

нет однозначности. В таблице 1 приведены примеры новых обозначений, используемых основными производителями интегральных микросхем.

Кроме перечисленных выше изменений в наименованиях, большинство фирм-производителей помещают утверждённый стандартом JEDEC [3] символ на упаковку (см. рис. 1).

Встречаются также нестандартные маркировки, но все они содержат надпись Pb-free или Lead-free, означающую отсутствие свинца.

### КАК ИХ ПАТЬЯ?

Прежде всего, следует развеять наиболее часто встречающееся среди разработчиков и производителей электронной техники заблуждение,

Таблица 1. Примеры новых обозначений, используемых ведущими производителями интегральных микросхем

Фирма-производитель	Тип микросхем	Используемый материал выводов Pb-free	Обозначение Pb-free-компонентов	Пример обозначения	
				старое	новое
Texas Instruments	В корпусе BGA	Сплав Sn-Ag-Cu	Буква Z в обозначении корпуса	OPA2347YEDR	OPA2347YZDR
	В других корпусах	Au-Pd-Ni	Добавление индексов G4, E4 (и др. определяемых стандартом JEDEC <sup>1</sup> ) в обозначении	MSP430F149IPM	MSP430F149IPMG4
Atmel	Коммерческого температурного диапазона	Чистое олово или Au-Pd-Ni	Индексы L (покрытие оловом), G (покрытие Ni-Pd-Au), X (Green) взамен индекса C в обозначении		
	Индустриального температурного диапазона		Индексы J (покрытие оловом), H (покрытие Ni-Pd-Au), U (Green) взамен индекса I в обозначении	ATMEGA64L-8MI	ATMEGA64L-8MU
	Повышенной стойкости		Индексы N (покрытие оловом), P (покрытие Ni-Pd-Au), Q (Green) взамен индекса E в обозначении		
	Автомобильного температурного диапазона (до 125°C)		Индексы K (покрытие оловом), R (покрытие Ni-Pd-Au), Z (Green) взамен индекса A в обозначении		
	Автомобильного температурного диапазона		Индекс T (Green) в обозначении		
	Все		Добавление индексов Y или W	TDA4470-MFL	TDA4470-MFLY
Fujitsu Microelectronics	Все	Сплав олова и висмута Sn-Bi, сплав Sn-Ag-Cu для корпусов BGA	Добавление индекса E1 в конце обозначения	MB90F548GSPF-G	MB90F548GSPF-GE1
Maxim/Dallas		Чистое олово	Знак «+» в обозначении <sup>2</sup>	MAX3095EEE-T	MAX3095EEE+T
Philips	Все	Чистое олово или Au-Pd-Ni, сплав Sn-Ag-Cu для корпусов BGA	Нет изменений <sup>3</sup>		
National Semiconductor	Все	Чистое олово, сплав Sn-Ag-Cu для корпусов BGA	Добавление индекса NOPB в конце обозначения	LM324AM	LM324AM NOPB
Toshiba Semiconductor	Микросхемы памяти	Чистое олово, чистое золото, Au-Pd-Ni, сплав Sn-Ag-Cu, сплав Sn-Ag	Буква G в обозначении корпуса	TC58128AFT	TC58128ATG
	Дискретные полупроводники <sup>4</sup>		Добавление индекса F в конце обозначения для изделий без свинца или индекса Q для изделий с бессвинцовым покрытием	TC51WHM516AXBN	TC51WHM516AXGN
	Другие интегральные микросхемы <sup>4</sup>				
Analog Devices	Все <sup>4</sup>	Чистое олово, сплав Sn-Ag-Cu для корпусов BGA	Добавление индекса Z в конце обозначения	ADM1024ARU-REEL	ADM1024ARUZ-REEL
				AD648KR	AD648KRZ
				AD7528KP-REEL7	AD7528KPZ-REEL7
				ADP3522ACP-1.8-RL7	ADP3522ACPZ-1.8-RL7

<sup>1</sup>В соответствии со стандартом JEDEC [3] приняты следующие аббревиатуры в наименованиях компонентов:

- E1 – выводы покрыты сплавом олова, серебра и меди (Sn-Ag-Cu), кроме перечисленных в категории E2;
- E2 – выводы покрыты сплавами олова (Sn), не содержащими висмут (Bi) и цинк (Zn), кроме сплава Sn-Ag-Cu;
- E3 – выводы покрыты оловом (Sn);
- E4 – выводы покрыты драгоценными металлами (серебром (Ag), золотом (Au), палладием и никелем (Ni-Pd), палладием, никелем и золотом (Ni-Pd-Au) и не содержат олова);
- E5 – выводы покрыты сплавами олова и цинка (Sn-Zn, Sn-Znx) (не содержит висмута (Bi));
- E6 – содержит висмут (Bi);
- E7 – выводы покрыты низкотемпературным припоем (температура плавления менее 150°C), содержащими индий (не содержат висмута (Bi)).

<sup>2</sup>Кроме этого, знаком «+» обозначается первый вывод микросхем.

<sup>3</sup>Изменения касаются кода заказа (order code).

<sup>4</sup>Изменения не касаются микросхем, изначально выпускаемых как Lead-free.



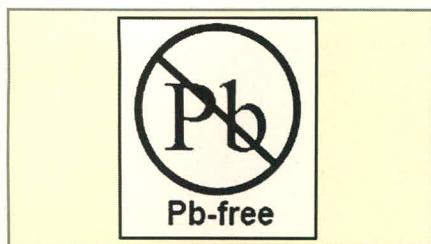


Рис. 1. Маркировка упаковки компонентов, не содержащих свинца

что компоненты, не содержащие свинца, требуют специальных припоев и технологий пайки. В данном вопросе все ведущие производители единодушны – большинство Pb-free-компонентов полностью совместимы со стандартными технологиями пайки оловянно-свинцовыми припоями. Исключения из этого правила – микросхемы в корпусах Ball Grid Array (BGA) и с редко встречающимися покрытиями выводов с использо-

ванием висмута (материал покрытия выводов конкретного электронного компонента, как правило, указан на сайте производителя). Более того – совместимость с требованиями RoHS, равно как и знак Pb-free вообще, не означают, что элемент можно паять бессвинцовыми припоями, т.к. большинство из них имеют повышенную температуру плавления. Этот факт отдельно оговаривается в документации на элемент (см. максимально допустимую температуру пайки). Использовать технологии пайки без свинца придётся лишь в том случае, если продукция должна соответствовать требованиям директивы RoHS. В таблице 2 приведены различные комбинации материалов выводов и технологий пайки с указанием возможных проблем и несовместимости.

Как видно из таблицы, традиционная технология пайки с использова-

нием оловянно-свинцовых припоев полностью совместима с новыми Pb-free компонентами (за исключением интегральных микросхем в корпусах BGA и редко используемых покрытий с использованием висмута). Интегральные микросхемы с многослойным покрытием выводов золотом, палладием и никелем (Au-Pd-Ni) (этот материал выбран в качестве основного, к примеру, фирмами Texas Instruments и STMicroelectronics) имеют наименьшую вероятность несовместимости с технологией пайки. В таблице 3 приведён краткий обзор наиболее популярных припоев для традиционной и Pb-free-технологий.

К сожалению, практически все припои, имеющие температуру плавления, близкую к 183°C (температура плавления традиционного оловянно-свинцового припоя), имеют серьёзные недостатки. В эту группу входят

Таблица 2. Комбинации материалов выводов и технологий пайки и их совместимость

Тип корпуса	Технология пайки <sup>1</sup>	Покрытие выводов	Возможные проблемы
С выводами	Традиционная, оловянно-свинцовый припой	Олово/свинец	Нет
		Чистое олово (Pb-free)	Нет
		Золото-палладий-никель (Au-Pd-Ni) (Pb-free)	Нет
		Сплав олова и висмута (Pb-free)	Плохое качество пайки из-за реакции со свинцом
	Высокотемпературная, бессвинцовый припой	Олово/свинец	Присутствие висмута (Bi) в паяльной пасте может вызвать реакцию со свинцом, что приведёт к плохому качеству пайки. Вероятность расслоения под воздействием высоких температур
		Чистое олово (Pb-free)	Нет
		Золото-палладий-никель (Au-Pd-Ni) (Pb-free)	Нет
		Сплав олова и висмута (Pb-free)	Нет
BGA	Традиционная, оловянно-свинцовый припой	Олово/свинец	Нет
		Сплав Sn-Ag-Cu (Pb-free)	Требуется повышение температуры пайки, возможно преждевременное старение паек и непропай
CSP	Высокотемпературная, бессвинцовый припой	Олово/свинец	Вероятны дефекты
		Сплав Sn-Ag-Cu (Pb-free)	Нет

<sup>1</sup>Стандартные температурные «профили» для традиционной технологии и высокотемпературной технологии с использованием бессвинцовых припоев приведены в стандарте JEDEC [4]. Ещё раз обращаем ваше внимание – совместимость со стандартом Pb-free не означает совместимости с высокотемпературной технологией пайки!

Таблица 3. Основные типы припоев, используемых в электронной промышленности, и их особенности

Название	Состав	Особенности
Bi-Sn	58% висмут, 42% олово	Низкотемпературный. Точка плавления 138°C; слабая прочность пайки, особенно при термоциклировании; совместим с выводами, покрытыми чистым оловом; сравнительно низкая стоимость
Sn-Pb («традиционный»)	60% олово, 40% свинец	Общего применения; точка плавления 183°C; совместим с выводами, покрытыми чистым оловом; блестящий; низкая цена
SAC	96,5% олово, 3% серебро, 0,5% медь (содержание меди может незначительно отличаться)	Наиболее популярный Pb-free-припой, совместим с традиционными оловянно-свинцовыми покрытиями и покрытием чистым оловом; точка плавления 219°C; матовый
Sn-Ag	96,5% олово, 3,5% серебро	Точка плавления 221°C; совместим с выводами, покрытыми чистым оловом; несовместим с традиционными оловянно-свинцовыми покрытиями
Sn-Cu	99,3% олово, 0,7% медь	Совместим с традиционными оловянно-свинцовыми покрытиями и покрытием чистым оловом; точка плавления 227°C; матовый; низкая стоимость; невысокие механические параметры
Sn	Олово >98%	Совместим с традиционными оловянно-свинцовыми покрытиями и покрытием чистым оловом; точка плавления 232°C; блестящий; не переносит эксплуатации при низких температурах
Sn-Pb (высокотемпературный)	95% свинец, 5% олово	Совместим с традиционными оловянно-свинцовыми покрытиями и покрытием чистым оловом; используется для корпусов типа Flip-Chip и BGA; точка плавления около 300°C



# Лампа накаливания уже устарела!



**XLamp**

## Готовое решение: твердотельный источник света **XLamp™**

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП XLAMP™

- Светоотдача до 87 лм
- Рабочий ток 350 мА
- Мощность 1 Вт

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- Аварийно-спасательное оборудование
- Системы обеспечения жизнедеятельности
- Взрывоопасные производства
- Химическая промышленность
- Медицина
- Транспорт



Управляющий контроллер



Полимерные линзы



Кластер из 7 ламп



**CREE**  
LIGHTING

**ПРОСОФТ – официальный дистрибьютор компании CREE в России и странах СНГ**



**PROSOFT**®

**ПРОСОФТ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

Телефон: (095) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru



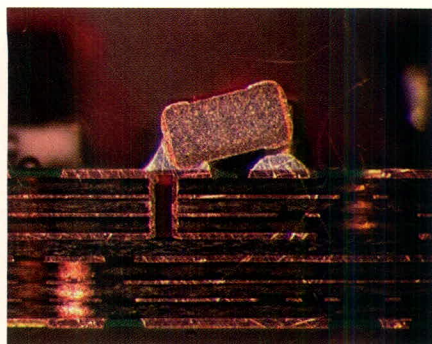


Рис. 2. Дефект типа «поднятие компонента при пайке» (tombstone)

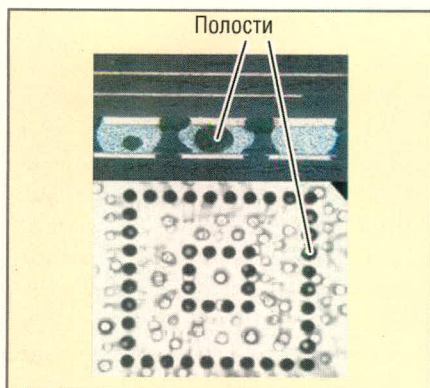


Рис. 3. Дефект типа «полость» (void) при пайке микросхем в корпусе BGA

припой с использованием индия (основной недостаток – высокая цена), цинка (основной недостаток – плохая коррозионная стойкость) и висмута (несовместим со свинцом, низкая прочность). Основываясь на результатах многолетних исследований, крупнейшие ассоциации производителей электронной техники (в частности, INEMI) рекомендуют в качестве альтернативы традиционным припоям сплавы SAC для пайки в печи и Sn–Cu для пайки «волной» [5].

Основной проблемой при переходе на данные типы бессвинцовых припоев является более высокая температура плавления, что, в свою очередь, требует изменения профилей пайки. Типовые профили пайки для Lead-free-технологии приведены в стандарте JEDEC [4].

При ручной пайке Lead-free-припоями (SAC-305) можно дать следующие рекомендации:

- температуру жала следует повысить до 343°C (по сравнению с 315°C для оловянно-свинцовых припоев);
- для защиты жала паяльной станции от окисления следует более тщательно очищать его и по возможности держать жало полностью открытым припоем;

- использовать разные жала для пайки оловянно-свинцовыми и Lead-free-припоями во избежание их смешивания;

- для соблюдения необходимых температурных профилей следует увеличить время разогрева и скорость охлаждения (жало следует убирать быстрее).

При выполнении этих рекомендаций и достаточной квалификации монтажников качество ручной пайки Lead-free-припоями соответствует наиболее высокому классу III требований IPC [8].

Что касается флюсов, клеев, смывков и других вспомогательных веществ для пайки, подавляющее их большинство может быть использовано как в традиционной технологии, так и при высокотемпературной пайке Lead-free-припоями. То же касается и технологического оборудования (для нанесения паяльных паст и т.д.).

### ДРУГИЕ АСПЕКТЫ

Повышенная температура пайки увеличивает чувствительность компонентов к начальной влажности. Это связано с тем, что повышение температуры пайки всего на 25°C приводит к примерно 1,5-кратному росту давления водяного пара внутри компонента, что может вызвать различные механические дефекты. Чувствительность электронных компонентов к влажности стандартизирована [4] и выражается в так называемом уровне чувствительности к влажности (MSL – Moisture Sensitivity Level). При переходе на Lead-free-технологии производители стремятся сохранить уровень MSL, однако это получается не всегда. В ряде случаев компоненты, выполненные по новой технологии, имеют более низкий уровень MSL, что приводит к ужесточению требований по их хранению (разумеется, лишь в случае использования высокотемпературных профилей пайки).

Припой, не содержащие свинца, как правило, имеют более высокий коэффициент поверхностного натяжения, что приводит к увеличению числа дефектов типа tombstone (поднятие компонента при пайке, см. рис. 2).

Кроме этого, отмечается ухудшенная смачиваемость выводов припоем при пайке выводных компонентов и увеличение числа дефектов типа

voids (полости, см. рис. 3) при пайке микросхем в корпусе BGA, особенно при использовании плохо совместимых комбинаций припоя и материала «шариков». В то же время при четком соблюдении требований к профилям пайки большинством исследователей отмечается в целом более высокое качество пайки при использовании Lead-free-технологий. Следует лишь иметь в виду, что характер наиболее часто встречающихся дефектов при переходе на новые технологии может измениться, что потребует адекватных изменений в системе контроля качества. Особенно это касается компонентов, выводы которых имеют покрытие Au–Pd–Ni: визуальный контроль качества пайки этих выводов имеет существенные отличия.

Ещё одним немаловажным аспектом в наших климатических условиях является тот факт, что при температурах ниже 13°C происходит фазовое превращение олова из  $\beta$ - в  $\alpha$ -фракцию, известное как «оловянная чума». Поэтому некоторые производители ограничивают срок хранения компонентов с покрытием из чистого олова при пониженных температурах, и это следует учитывать при использовании припоев с высоким содержанием олова. Так как «оловянная чума» проявляется лишь при температурах ниже –40°C (при температуре около 0°C процесс трансформации занимает многие годы), её влияние на Lead-free-компоненты на данный момент изучено слабо [6]. Тем не менее, вероятно, именно по этой причине практически никто из производителей пока не перевёл на технологии Lead-free компоненты военного (Military и Aerospace) исполнения.

Следует также отметить проблему несовместимости некоторых традиционных электронных компонентов с Lead-free-технологиями пайки. В первую очередь, это электролитические конденсаторы, большинство которых имеет максимально допустимую температуру пайки 225°C. Также следует обращать внимание на максимально допустимую температуру пайки моточных компонентов (дроссели, трансформаторы, реле и т.д.). В таких случаях можно рекомендовать в качестве временного решения ручную пайку термочувствительных элементов после пайки в печи, а в каче-



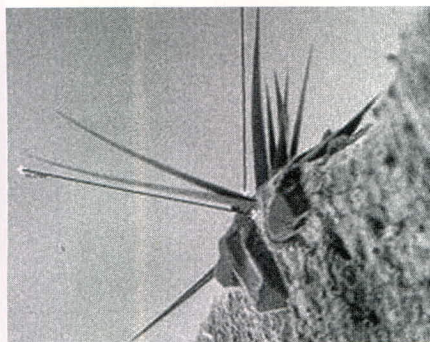


Рис. 4. Дефект типа «усы» (tin whiskers)

стве долговременного – переход на более высокотемпературные компоненты (например, танталовые и керамические конденсаторы взамен электrolитических).

У компонентов с покрытием чистым оловом существует проблема роста «усов» (tin whiskers) на выводах, которые теоретически способны вызывать замыкание. На рисунке 4 приведена фотография такого дефекта при увеличении  $\times 3000$  [7].

К счастью, хотя бы этот вопрос производители компонентов взяли под свой контроль – считается, что рост «усов» в большей степени зависит от особенностей технологического процесса покрытия выводов и не зависит от конечного пользователя.

## Выводы

Интегральные микросхемы и пассивные компоненты без содержания свинца (Lead-free, Pb-free) составляют всё больший процент среди электронных компонентов; в дальнейшем следует ожидать полного отказа от свинца в электронной промышленности. Экспортёрам продукции в страны ЕЭС и другие страны в самое ближайшее время придётся соблюдать требования директивы Евросоюза о запрещении использования опасных химических элементов в электронной продукции.

подавляющее большинство компонентов без использования свинца совместимы со стандартными технологиями пайки оловянно-свинцовыми припоями (за исключением микросхем в корпусах BGA). В то же время не все компоненты, произведённые по традиционной технологии, совместимы с высокотемпературными технологиями пайки Lead-free-припоями.

Использование наиболее популярных бессвинцовых припоев (сплав

SAC) требует изменения профиля пайки (повышения температуры). Профили пайки стандартизированы JEDEC. Высокотемпературные Lead-free-технологии пайки требуют более жёсткого контроля параметров (температуры и скорости её изменения). В первую очередь это касается инфракрасных печей, где параметры контролируются не так тщательно, как в конвекционных. Кроме того, в некоторых случаях требуется модификация систем контроля качества. Также при изменении технологии пайки следует обращать внимание на условия хранения компонентов, в частности, учитывать уровень чувствительности к влажности (MSL). С другой стороны, при использовании Lead-free-технологий повышается качество пайки, в частности, механические характеристики.

При выполнении ряда рекомендаций ручная пайка высокотемпературными Lead-free-припоями обеспечивает все необходимые требования по качеству.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal of the European Union, 13.02.2003, L 37/19.
2. Smith G.R., Martinez J.I. Lead in December 2002. Mineral Industry Survey, United States Geological Survey, <http://minerals.usgs.gov/minerals>.
3. JEDEC Standard Marking, Symbols, and Labels for Identification of Lead (Pb) Free Assemblies, Components, and Devices. JESD97 May 2004.
4. Joint Industry Standard Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices. IPC/JEDEC J-STD-020C July 2004.
5. [www.nemi.org/projects/ese/lf\\_assembly.html](http://www.nemi.org/projects/ese/lf_assembly.html).
6. Lasky R.C. Napoleon's Buttons and Lead-free Soldering. Lead-free Electronics Magazine. November, 2004.
7. Romm D.W., Abbott D.C., Grenney S., and Khan M. Whisker Evaluation of Tin-Plated Logic Component Leads. Texas Instruments Application Report SZZA037A. February 2003.
8. Whiteman L. Lead Free Hand Soldering. A publication of the National Electronics Manufacturing Center of Excellence. April 2005.

## Новости мира

### Новая технология производства цветных фильтров для ЖКД

Компания LG Chem на днях заявила, что разработала собственный метод производства цветных фильтров, которые являются одним из ключевых компонентов ЖК-панелей. Новая технология – это вероятная замена уже устаревающего метода фотолитографии. Цветовой фильтр – ключевой элемент, от которого зависит качество отображения цветов; его цена составляет 20% стоимости всей ЖК-панели.

Новый метод производства позволит LG Chem упростить производственный процесс и сэкономить на конечной стоимости продукции, а также сократить временные затраты. Количество стадий производства компонентов для ЖК-панелей сократится с 16 до 3 позиций. Новый метод основан на имитации процесса струйной печати, который используется в принтерах. Чернила наносятся прямо на поверхность стеклянной подложки.

Компании – производители ЖК-панелей давно мечтали о появлении подобной технологии, ведь она позволит снизить стоимость ЖК ТВ. Тогда ЖК-панели смогут конкурировать в цене с плазменными панелями и кинескопами.

### В 2007 г. появятся PLED-TV

Английская компания Cambridge Display Technology продвигает технологию polymer-OLED (PLED). Ключевая идея этой технологии – возможность использования для формирования изображения процессов печати, в том числе и струйной. Кстати, в прошлом году компания Seiko Epson уже продемонстрировала 40-дюймовый PLED-экран.

Если развитие технологии продолжится теми же темпами, то к 2007 г. должны появиться полноценные PLED-телевизоры. Сложно сказать, будет ли будущее за этой разработкой, но, как утверждают многие специалисты, она обладает революционным потенциалом.

[www.hifinews.ru/article/details/](http://www.hifinews.ru/article/details/)





# Системные кабели и разъёмы Harting для промышленных сетей Ethernet

Ольга Гуреева (Москва)

**В статье рассказано об основных свойствах кабелей и разъёмов для сетей Ethernet, специально предназначенных для промышленного оборудования, работающего в жёстких условиях.**

Спецификация последовательной передачи данных Ethernet была предложена фирмой Xerox в 1975 году. Со временем данная спецификация стала наиболее распространённой в коммерческих системах электронной передачи данных.

В процессе развития технология классического Ethernet была многократно расширена: появился Fast Ethernet со скоростью передачи данных до 100 Мбит/с и Gigabit Ethernet со скоростью передачи до 1 Гбит/с. На стадии разработки находится стандарт 10 Gigabit Ethernet, позволяющий обмениваться данными со скоростью до 10 Гбит/с.

В классических сетях Ethernet все участники обладают одинаковыми правами. Любой абонент в любое вре-

мя может обмениваться с другими абонентами сети данными неограниченного объёма. Каждый участник сети Ethernet отфильтровывает предназначенные для него пакеты; все остальные пакеты им игнорируются. Исключение делается только для широковещательных сообщений, которые предназначены для всех абонентов. В классическом Ethernet, называемом часто Shared Ethernet, все абоненты сети разделяют один и тот же домен коллизий. Управление доступом к сети в таком случае осуществляется по методу CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection – шина произвольного доступа с автоматическим определением коллизий). Если абонент Shared Ethernet желает передать данные, то сначала проверя-

ется состояние сети (Carrier Sense). Если сеть свободна, то начинается передача данных и одновременно проверяется состояние других абонентов сети. Если другие абоненты также начали передачу данных, то возникает коллизия (Collision Detection). В этом случае все участвующие в передаче абоненты вынуждены прервать передачу на некоторое время (случайным образом определённое), а затем начать передачу заново. По этой причине время передачи пакетов данных сильно зависит от загрузки сети и заранее непредсказуемо. Чем больше коллизий, тем медленнее работает сеть. Поэтому Shared Ethernet только условно подходит для промышленной автоматизации.

Для повышения производительности Ethernet было предложено разделить домены коллизий и использовать более широкие полосы пропускания (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet). Спецификация, в которой нашли воплощение указанные изменения, получила название «коммутируемый Ethernet». Коммутируемый Ethernet – это сеть, в которой каждому абоненту сети сопоставляется порт коммутатора. Коммутаторы разбивают существовавшие до этого домены коллизий на отдельные соединения «точка–точка» между сетевыми компонентами и отдельными устройствами. Каждому соединению «точка–точка» предоставляется полная полоса пропускания, что исключает возникновение коллизий. Вторая пара жил в кабеле Ethernet, в некоторых случаях используемая для распознавания коллизий, в случае коммутированного соединения может использоваться как дополнительная среда передачи данных. Все эти модификации повышают пропускную способность сети.

В случае коммутируемого Ethernet теоретически возможно безграничное расширение сети. Максимальная длина проводки в соединении «точка–точка» определяется физически-

**Таблица 1. Требования для офисных и промышленных приложений**

Офисные приложения	Промышленные приложения
Условия прокладки	
Базовая прокладка в здании Прокладка в междуэтажных полах Разнообразное подключение оборудования на рабочем месте Заранее соединённые кабели для подключения оборудования Стационарные рабочие места (рабочий стол с ПК, и т.п.) Древовидные сетевые структуры	Сильно зависящий от оборудования тип соединения кабелями Прокладка кабеля в соответствии со спецификой устройства Точки подключения редко меняются Подключение оборудования в производственных условиях Каждый станок/агрегат требует индивидуального соединения Линейные и кольцевые сетевые структуры
Производительность передачи	
Большие пакеты данных (к примеру, графические файлы) Средняя доступность сетей Время передачи – в пределах секунд Преимущественно ациклическая передача Нет асинхронности	Малые пакеты данных (данные измерений) Очень высокая доступность сетей Время передачи – в пределах микросекунд Очень высокий процент ациклических передач Асинхронность
Требования к окружающей среде	
Умеренная температура Малая запылённость Стандартная влажность Отсутствие сотрясений Слабые электромагнитные помехи Малая угроза механических повреждений Стандартное ультрафиолетовое излучение Практически полное отсутствие химических воздействий	Высокие температуры Высокая запылённость Возможна высокая влажность Вибрация оборудования Электромагнитные помехи Опасность механических повреждений Возможно сильное ультрафиолетовое излучение Химическое воздействие масляной и агрессивной атмосферы



ми характеристиками передачи и, согласно спецификации, составляет 100 м. На практике используемые соединители и проводка в значительной мере определяют реально возможную длину линии.

Стандарт Industrial Ethernet, соответствующий международному стандарту IEEE 802.3, является расширением спецификации коммутируемого Ethernet для открытых промышленных сетей.

В сетях Industrial Ethernet с помощью коммутатора можно реализовать необходимые для промышленных сетей топологии, такие как «звезда», «кольцо», а также древовидную и шинную топологию.

Инсталляция Industrial Ethernet характеризуется в основном двумя параметрами: категорией кабеля и классом канала.

Кабель относят к различным категориям в зависимости от его электрических характеристик и скорости передачи данных:

- категория 1 – не определено;
- категория 2 – до 1 МГц;
- категория 3 – до 16 МГц;
- категория 4 – до 20 МГц;
- категория 5 – до 100 МГц;
- категория 6 – до 250 МГц;
- категория 7 – до 600 МГц.

Канал – это среда передачи в соединении точка–точка. Он специфицируется следующими классами:

- класс А – до 100 кГц;
- класс В – до 1 МГц;
- класс С – до 16 МГц;
- класс D – до 100 МГц;
- класс E – до 250 МГц;
- класс F – до 600 МГц.

Чем выше класс, тем выше требования к каналу передачи и, следовательно, к кабелю. Например, если в системе используются компоненты с обозначением «категория 5», то требуется кабель не ниже класса D.

На первый взгляд, реализовать сеть Industrial Ethernet для связи промышленного оборудования несложно, поскольку уже существуют стандарты на структурированные кабельные системы и их компоненты, используемые в офисных средах. Однако между офисной и промышленной средами имеются существенные различия – прежде всего, связанные с жёсткими условиями эксплуатации оборудования в промышленной среде (см. табл. 1). Поэтому производители кабелей и разъемов создают продукты с повышенной надёжностью, способные устойчиво работать в агрессивных средах.

Немецкая компания Harting, ведущий мировой производитель коммутационных изделий, предлагает системные кабели, предназначенные для непосредственного соединения сетевых станций с сетевыми компонентами в промышленных сетях Ethernet (см. табл. 2).



Рис. 1. Промышленная розетка Harting RJ Industrial® Outlet Push Pull



Рис. 2. Серия штекеров Harting RJ Industrial Ethernet

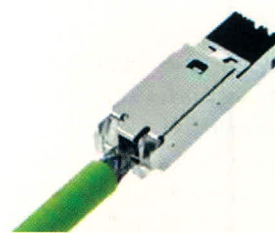


Рис. 3. Внутренний модуль штекера Harting RJ Industrial

Для соединения переходных областей между офисными и промышленными сетями компания Harting рекомендует использовать промышленную розетку Harting RJ Industrial® Outlet Push Pull (см. рис. 1). Эта розетка имеет ударопрочный пластиковый корпус со степенью защиты IP67.

Таблица 2. Системные кабели Harting

Тип кабеля	Вид в сечении	Категория по ISO/IEC 11 801	Строение	Оболочка, материал / диаметр, мм	Жилы	Рабочая температура, °С	Минимальный диаметр изгиба, ×Ø, многократный/однократный	Максимальная нагрузка на растяжение, Н			
PROFInet® Проводка типа В для жёсткой прокладки		5	Радиально-симметричный кабель звёздной скрутки, двойное экранирование	PVC/6,5	Сплошные, 2 × 2 × AWG 22/1 (Ø 0,64)	-40...70	15/6	150			
PROFInet® Проводка типа В для гибкой прокладки					Гибкие, 2 × 2 × AWG 22/7 (Ø 0,75)				7/3		
PROFInet® Проводка типа С для подвижных цепей				PUR (полиуретан)/6,5							
PROFInet® Гибридная проводка типа В для гибкой инсталляции		6	Попарно скрученные и дважды экранированные жилы, плюс 4 жилы для подачи питания. Жилы закручены вокруг центрального элемента с жидким электролитом	FRNC (антипирен)/10,3	Сигнальные – гибкие, 2 × 2 × AWG 22/7 (Ø 0,75); жилы подачи питания – гибкие, 1,5 мм²	-20...70	10/5	200			
Проводка для промышленного Ethernet, 4-парная, для гибкой инсталляции			4 парно-симметрично скрученные жилы с экранирующей фольгой	PVC/5,8	Гибкие, 4 × 2 × AWG 26/7 (Ø 0,15)				-20...60	8/4	150
Проводка Gigabit Ethernet, 4-парная, для гибкой инсталляции			4 парно-симметрично скрученные жилы с экранирующей оплёткой	PVC/6,8	Гибкие, 4 × 2 × AWG 27/7 (Ø 0,15)				-40...70	15/10	150



Таблица 3. Совместимость штекеров и разъемов серии Harting RJ Industrial®

На кабеле	Со стороны устройства			
	Стандартная розетка RJ45 IP20 Data	IP67 Push Pull	IP67 гибридный	IP67 Data 3A
IP20 Data	•	•	•	•
IP67 Push Pull		•		
IP67 гибридный			•	•
IP67 Data 3A				•

В корпусе предусмотрены два входа для обычного офисного кабеля и два выхода – для промышленного, с интерфейсом Push-Pull, обеспечивающим удобный и быстрый монтаж сетевых компонентов. Розетка Harting имеет специальную прозрачную панель для отображения информации о подключаемых портах.

Для надёжной работы Industrial Ethernet большое значение имеют параметры разъемов. Компания Harting разработала серию быстромонтируемых штекеров RJ45 – Harting RJ Industrial (см. рис. 2), специально предназначенных для промышленного применения.

Данные разъемы не требуют специального инструмента для монтажа, что особенно важно в производственных условиях. Штекер Harting RJ Industrial на сегодняшний день явля-

ется единственным в мире разъемом RJ45, на который одним проколом могут монтироваться жёсткие и гибкие кабели категории 5 типа AWG22. Ядром штекера является модуль RJ45 с блоком быстрого монтажа IDC. Технология быстрого монтажа не требует зачистки жил, при этом соединение получается герметичным и устойчивым к вибрации (способ монтажа подробно описан на сайте журнала).

Помимо разъемов класса IP67, в серии имеются разъемы класса IP20, Push-Pull и обжимные. К разъёмам монтируются как кабели передачи данных, так и гибридные кабели. Для гибридной версии используются жилы сечением от 1,5 мм<sup>2</sup>. Ответными частями для оконечных устройств могут являться сквозные розетки или разъемы, непосредственно интегрированные в соединительную муфту.

Особое значение в новой линейке разъемов Harting RJ Industrial придается быстрому монтажу. Штекер IP20 монтируется менее чем за минуту. Монтаж штекера IP67 занимает не более трёх минут. Так же быстро соединение и разбирается. Дополнительным преимуществом данной конструкции является экранирование внутреннего модуля. В Harting RJ Industrial на внутренний модуль штекера (см. рис. 3) устанавливаются два небольших экрана, соединяемых между собой с отчетливо слышимым щелчком. Таким образом, обеспечивается полное экранирование соединения.

Компания Harting поставила перед собой цель утвердить единый стандарт на штекерные соединения для Industrial Ethernet (см. табл. 3).

Благодаря тесному сотрудничеству с PNO (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.), IAONA (Industrial Automation Open Networking Alliance e.V.), DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) и IEC (International Electrotechnical Committee), Harting ускорила выработку спецификации на штекерные соединения для применения в промышленности. В начале 2003 г. PNO утвердила семейство продуктов Harting RJ Industrial в качестве базового для сетей PROFInet®. На их базе был выпущен международный стандарт, который, благодаря стоявшей у истоков фирме Harting, стал открытым стандартом для интерфейсов Industrial Ethernet.

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1. Harting. Решения для промышленного Ethernet. 04 3R; www.harting.com.

**Новости мира News of the World Новости мира**

**Чип для акустического подавления эхо**

Фирма Zarlink Semiconductor представила чип акустического подавления эхо ZL38002. Он должен найти применение в громкоговорящей связи, включая автомобильные комплекты, в громкоговорящих



телефонных установках, дуплексных устройствах связи. С помощью программируемого снижения шумов пользователь может установить необходимый уровень подавления без искажения аудиосигнала. В чипе реализованы дополнительные функции, обеспечивающие высокое качество звучания. Сюда относится автоматическое опознавание и подавление свиста, возникающего из-за обратной связи.

Микросхема ZL38002 поставляется в корпусе QSOP с 36 выводами, а также в корпусе TQFT с 48 выводами. Имеются также корпуса, не содержащие свинца. Чип поддерживается оценочной платой, платой автомобильного комплекта гром-

коговорящей связи, а также программным обеспечением API.

www.zarlink.com

**Новые СВЧ-транзисторы для систем беспроводного доступа**

Toshiba предлагает согласованные GaAs-транзисторы с высоким усилением и линейностью для применения в фиксированных системах беспроводного доступа в диапазонах частот 3,5 и 5 ГГц, включая WiMAX. Это приборы TIM5359-4UL, TIM5359-8UL и TIM5359-16UL с выходной мощностью до 42,5 дБм.

www.smartelec.ru/news/electr\_news.shtml



# Электромеханические КОМПОНЕНТЫ

**HARTING** People | Power | Partnership

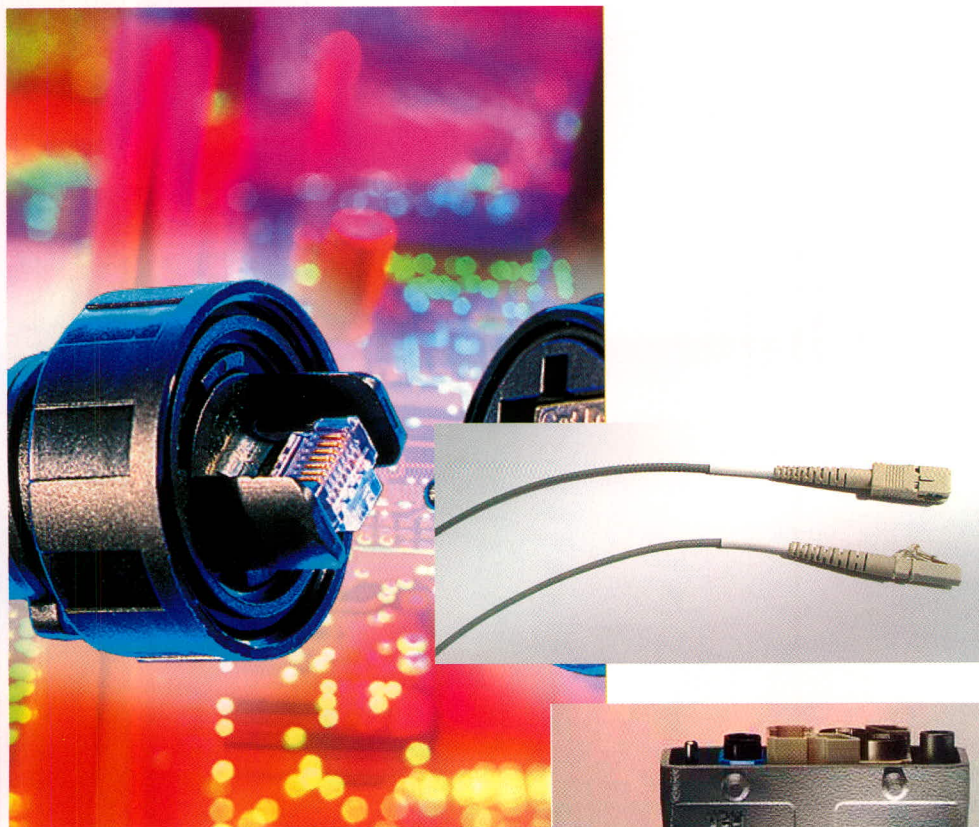
**Grayhill**

**B BULGIN**

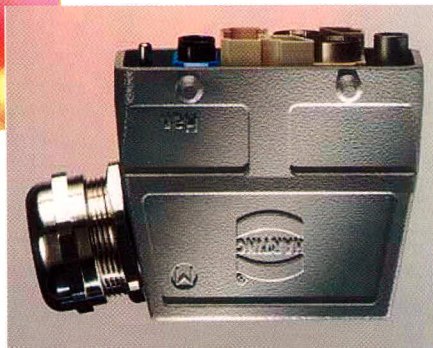
**AMP**

**CONEC®**

**tyco**  
Electronics



Коннектор для промышленных Ethernet-сетей в защищённом исполнении



## Области применения

- Компьютерная техника
- Силовая электроника
- Электротехника
- Морская, военная и авиационно-космическая аппаратура
- ВЧ- и СВЧ-аппаратура



**Полный спектр высококачественных разъёмов и соединителей для любых применений**

Узнайте подробности в компании ПРОСОФТ

Телефон: (095) 234-0636 • Web: [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)



# Герметичные химические источники тока для автономного питания электроаппаратуры: проблема выбора

Алевтина Таганова (Санкт-Петербург)

**В статье описываются критерии, в соответствии с которыми осуществляется выбор химических источников тока для автономного питания разнообразной электроаппаратуры. Сравниваются характеристики источников тока разных электрохимических систем и описывается современное состояние их производства в России и в мире.**

Области использования герметичных химических источников тока (ХИТ) в качестве автономных источников энергии электроаппаратуры очень разнообразны. ХИТ используются и в промышленности (приборостроение, электроизмерительная аппаратура, медицина, системы связи и телекоммуникационные сети, системы сигнализации, охраны и т.п.), и для изделий специального назначения (космическая и военная техника), и для товаров широкого потребления (портативная аппаратура разного рода: компьютеры, электронные записные книжки, сотовые и беспроводные телефоны, фото- и видеотехника, электрические игрушки, инструменты и приборы бытовой техники).

Разнообразие требований к источникам питания этих устройств привело к появлению большого количества ХИТ разных электрохимических систем, которые промышленно выпускаются в широком диапазоне емкостей и разнообразном конструктивном исполнении. Но, несмотря на большое их разнообразие, среди них нельзя найти такой, который мог бы полностью соответствовать всем требованиям, предъявляемым к автономному источнику питания для аппаратуры любого назначения. При выборе ХИТ всегда приходится искать компромисс между наиболее важными требованиями, предъявляемыми к аппаратуре, для которой выбирается источник энергии, и ограничениями, определяемыми характеристиками выбранного источника тока.

В рассмотрение принимаются:

- Условия эксплуатации:
  - режим разряда (непрерывный, прерывистый, импульсный);
  - характер нагрузки (постоянный ток, постоянное сопротивление, постоянная мощность);
- Характеристики источника тока:
  - максимальная электрическая мощность;
  - напряжение источника тока (максимальное в начале разряда, рабочее напряжение, его стабильность при постоянной нагрузке, конечное разрядное напряжение, устойчивость разрядной характеристики при изменении режимов нагрузки);
  - конструктивные особенности (вес, габариты, конфигурация, тип выводов);
  - срок службы;
  - особенности хранения (условия, срок, допустимая потеря ёмкости);
  - стоимость;
  - специальные требования: надёжность, устойчивость при механических нагрузках, пожаро- и взрывобезопасность, удобство технического обслуживания (наличие встроенных устройств защиты от критических состояний, возможность замены, удобство подключения к зарядному устройству и режим заряда для перезаряжаемых источников тока);
- Условия окружающей среды:
  - диапазон рабочих температур;
  - влажность воздуха.

Понятно, что при проектировании источников энергии для аппаратуры

бытового назначения (как стационарной, так и переносной), которая используется периодически, главные критерии для выбора источника тока – это дешевизна и удобство обслуживания.

При таких критериях наиболее целесообразным является выбор первичных источников тока, которые способны обеспечить, в зависимости от их ёмкости, месяцы и годы эксплуатации. При использовании аккумуляторов устройство оказалось бы более дорогим и добавились бы проблемы, связанные с организацией их эффективного заряда.

Однако при интенсивном использовании аппаратуры с автономным питанием перезаряжаемые источники тока, естественно, целесообразнее первичных. Более пяти десятилетий в таких случаях использовались щелочные никель-кадмиевые аккумуляторы с рабочим напряжением 1,2 В, стабильным в широком диапазоне режимов эксплуатации и температур. Интенсивная работа по совершенствованию этих аккумуляторов и оборудования для их заряда способствовала сохранению их позиций до настоящего времени, хотя в течение двух последних десятилетий общую картину меняет широкое продвижение на рынок других щелочных аккумуляторов – никель-металлгидридных, с таким же рабочим напряжением, но более высокими удельными энергетическими характеристиками.

Для зарядки аккумуляторов либо используются встроенные в аппаратуру устройства, либо обеспечивается лёгкое извлечение аккумуляторов для заряда их в универсальных или специализированных зарядных устройствах.

В стационарной аппаратуре или в тех случаях, когда вес источника питания не является определяющим критерием, часто используются герметичные свинцово-кислотные батареи, срок службы которых в режиме циклирования меньше, чем у щелоч-



ных, но и цена их значительно ниже. Особенно широко они используются при эксплуатации в буферном режиме, при котором их работоспособность сохраняется до 15 лет.

При выборе источников тока для аппаратуры промышленного и специального назначения главное внимание обращается не на их цену, а на надёжность в эксплуатации, работоспособность в жёстких условиях. И если массогабаритные характеристики источников тока являются существенными, выбор чаще всего остаётся за литиевыми ХИТ, одноразовыми или перезаряжаемыми, обладающими повышенными удельными весовыми и объёмными энергетическими характеристиками.

Рисунок 1, на котором показаны некоторые типы герметичных ХИТ разных электрохимических систем ёмкостью до 20 Ач, позволяет видеть всё многообразие продукции разного конструктивного исполнения. Показаны элементы и аккумуляторы (дисковые, цилиндрические и призматические), а также свинцово-кислотная батарея, так как при небольшой ёмкости такие источники тока на 6 или 12 В выпускаются обычно в едином корпусе.

Дать однозначный алгоритм выбора конкретного источника тока для любого проекта не представляется возможным. Но при чётком представлении о приоритете требований сравнение основных характеристик источников тока разных электрохимических систем даёт возможность выбрать их класс (первичные или вторичные), а окончательное решение о типе ХИТ принимается при рассмотрении типоразмерных рядов источников тока выбранной электрохимической системы, выпускаемых различными производителями.

Представленная в таблице информация о характеристиках и особенностях химических источников тока разных электрохимических систем позволяет сравнить их возможности только в первом приближении. Более детальное представление можно получить при рассмотрении всего разнообразия серий однотипных источников тока, которое обеспечивается при разных вариантах технологии их изготовления. Некоторые комментарии по этому поводу позволят читателю лучше ориентироваться в мире современных ХИТ.

Детальную информацию о продукции разных компаний и номенклатуре выпускаемых изделий можно найти в их каталогах, а также в литературе [1 – 4].

### ПЕРВИЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

В первой колонке таблицы показаны характеристики наиболее широко используемых марганцево-цинковых (МЦ) элементов, которые выпускаются с соевым и щелочным электролитом. Их ёмкость сильно зависит от величины и характера нагрузки, а рабочее напряжение падает по мере разряда. Щелочные МЦ-элементы стоят в 3...5 раз дороже солевых, но при тех же габаритах обеспечивают ёмкость в несколько раз большую, обладают меньшим саморазрядом и лучше работают при низкой температуре. В России МЦ-элементы обеих модификаций наиболее массово выпускает ОАО «Энергия» (г. Елец), во всём мире – более 100 компаний, среди которых ведущими являются Duracell, Energizer, Panasonic, Philips, Samsung. В настоящее время мировое производство щелочных МЦ-элементов почти в 3 раза больше, чем солевых, и доля их в общем производстве ежегодно увеличивается.



Рис. 1. Герметичные химические источники тока разных систем ёмкостью от 0,3 до 16 Ач

Расширилось также мировое производство дешёвых воздушно-цинковых элементов с рабочим напряжением 1,1...1,3 В (в зависимости от нагрузки), которое остаётся стабильным практически до полного исчерпания ёмкости. Они работоспособны в диапазоне температур –10...40°С при невысокой влажности воздуха. До вскрытия заклеенного отверстия для обеспечения доступа в систему воздуха элементы могут храниться 1...2 года. Раньше металл-воздушные малогабаритные дисковые элементы выпускались лишь для использования в качестве источников тока слуховых аппаратов. В настоящее время выпускаются дисковые элементы, имеющие ёмкость до нескольких ампер-часов (например, элементы компании Duracell), а также элементы призматической конструкции, которые используются для систем специальной связи и в той аппаратуре, где должна быть обеспечена периодическая работа в импульсном режиме или постоянная при небольшой нагрузке.

Слаботочные малогабаритные элементы других электрохимических систем с цинковым электродом (серебряно-цинковые, ртутно-цинковые), которые использовались ранее в часах и в качестве источников стандартного (опорного) напряжения в контрольно-измерительной аппаратуре, в

#### Особенности герметичных ХИТ разных электрохимических систем

Характеристики	Первичные источники тока (элементы)		Вторичные источники тока (перезаряжаемые, аккумуляторы)			
	марганцево-цинковые	литиевые	никель-кадмиевые	никель-металл-гидридные	свинцово-кислотные	литий-ионные
Рабочее напряжение, В	1,2...1,35	1,5...3,6	1,2	1,2	2,0	3,6
Типичная ёмкость, Ач	0,06...20,0	0,02...11,0	0,03...20,0	0,03...15,0	0,7...20,0	0,4...6,0
Диапазон рабочих температур*, °С	–20...60	–20 (60)...55 (70)	–20 (40)...50 (60)	–10...40	–15...50	–20 (40)...60
Удельная энергия: весовая, Втч/кг (объёмная, Втч/дм³)	До 90 (100...200)	230...600 (400...1100)	30...60 (100...170)	40...80 (130...240)	25...50 (55...100)	100...180 (250...400)
Кoeffициент отдачи по ёмкости, %	–	–	60...90	60...90	80...85	90...100
Работоспособность: срок хранения, лет	2...8	5...10	5	1	1	1
срок работы, лет			До 10	–	До 12	До 2
количество циклов			500...1000	500	200	500...1000

\* Температуры, указанные в скобках, достигнуты только для продукции некоторых зарубежных компаний.



настоящее время во многих случаях заменяются литиевыми элементами.

Литиевые элементы с органическим и твёрдым электролитом имеют более высокое (чаще всего порядка 3 В) и стабильное рабочее напряжение в широком диапазоне нагрузок. Они обеспечивают более высокие удельные характеристики, работоспособны в расширенном диапазоне температур и дольше не теряют свойств. Элементы с литиевым анодом и разными катодами обеспечивают работоспособность в разных температурных диапазонах. Выпускаются элементы дисковой и цилиндрической форм в габаритах традиционных систем с цинковым электродом и водным электролитом.

В России литиевые элементы различных электрохимических систем выпускает ОАО «Энергия», ОАО «Литий-элемент» (Саратов), ООО «Элиак» (Новочеркасск). На российском рынке присутствует также продукция нескольких ведущих компаний мира (Panasonic, Sanyo, Duracell, Saft, Sonnenschein Lithium). И если 40 – 50 лет тому назад выпускались лишь слаботочные литиевые элементы (даже при значительной ёмкости), то в настоящее время производятся и мощные, способные обеспечить ток до нескольких ампер (например, до 3...4 А у наиболее мощных элементов ООО «Элиак» и французской компании Saft).

Первоначальная более высокая пожароопасность этих элементов с электролитом значительно более агрессивным, чем у щелочных элементов, к настоящему времени преодолена за счёт совершенствования технологии изготовления и использования систем защиты от перегрузок и разогревания.

## ВТОРИЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Из перезаряжаемых химических источников тока первыми более 50 лет тому назад начали использоваться никель-кадмиевые аккумуляторы. Первоначально малоёмкие аккумуляторы выпускались в дисковой конструкции, с большей ёмкостью – в призматической. В настоящее время наиболее широко производятся аккумуляторы цилиндрической конструкции, в которых пакет из двух электродов, разделённых сепаратором, свёрнут в виде рулона. Типоразмерный ряд выпускаемой продукции включает и такие аккумуляторы, которые имеют габариты наиболее распространённых первич-

ных источников тока. Использование в цилиндрических рулонных аккумуляторах тонких электродов позволило увеличить скорость заряда и разрядный ток до 10...13С.

В России достаточно давно производятся дисковые Ni–Cd-аккумуляторы ёмкостью от 20 до 750 мАч (АК «Ригель» (Санкт-Петербург), ОАО «Кузбассэлемент»). Производство цилиндрических аккумуляторов налажено в ОАО «НИИ Источник» (Санкт-Петербург) и ФГУП «Верхнеуфалейский завод “Уралэлемент”». Никель-кадмиевые аккумуляторы призматической конструкции выпускаются уже несколько десятилетий, среди них и ёмкостью от 4 до 15 Ач.

Отличие продукции ведущих мировых компаний (например, французской компании Saft, японских Sanyo и Panasonic, GP Batteries International Limited и др.), представленной на российском рынке, от отечественной состоит прежде всего в большей однородности продукции, обеспечиваемой высокой степенью автоматизации производства. Другое существенное отличие состоит в том, что аккумуляторы в широком номенклатурном ряду (ёмкостью от десятых ампер-часа до 20 Ач) выпускаются в нескольких сериях, в каждой из которых некоторое изменение рецептур используемых материалов и технологии изготовления позволяет обеспечить разнообразные возможности. Выпускаются аккумуляторы:

- стандартные для широкого использования;
- способные обеспечить мощный разряд;
- допускающие ускоренный режим заряда;
- для работы в режиме длительного подзаряда при повышенной температуре.

В последние десятилетия никель-кадмиевые аккумуляторы были сильно потеснены никель-металлгидридными, в которых при том же положительном электроде замена отрицательного позволила значительно увеличить ёмкость изделий в прежних габаритах. Кроме того, удалось в значительной мере снизить «эффект памяти» при неглубоком циклировании. Удельные характеристики Ni–MH-аккумуляторов увеличились по сравнению с никель-кадмиевыми в 1,5...2 раза. Выпускаются они теми же компаниями, что и Ni–Cd-аккумуляторы.

Однако следует обратить внимание на некоторые особенности никель-металлгидридных аккумуляторов: они эффективно работают в более узком температурном диапазоне и сильнее разогреваются при заряде, чем никель-кадмиевые, а при разряде ниже 1 В часть ёмкости теряется безвозвратно. Кроме того, и саморазряд Ni–MH-аккумуляторов больше, чем у Ni–Cd.

В ближайшие годы специалисты прогнозируют улучшение характеристик Ni–MH-аккумуляторов (ёмкость широко распространённого типоразмера AA превысила 2 Ач, а максимально допустимые токи аккумуляторов в габаритах Cs достигли нескольких десятков ампер).

Поскольку для малогабаритной аппаратуры промышленного и специального назначения удельный вес и объём источников автономного питания должен быть минимальным, понятен интерес и к разработкам перезаряжаемых литиевых источников тока с высоким рабочим напряжением.

Около 10 лет тому назад на мировом рынке появились литий-ионные аккумуляторы, которые разрабатывались, прежде всего, для использования в устройствах мобильной связи. Быстро расширяющийся рынок этих устройств обеспечил не только широко-масштабные исследования новых источников тока, но и стремительное увеличение числа участников разработок и производства. Первыми начали производство малогабаритных литий-ионных батарей японские компании Sony и Sanyo. В настоящее время серьёзную конкуренцию им составляют южно-корейские и несколько мощных китайских фирм, выпускающих лицензионную продукцию и реализующих собственные разработки.

Сегодня на российском рынке представлены слаботочные литий-ионные аккумуляторы ёмкостью от 0,4 до 2,4 Ач, срок службы которых достигает 500, а иногда – 1000 циклов. Они используются как в мобильной связи, так и для различных электронных устройств, в т.ч. ноутбуков, электронной оргтехники, видео- и цифровой техники. К 2010 г. прогнозируется увеличение доли литий-ионных источников тока до 70% от всех малогабаритных ХИТ.

В последние годы расширился спектр и более мощных литий-ионных ХИТ, которые могут быть использованы в промышленных и специальных устройствах. Лидером производ-



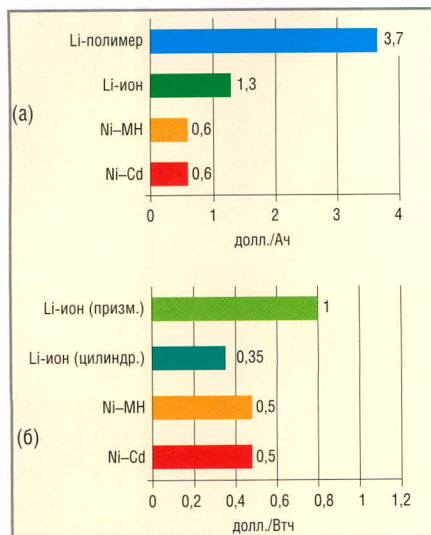


Рис. 2. Соотношение стоимости аккумуляторов разных электрохимических систем: а) на 1 Ач; б) на 1 Втч

ства таких источников является компания Saft, уже второе десятилетие разрабатывающая их для космических объектов и электромобилей. В настоящее время компания предлагает к широкой продаже призматические аккумуляторы серии MP ёмкостью 2,3; 4,6 и 6 Ач, а также цилиндрические серии VL ёмкостью 3,6; 4,6 Ач, работоспособные в диапазоне температур от  $-40$  до  $60^{\circ}\text{C}$ . Мощные цилиндрические аккумуляторы компании типов VL8P и VL16P (ёмкостью 8 и 16 Ач) в диапазоне температур от  $-30$  до  $60^{\circ}\text{C}$  способны обеспечить очень большие импульсные токи нагрузки (до 16С в течение 18 с). Срок их службы превышает 10 лет.

Следует сразу отметить, что стоимость литий-ионных аккумуляторов в несколько раз больше, чем традиционных щелочных. Не в последнюю очередь это связано с тем, что эксплуатация батарей из них организуется при индивидуальном контроле каждого аккумулятора и доля стоимости электронных схем защиты в настоящее время составляет до 30% общей стоимости батареи. Однако внедрение новых материалов для производства таких источников тока даёт надежды на упрощение систем защиты и снижение их стоимости. К тому же быстрое и существенное расширение круга производителей литий-ионных ХИТ и постоянное увеличение годовых объёмов производства уже привело к значительному снижению цены этих источников тока. На рисунке 2 показано соотношение стоимости аккумуляторов разных электрохимических систем [4]. Видно, что литий-ионный аккумулятор становится соизмерим по стоимо-

сти 1 Втч энергии со щелочными аккумуляторами. А в перспективе ставится задача снижения стоимости 1 Втч до 0,1 долл.

Несколько слов следует сказать и о свинцово-кислотных ХИТ, используемых в различной аппаратуре. Особенность этих источников тока заключается, прежде всего, в том, что они герметизированные, но не герметичные, и периодически могут выбрасывать водород, выделяющийся в системе при заряде. Количество полных циклов, которое обеспечивают эти ХИТ, заметно меньше, чем у источников тока других систем, но с уменьшением глубины циклирования оно увеличивается (до 1200 циклов при 30%-глубине). Используют их чаще всего в стационарных устройствах, охраняемых, аварийного освещения и подобных, где в буферном режиме они эффективно работают в течение 10 – 15 лет.

В заключение хочется отметить, что, откликаясь на требования общего технического прогресса, мировая наука и технология в области ХИТ в настоящее время обеспечивает такие темпы освоения новой продукции, которые 10 – 15 лет тому назад казались невыполнимыми. Ситуация меняется ежегодно как в смысле научных и производственных достижений, так и по количеству предприятий, выпускающих конкурентную продукцию. Россия также налаживает собственное производство литий-ионных ХИТ, но масштаб и скорость работ по внедрению новых изделий и технологий пока оставляет желать лучшего. В настоящее время идёт освоение иностранного лицензионного оборудования и поиск отечественных эквивалентных материалов для широкомасштабного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Химические источники тока. Справочник. Под ред. Н.В. Коровина, А.М. Скундина. М.: изд. МЭИ, 2003.
2. Таганова А.А., Пак И.А. Герметичные химические источники тока для портативной аппаратуры. Санкт-Петербург: Химиздат, 2003.
3. Нижниковский Е.А. Химические источники тока автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Изд. МЭИ, 2004.
4. Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации. Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. ©

## Новости мира

### Малошумящие ВЧ-транзисторы на базе кремния–германия–углерода

На базе своей SiGeC-технологии компания Infineon разработала новое поколение гетероструктурных биполярных транзисторов (HBT). По данным предприятия, они обладают самыми малыми в мире значениями шумов среди дискретных транзисторов на базе кремния. Элементы семейства HBT под названием BFP740 имеют значение шумов 0,75 дБ и усиление до 19 дБ на частоте 6 ГГц. Транзисторы имеют транзитную частоту 42 ГГц и металлизированы золотом, благодаря чему являются исключительно надёжными.



Серия HBT BFP740 производится крупными партиями и предлагается в следующих вариантах корпусов: Standard-SOT343 (BFP740), Flatlead-TSFP-4 (BFP740F) и в миниатюрном безвыводном корпусе TSLP-3 (BFR740L3), размеры которого составляют  $1 \times 0,6 \times 0,4$  мм.

[www.infineon.com/bfp740](http://www.infineon.com/bfp740)

### Схема управления светодиодами $4 \times 400$ мА

Компания Austriamicrosystems представила ИС AS3691 для управления четырьмя светодиодами с потреблением 400 мА каждый. Рабочий ток в каждом канале может устанавливаться внешним резистором, а яркость светодиодов может регулироваться четырьмя отдельными входами с ШИМ. Микросхема может управлять как четырьмя независимыми светодиодами, так и одним мощным светодиодом с током до 1,6 А. Выходы рассчитаны на напряжение до 15 В. Для оптимизации потребления тока каждый канал содержит выход обратной связи, через который могут регулироваться одно или несколько внешних напряжений питания. AS3691 предлагается в корпусе QFN4x4 или как бескорпусный кристалл.

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



## Новости российских фирм

### Компания ГАММА стала официальным дистрибьютором SIPEX

SIPEX ([www.sipex.com](http://www.sipex.com)) – известный производитель полупроводниковых компонентов, который специализируется на производстве аналоговых микросхем для проводной и беспроводной передачи данных, сетевого и телекоммуникационного оборудования, вычислительной техники, а также различных портативных устройств.

В настоящее время SIPEX выпускает более 1000 типов микросхем, которые можно разделить на три группы:

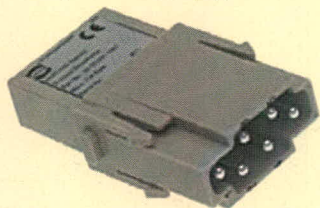
- микросхемы, предназначенные для построения и управления различными источниками питания, в том числе рассчитанные на токи до 12 А;
- интерфейсные микросхемы;
- микросхемы для оптических запоминающих устройств.

Компания SIPEX производит как оригинальные микросхемы, так и аналоги других производителей, при этом продукция выгодно отличается оптимальным соотношением цена/качество.

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

### Разъём Nan<sup>®</sup> со встроенной памятью

Гибкое кодирование и сохранение технологических параметров в промышленных разъёмах стало возможным благодаря новым идентификационным модулям Nan<sup>®</sup>. Этот модуль является дополнительным по отношению к серии устройств Nan-Modular<sup>®</sup> компании Harting. С его помощью доступна реализация интегрированных электронных устройств, в том числе E2PROM объёмом 128 байт. Связь с идентификационным модулем может быть осуществлена при помощи стандартного цифрового 24-вольтового устройства ввода/вывода с использованием протокола шины I<sup>2</sup>C. В зависимости от используемого устройства ввода/вывода идентификационный модуль может работать и со стандартным программируемым логическим контроллером (PLC). Инструменты или системы могут гибко кодироваться на программной основе с помощью идентификационных модулей. Например, такие параметры, как наработка в часах, можно сохранять непосредственно в инст-



рументе или аппаратной системе, при этом возможна оптимизация функционирования и технического обслуживания системы. Идентификационный модуль Nan<sup>®</sup> можно комбинировать со всеми другими модулями серии Nan-Modular<sup>®</sup> в одном промышленном разъёме.

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

тел.: (095) 234-0636

### Флэш-диски SCSI набирают скорость

Компания M-Systems объявила о начале продаж дисков формата 3,5 дюйма с интерфейсом Ultra320 SCSI, основанных на твердотельной памяти. Новая серия FFD35-U3S на 100% электрически и конструктивно совместима с традиционными механическими дисками, но отличается уникальной надёжностью и имеет ряд других свойств, актуальных для особо ответственных систем.

Диски FFD35-U3S поддерживают спецификации SCSI-2 и SCSI-3 и имеют объём от 1 до 176 Гб. Скорость обмена данными с вычислительной системой может достигать 320 Мб/с, установившаяся же скорость чтения и записи составляет 40 Мб/с. Поддержка 80-контактного SCARазъёма обеспечивает возможность использования FFD35-U3S в массивах накопителей с «горячей» заменой.

Встроенная технология TrueFFS<sup>®</sup> обеспечивает накопителям FFD35-U3S высокую износостойкость и гарантии целостности информации даже в условиях нестабильного питания. Более 5 млн. циклов перезаписи физического сектора и встроенный алгоритм выравнивания износа делают диски M-Systems практически вечными – срок их службы исчисляется десятками лет.

Благодаря твердотельному дизайну новым изделиям не свойственны электро-механические задержки при позиционировании считывающих головок. Среднее время поиска для FFD35-U3S составляет 20 мкс, что в 500 раз меньше аналогичного показателя у стандартных дисков.

Как и другие изделия серий FFD, накопители FFD35-U3S разрабатывались специально для систем, работающих в жёстких условиях, например, в авиации, на транспорте или военных объектах. Диски могут функционировать при температуре от -40 до 85°C, на высотах до 24 км и выдерживают удары до 50g, а вибрации – до 16g.

Высокая скорость работы и непревзойдённая надёжность хранения данных позволяет использовать диски FFD35-



U3S в системах обработки аудио-/видеоинформации в режиме реального времени, телекоммуникационных проектах, системах с высокой степенью готовности и ответственных системах автоматизации.

Для военных применений очень важно наличие у дисков FFD35-U3S функции самоуничтожения данных. Она может быть активизирована программным путем или по нажатию «красной» кнопки и позволяет за считанные секунды удалить секретную информацию с носителя. При этом данные удаляются только с установленного раздела диска и его работоспособность нисколько не страдает.

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

тел.: (095) 234-0636

### Handiscope HS4: измерительная лаборатория на ладони

Компания ПРОСОФТ начала поставки новых высокоскоростных многоканальных измерительных устройств Handiscope HS4 фирмы TiePie Engineering. Изделия имеют 4 входных канала, которые обеспечивают оцифровку сигнала в диапазоне от 0,2 до 80 В с 12-, 14- и даже 16-разрядным разрешением. Каждый канал имеет буфер на 128K отсчётов. Поставляется четыре версии устройства: с максимальной скоростью 5, 10, 20 и 50 млн. отсчётов в секунду, причём для всех четырёх каналов одновременно. Handiscope HS4 не имеет в своём составе аналоговых выходных каналов, поэтому он является хорошим решением для тех случаев, когда требуется контролировать большое число входных сигналов, а необходимость в генераторе сигналов отсутствует.

Поставляемое в комплекте с прибором ПО для Windows 98/ME/2000/XP с русскоязычным интерфейсом позволяет превратить персональный компьютер в запоминающий осциллограф, цифровой мульти-





## Новости российских фирм

метр, спектральный анализатор или регистратор переходных процессов.

Наличие функции интеллектуальной автонастройки позволяет быстро начать работу с Handiscop HS4. Кроме того, программное обеспечение позволяет сохранять настройки виртуальных приборов, так что при следующем использовании устройства время на подготовку к работе с ним сводится к минимуму.

Для подключения устройства к ПК используется уже традиционный интерфейс USB 2.0, что позволяет обойтись без внешнего источника питания. Кроме того, в рамках одной вычислительной системы становится возможным использование до 128 устройств одновременно, что позволяет создавать измерительную лабораторию с 512 виртуальными приборами.

В комплект поставки, помимо самого устройства, входят 4 пробника, интерфейсный кабель USB, компакт-диск с ПО и печатное руководство по применению.

Более подробную информацию по техническим параметрам Handiscop HS4 можно найти в спецификации, а с ценами – ознакомиться в обновлённом прайс-листе на сайте компании ПРОСОФТ.

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

тел.: (095) 234-0636

### Компактные источники питания AC/DC серии RCL175

Компания XP Power объявила о начале поставок источников электропитания AC/DC серии RCL175 с малой площадью печатной платы (всего 140 × 94,1 мм). Выходная мощность ИВЭП – 175 Вт, а высота – всего лишь 32,6 мм.

Источники питания серии RCL175 обладают высокой удельной мощностью и КПД 80...90% (в зависимости от модели) и по кондуктивным помехам соответствуют требованиям Level B. Максимальное значение тока утечки на землю 200 мкА при входном напряжении 230 В, это позволяет применять изделия в промышленных и медицинских приложениях, а также в информационных технологиях.

Доступны 1-, 2-, 3- и 4-канальные модели с выходными напряжениями от 3,3 до 48 В, два из которых (в 3- и 4-канальных

моделях) являются полностью изолированными для обеспечения максимальной гибкости. Уникальное исполнение вторичной обмотки трансформатора (в виде отдельных фрагментов с инкрементом 1/5) позволяет легко получать нестандартные выходные напряжения.

Применение выпрямительных SiC-диодов увеличивает КПД на 1,7% и сокращает число компонентов демпфирующей цепи. Полумостовая топология обеспечивает получение в магнитопроводе удвоенного размаха индукции, а частота переключения силовых транзисторов 60 кГц позволяет получить высокий КПД. Высоочастотный (75 кГц) корректор коэффициента мощности обеспечивает соответствие требованиям стандарта EN61000-3-2 по гармоническим составляющим входного тока.

Для получения полной выходной мощности требуется принудительный обдув с небольшой интенсивностью 12 CFM, при конвекционном охлаждении доступна выходная мощность 120 Вт. Пиковая мощность 200 Вт обеспечивается в течение 5 с каждую минуту.

Доступны 4 конструктивных исполнения моделей серии RCL175: открытое, U-канальное конструктив, U-канальное исполнение корпуса с крышкой и U-канальное исполнение с вентилятором.

Защита от перегрузки реализована в виде ограничения тока на уровне 110...125% или (по заказу) методом ограничения тока с острой коленообразной характеристикой (foldback).

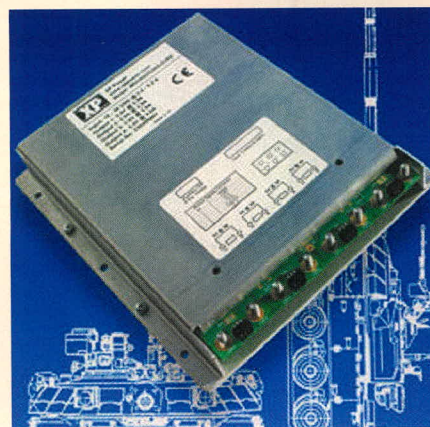
[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

тел.: (095) 234-0636

### Конфигурируемый DC/DC-преобразователь серии MCC для военных применений от XP Power

Компания XP Power представила серийный 400-Вт DC/DC-преобразователь серии MCC. Устройство соответствует требованиям к входу по стандарту MIL-STD-1275A/B, техническим требованиям к ЭМИ по стандарту MIL-STD-461E и сохраняет работоспособность при воздействии механических ударов и вибрации в соответствии с MIL-STD-810F (методы 516.5-1 и 514.5C-17). Низкопрофильный источник электропитания с числом выходных каналов до 4 и дополнительным 24-В каналом с выходной мощностью 200 Вт соответствует требованиям военных применений.

Модуль MCC имеет от 1 до 4 выходных индивидуально регулируемых каналов с номинальными напряжениями от 2 до 48 В



постоянного тока при номинальном входном напряжении 28 В постоянного тока.

Предусмотрена защита от изменения полярности входного напряжения и имеется фильтрация входного и выходного напряжения, что позволяет соответствовать требованиям MIL-STD-461ECE102, CS114, CS115 и CS116 для военных и авиационных применений.

Нестабильности по току и напряжению лежат в пределах  $\pm 1\%$ , а также допускается режим холостого хода. Каждый выходной канал имеет собственный контур регулирования, устраняющий любые перекрёстные проблемы. В качестве дополнения доступен выходной канал с мощностью 200 Вт и напряжением 36 В, который предназначен для питания приводных электродвигателей, фотокамер и другого оборудования.

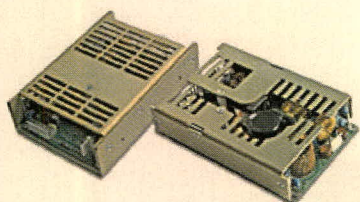
Модуль оснащён функцией общего включения/выключения, независимыми сигналами блокировки выходных каналов и сигналами DCOK состояния выходных напряжений с номиналами выше 3 В; предусмотрена также выносная обратная связь. Время поддержания выходного напряжения может быть увеличено при помощи установки внешнего конденсатора.

КПД модуля составляет 75% (тип.) при полной нагрузке с учётом прочности гальванической изоляции 500 В (между первичной и вторичной цепью, первичной цепью и корпусом, вторичной цепью и корпусом). Диапазон рабочих температур лежит в пределах  $-40...90^{\circ}\text{C}$  (в основании корпуса). Теплоотвод через плату-основание даёт возможность использовать прибор в системах с кондуктивным охлаждением. Само алюминиевое основание смонтировано с защитным кожухом, что соответствует степени защиты IP20.

Модуль MCC имеет встроенную защиту от перенапряжения, перегрузки по току, короткого замыкания и перегрева. Габариты устройства – 185 × 165 × 27,5 мм.

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

тел.: (095) 234-0636





# Терморегулятор с гистерезисом

Николай Заец (Белгородская обл.)

В статье описан принцип работы и конструкция терморегулятора, обладающего гистерезисом, задаваемым при помощи указания верхней и нижней границ регулируемой температуры. Прибор основан на микроконтроллере PIC16F73.

## Принцип работы

Предлагаемый терморегулятор обеспечивает поддержание плюсовой температуры по установленному верхнему и нижнему пределу. Пределы установки температуры – от 0 до 99°C. Температура может поддерживаться как при помощи ТЭНов, так и при помощи парового или водяного отопления с использованием сервоприводов с концевыми датчиками. Для контроля возникновения возможных аварийных ситуаций предусмотрен аварийный вход и индикация.

Отображение температуры и режима работы прибора выполняется при помощи четырёх семисегментных светодиодных индикаторов с общим катодом. Установка пределов регулирования температуры и режимов индикации выполняется тремя кнопками.

Термодатчиком служит микросхема DS1820, измеряющая температуру с точностью 0,5°C. Для обработки информации и вывода на индикацию применён 28-выводный микроконтроллер (МК) типа PIC16F73.

Терморегуляторы с большой точностью поддержания температуры используются в основном в инкубаторах. Однако существует целый ряд случаев, когда допустимо поддержание температуры с разницей между верхним и нижним пределом от единиц до нескольких десятков градусов. При этом носителем тепла, как правило, служит нагретый пар или вода, при помощи которых даже при желании невозможно поддерживать температуру с высокой точностью.

Описываемый терморегулятор можно использовать для сушки любого сырья (древесина, зерно), для производственных процессов нагрева жидкости (пастеризации молока, отделения творога, в котлах и бойлерах) или для отопления помещений (теплица, хранилище) в холодное время года.

При снижении контролируемой температуры ниже установленного минимума терморегулятор подаёт сигнал для включения исполнительного механизма открывания задвижки. Если в системе имеется концевой датчик сервопривода, то сигнал выключится после прихода единичного уровня от датчика. Когда контролируемая температура достигнет максимума, подаётся сигнал закрывания задвижки, который будет снят по-

сле прихода единичного уровня от второго концевой датчика.

Если нагрев выполняется при помощи ТЭНов, то входы концевых датчиков заземляют, и нагрев будет выполняться до достижения контролируемой температурой максимального установленного значения. Если максимальная и минимальная установленные температуры равны, то терморегулятор превращается в термостат и поддерживает температуру с точностью 0,5°. Таким образом, установленные максимальное и минимальное значения температур будут определять диапазон температур на объекте регулирования.

Устройство имеет три режима установки: работа, установка максимума и установка минимума. В режиме «работа» в левом разряде высвечивается буква «Р», а следующие разряды высвечивают текущую контролируемую температуру. В режиме установки максимума в левом разряде высвечивается буква «Р», а минимума – «L».

Установка разрядов выполняется двумя кнопками: «Установка+» и «Установка-». При нажатии кнопки «Установка+» значения разрядов прибавляются, а кнопки «Установка-» – убавляются. Если кнопки нажимать с периодом в одну секунду, то будет выполняться медленная установка разрядов (по единице). Если кнопка удерживается более 1 с, то начинается ускоренная установка с изменением значения на единицу через 0,1 с.

Алгоритм программы терморегулятора показан на рисунке 1. После инициализации МК запускается таймер и делитель с коэффициентом деления, равным 32. Переполнение таймера будет происходить через 8 мс. Последующие делители отмечают флагами интервалы времени 0,1 с и 1 с. Флаг «8 мс» необходим для смены разрядов динамической индикации. Флаг «0,1 с» используется в ускоренной установке значений разрядов. Флаг «1 с» используется при смене режима индикации и для медленной установки разрядов.

После индикации каждого разряда выполняются все последующие подпрограммы, показанные на рисунке 1.

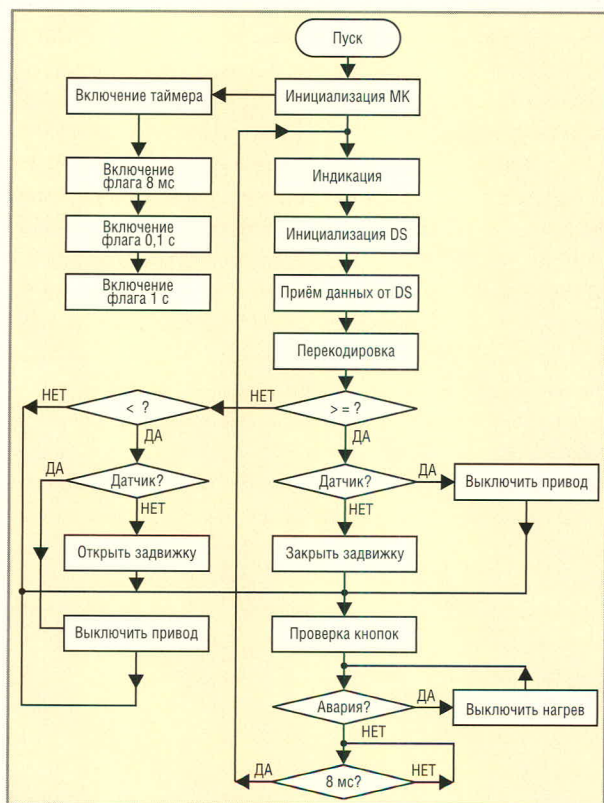


Рис. 1. Алгоритм работы программы терморегулятора



Для простоты изображения алгоритма процедура индикации первого и второго разряда не показана.

После индикации выполняется инициализация термодатчика и приём от него данных о температуре. Полученные данные перекодируются в двоично-десятичный код с заполнением рабочих регистров индикации. Десятичное значение ( $0,5^{\circ}\text{C}$ ) для информации переписывается в регистр запятой нулевого разряда.

Далее выполняется сравнение измеренной температуры с максимальной установленной. Если есть равенство или превышение, то проверяется выход датчика. Если конечной датчик включен (лог. 1), то привод выключается, в противном случае задвижка продолжает закрываться.

Если измеренная температура меньше максимальной установленной, то она сравнивается с минимальной установленной. Если измеренное значение меньше установленного, то проверяется вход концевого датчика. При открытой задвижке выключается привод, в противном случае подтверждается открытие задвижки.

После сравнения температур выполняется подпрограмма проверки кнопок, которая подробнее будет рассмотрена ниже. Проверяется вход аварийных ситуаций. Аварии может вызвать, например, отсутствие в системе теплоносителя. Если вход имеет единичный уровень, то процессор циклируется до устранения аварийной ситуации, включается аварийная сигнализация, а динамическая индикация останавливается на одном разряде. Если аварии нет, то ожидается включение флага «8 мс», после чего на индикацию выводится значение следующего разряда.

Алгоритм подпрограммы проверки кнопок показан на рисунке 2. Проверка кнопок начинается с определения режима индикации. Если задан режим «Работа», то проверка кнопок «Установка+» и «Установка-» не выполняется, но проверяется кнопка установки режима индикации. То есть в режиме «Работа» МК не будет реагировать на случайное нажатие кнопок установки разрядов. Если процессор находится в режиме установки, то в зависимости от нажатой кнопки («Установка+» или «Установка-») выполняется прибавление или вычитание разрядов.

Если кнопки установки не нажаты, а индикация – в рабочем режиме, то проверяется состояние кнопки «Режим». Если кнопка «Режим» не нажата, то выполняется возврат из подпрограммы. В противном случае устанавливается флаг кнопки, и МК также возвращается из подпрограммы. Дальнейшая программа будет выполняться после отпускания кнопки «Режим» при последующих проверках кнопок.

Далее проверяется флаг «1 с». Если прошла одна секунда, то сбрасываются все флаги и определяется текущий режим индикации. Он изменяется на следующий в очередности: «Работа» – «Установка max» – «Установка min» – «Работа» – ... По установленному флагу режима из регистров хранения переписываются их значения в регистры индикации, и МК возвращается из подпрограммы.

Алгоритмы работы подпрограмм установки разрядов на вычитание и прибавление идентичны, но в первом случае значение разряда проверяется на равенство 0 (счётчик декрементируется), а во втором случае – 9 (счётчик инкрементируется).

Алгоритм подпрограммы «Установка+» показан на рисунке 3. При нажатой кнопке проверяется флаг ускорения. Если ускорения нет или кнопка отпущена, то проверяется флаг «1 с». При медленной установке индикация изменяется через 1 с, а при ускоренной установке – через 0,1 с. Флаги «1 с» и «0,1 с» устанавливаются одновременно, поэтому если установлен флаг «1 с», то программа проверит значение разряда на равенство 9. Если равенства нет, то инкрементируется счётчик единиц и проверяется состояние кнопки. При нажатой кнопке устанавливается флаг ускорения, иначе сбрасываются все флаги. Установленные двоично-десятичные значения для удобства сравнения перекодируются в двоичный код.

При значении разряда, равном 9, счётчик единиц обнуляется и проверяется на равенство 9 счётчик десятков. При равенстве счётчик десятков обнуляется, а в противном случае инкрементируется. Далее работа продолжается аналогично тому, как это показано со счётчиком единиц, т.е. устанавливается флаг ускорения или сбрасываются все флаги, и выполняется перекодировка в двоичный код.

Для того чтобы подпрограммы установки прибавления и вычитания

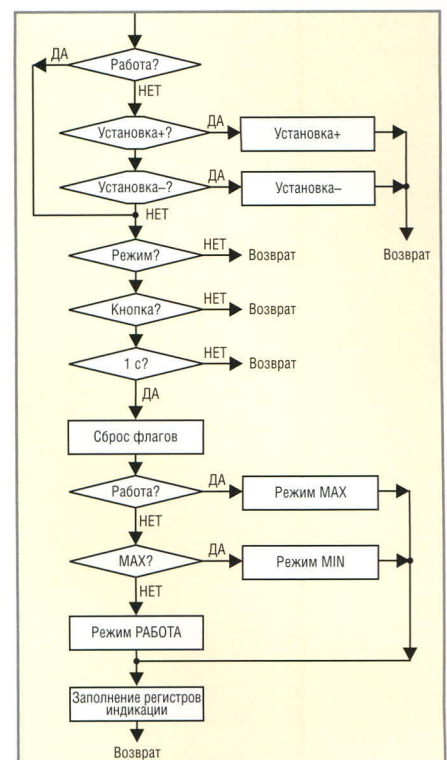


Рис. 2. Алгоритм работы подпрограммы проверки кнопок

были общими при установке минимальной и максимальной температур ограничения, установка выполняется в регистры индикации. По флагу установленного режима значения регистров индикации переписываются в регистры хранения и перекодируются в двоичный код.

В зависимости от режима установки температуры – максимальной или минимальной – значения регистров проверяются на корректность установки. Если устанавливаемая минимальная температура больше максимальной, то регистры установки минимальной температуры обнуляются. Если устанавливаемая максимальная температура меньше установленной минимальной, то в регистры установки максимальной температуры записываются девятки (99). По этой причине после включения устройства сначала необходимо устанавливать значение максимальной температуры, а потом минимальной. Если начать установку с минимальной температуры при нулевой максимальной температуре, то индикатор не будет реагировать на нажатие кнопок установки.

## Конструкция

Принципиальная схема терморегулятора показана на рисунке 4. Входы порта «В» программно «подтянуты»



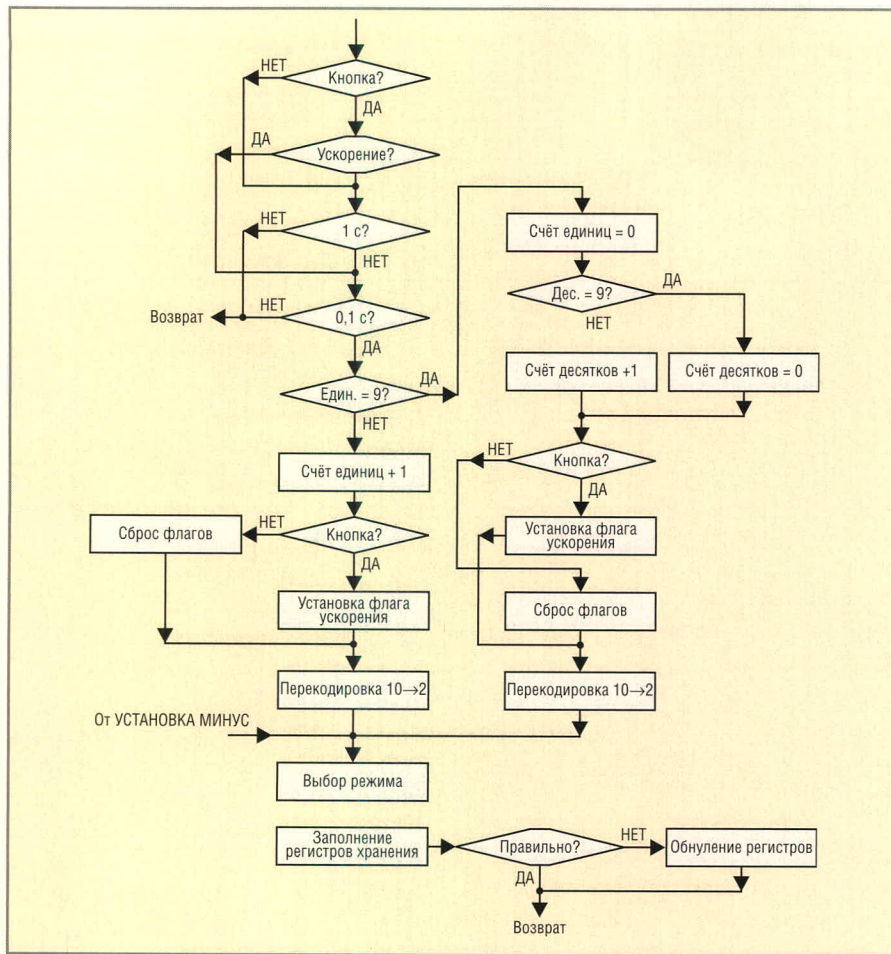


Рис. 3. Алгоритм работы подпрограммы «Установка+»

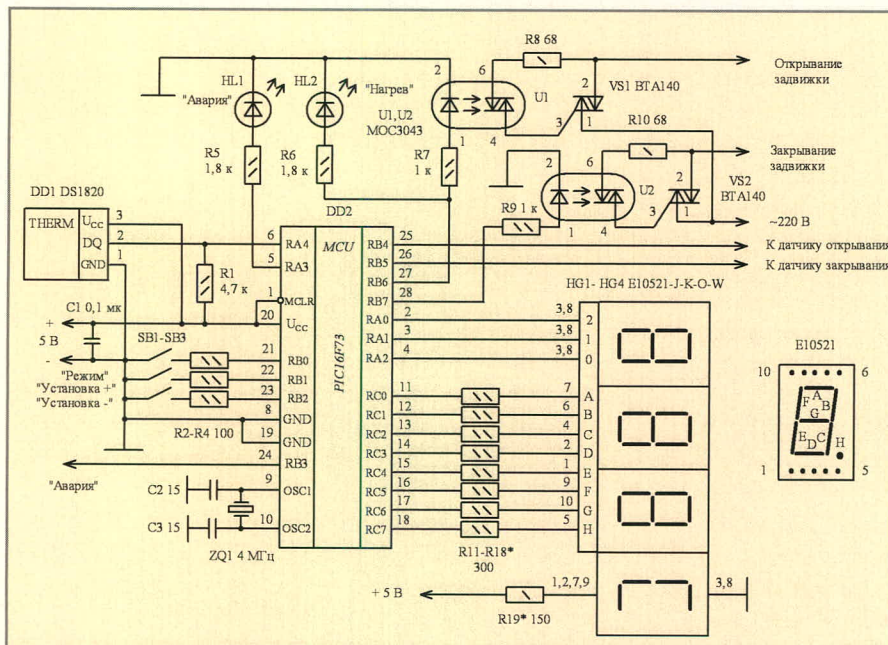


Рис. 4. Принципиальная схема терморегулятора

внутренними резисторами к плюсу питания. Сегменты крайнего правого разряда индикатора включены на постоянное высвечивание буквы «С». По желанию этот индикатор можно не устанавливать. Все элементы схемы имеют стандартное включение и в пояснении не нуждаются.

Терморегулятор изначально был разработан для ванны длительной пастеризации молока ИКПС-011 (ООО «Эльф 4М») взамен вышедшего из строя штатного терморегулятора, поэтому размеры печатной платы и расположение элементов управления имеют определённую конфигу-

рацию. Чертёж печатной платы и схема расположения на ней элементов доступны на сайте журнала.

Стабилизатор напряжения 5 В размещён на отдельной плате вместо имевшейся платы управления ТЭНами. Потребляемый терморегулятором ток не превышает 50 мА, поэтому вместо штатного стабилизатора КРЕН5А можно использовать стабилизатор типа 78L05.

На вход «Авария» термостабилизатора подан сигнал от датчика наличия воды в рубашке ванны. На входы концевых датчиков подано напряжение 5 В. Термодатчик DS1820 установлен вместо штатного терморезистора.

### РАБОТА С ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОМ

Поле подачи напряжения питания на индикаторе высветится: P\*\*C, где \*\* – значение текущей контролируемой температуры.

Нажмите кнопку «Режим». На индикаторе высветится: H00C, где буква «H» указывает на режим установки максимальной температуры.

Кнопками «Установка+» и «Установка-» введите значение необходимой максимальной температуры.

Нажмите кнопку «Режим». На индикаторе высветится: L00C, где буква «L» указывает на режим установки минимальной температуры.

Кнопками «Установка+» и «Установка-» введите значение необходимой минимальной температуры.

Нажмите кнопку «Режим». На индикаторе высветится P\*\*C. Терморегулятор находится в рабочем режиме. При установке или просмотре значений максимальной и минимальной температур регулирование температуры не прекращается. Свечение индикатора «Нагрев» указывает, что ТЭНы включены. При возникновении аварийной ситуации включается светодиод «Авария». К выходу «Авария» можно подключить звуковую сигнализацию.

Высвечивание запятой в разряде единиц градусов показывает значение 0,5°C. Например, если на индикаторе высвечивается P35,C, то это значит, что контролируемая температура – 35,5°C. Значение долей градуса выведено на индикатор для информации. По высвечиванию запятой можно быстро определить скорость нагрева или охлаждения теплоносителя.

Файл term4.hex для программирования микроконтроллера доступен на сайте журнала.



# Решения для аналоговой и силовой электроники

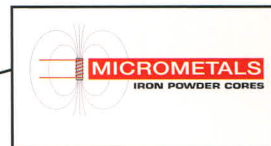
## Пример практического применения



Активный ККМ мощностью 1,5 кВт на диоде Шоттки CSD 20060D



Высокоэффективные магнитоэлектрические сердечники Micrometals для силовой электроники и ВЧ-техники



### Применение SiC-диодов Шоттки позволяет

- Снизить потери в диоде и ключевом транзисторе в 2 раза
- Уменьшить количество силовых электронных компонентов в 3 раза
- Увеличить надёжность
- Повысить частоту преобразования, снизить массу и габариты
- Получить выигрыш в стоимости и эффективности одновременно

### Характеристики высоковольтных диодов Шоттки фирмы Cree

Наименование	CSD04060A CSD04060D CSD04060E	CSD06060A CSD06060D CSD06060G	CSD10060A CSD10060D CSD10060E	CSD20060D	CSD05120A	CSD10120A CSD10120D	CSD20120D
$U_{\text{макс}}^B$	600	600	600	600	1200	1200	1200
$I_{\text{пост}}^A$	4	6	10	20	5	10	20
Типы корпусов	T0252, T0220-2, T0220-3	T0263, T0220-2, T0220-3	T0263, T0220-2, T0220-3	T0247-3	T0220-2	T0220-2, T0247-3	T0247-3

### SiC-приборы – уникальность ВАШИХ РАЗРАБОТОК!

Узнайте подробности в компании ПРОСОФТ

Телефон: (095) 234-0636 • Web: [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)

**ПРОСОФТ – официальный дистрибьютор компании CREE в России и странах СНГ**



# Твердотельный акселерометр в схеме управления производительностью обогатительного оборудования

Евгений Владимиров, Татьяна Романовская,  
Борис Соколов (Санкт-Петербург)

При обогащении сыпучего материала (например, алмазосодержащей породы) требуется обеспечение постоянной скорости потока, поступающего на обработку. Одним из способов регулирования и стабилизации производительности является использование устройств вибрационной подачи – вибрационных питателей (ВП). Для цифрового управления и стабилизации производительности ВП разработана схема на основе твердотельного акселерометра MMA2200W (Motorola) – датчика виброскорости, установленного на ВП, – и микропроцессора.

Управление производительностью обогатительной машины с вибрационным питателем сводится к изменению тока катушки вибратора. В то же

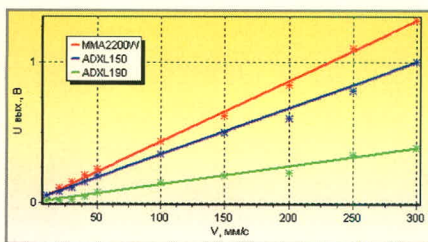


Рис. 1. Измерительные характеристики ADXL150, ADXL190 и MMA2200

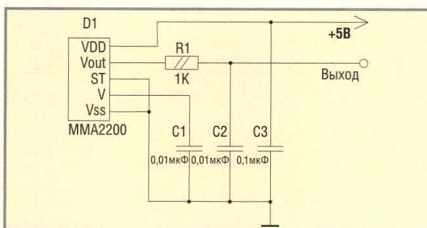


Рис. 2. Схема датчика



Рис. 3. Вибропитатель с установленным датчиком

время на этот ток влияет ряд возмущающих факторов – изменения питающего напряжения и резонансной частоты, которая зависит от количества породы на питающем лотке.

Для обеспечения стабильной производительности наиболее перспективна схема с обратной связью по амплитуде вибрации. Поиск недорогого и надёжного датчика вибрации показал [1], что датчиками вибрации могут служить твердотельные акселерометры. Эти микросхемы были созданы более 10 лет назад для систем управления подушками безопасности автомобиля [2] – т.е. именно для измерения ускорения. Но затем выяснилось, что на их основе можно создавать датчики угла наклона и скорости. Наиболее известны акселерометры т.н. поверхностного типа [1] фирм Analog Devices и Motorola.

Нами были исследованы датчики двух типов: семейства ADXL фирмы Analog Devices и MMA2200W фирмы Motorola. Отсылая читателя за подробным описанием принципа действия и внутренней структуры акселерометров поверхностного типа к соответствующим фирменным материалам [3, 4], отметим, что микросхемы ADXL чувствительны как к динамическому, так и к статическому ускорению (например, ускорению силы тяжести), а микросхемы MMA2200W к статическому ускорению нечувствительны. По-видимому,

именно этим фактором определяется лучшая температурная стабильность измерительной характеристики MMA2200W.

Для разработки регулятора были сняты измерительные характеристики датчиков, построенных на микросхемах ADXL150, ADXL190 и MMA2200W. Эти характеристики (см. рис. 1) представляют собой зависимость выходного напряжения датчика от виброскорости. Для контроля измерительных характеристик использовался прибор ВИНИТ-1-01 [5]. Широкий диапазон скоростей определяется поставленной задачей: обеспечить универсальность регулятора для машин с различной производительностью.

Схема самого датчика предельно проста (см. рис. 2) и содержит минимальный набор компонентов: кроме самой микросхемы датчика MMA2200W, в него входят фильтрующие конденсаторы цепи питания C1 и C3, а также фильтр выходного сигнала R1C2. Датчик представляет собой залитую компаундом конструкцию, которая крепится на лоток ВП таким образом, чтобы направление вибрации было перпендикулярно плоскости микросхемы (см. рис. 3).

С основной схемой регулятора, которая находится в системе управления, отстоящей от обогатительной машины на 25...30 м, датчик связан через согласующий усилитель. Коэффициент его усиления выбирается в зависимости от диапазона скоростей вибрации, определяемого производительностью обогатительной машины таким образом, чтобы выходной сигнал находился в пределах 0...3 В.

Вибропитатель – электромеханическая колебательная система, обладающая резонансными свойствами. Управление током катушки ВП удоб-



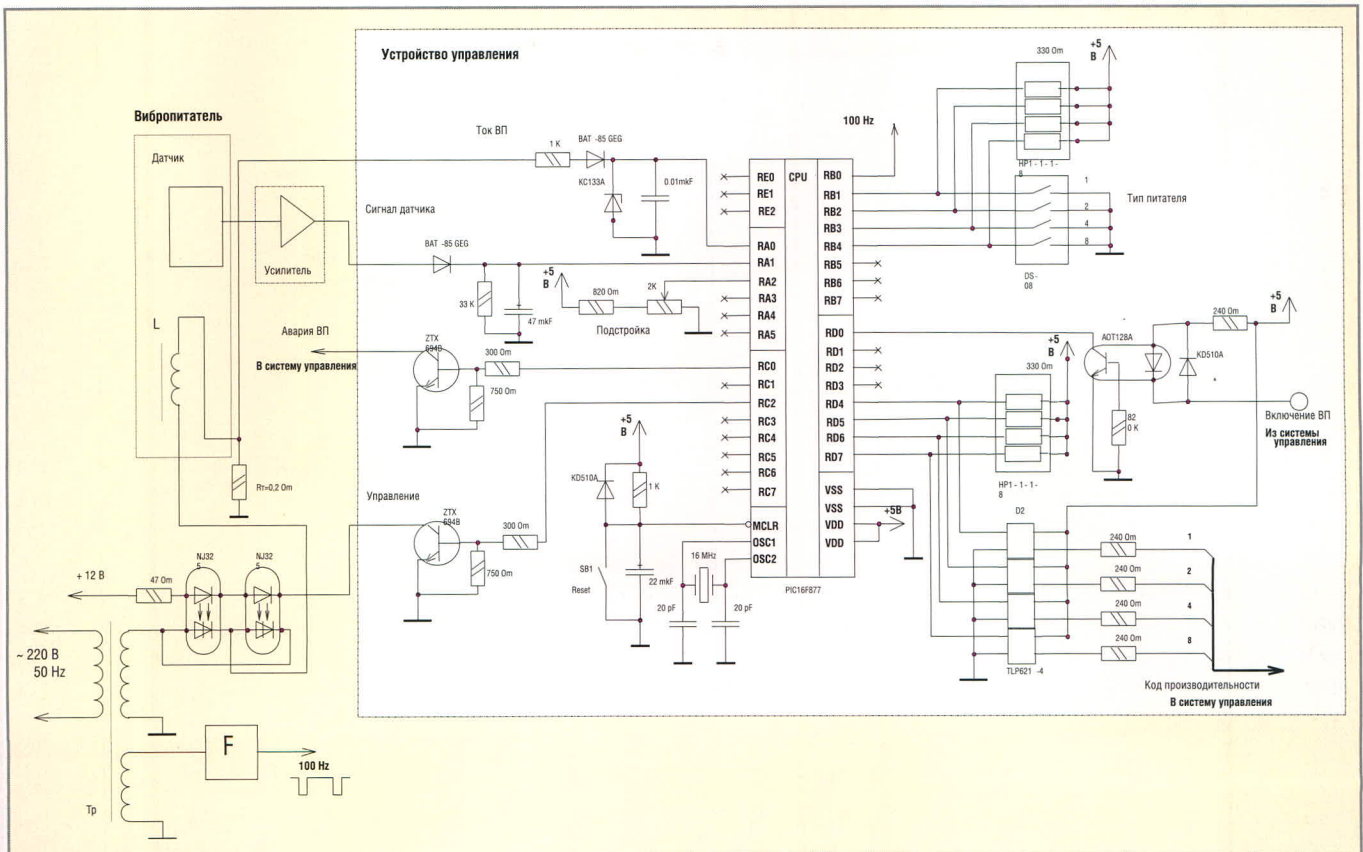


Рис. 4. Схема устройства управления

но осуществлять импульсами, следующими с частотой питающей сети 50 Гц или кратной ей частотой 100 Гц. Поэтому колебательная система вибратора механически настраивается на несколько большую частоту (103...107 Гц). Таким образом, питание катушки ВП осуществляется в «дорезонансном» режиме, поскольку частота вынужденных колебаний ниже резонансной.

Рассмотрим теперь схему устройства управления, представленную на рисунке 4. Её основной служит микропроцессор PIC16F877 фирмы Microchip.

В общем виде принцип управления такой же, как в любых системах с обратной связью. МП выполняет функцию цифрового регулятора, сравнивая сигнал датчика – выходной код АЦП – с кодом, соответствующим уставке, и формируя управление изменением фазового сдвига, который МП синхронизирует с напряжением питающей сети.

Управление производительностью осуществляется цифровыми сигналами, поступающими из системы управления обогатительной машиной: «включение ВП» – 1 бит и «код производительности» – 4 бита, что обеспечивает 15 дискретных значений производительности. Каждому значению

производительности соответствует определённое значение напряжения на выходе датчика виброскорости, согласно измерительной характеристике (см. рис. 1). Набор этих значений заранее определён для каждого типа сортировочной машины (типа питателя). Соответственно выбор одного из наборов производится переключками DS-08. В реальном устройстве в программе заложено семь фиксированных наборов, но их количество может быть и большим (до 15). Все перечисленные сигналы поступают на цифровые порты микропроцессора.

Ещё один входной сигнал микропроцессора – сигнал синхронизации, поступающий на цифровой порт RB0. Он имеет вид последовательности коротких импульсов, соответствующих моменту перехода сетевого напряжения через нулевой уровень. Источником сигналов синхронизации служит формирователь F, работающий от отдельной обмотки трансформатора, питающего катушку. Период этих сигналов – 10 мс. Относительно них микропроцессор выполняет операции чтения аналоговых портов.

На аналоговые порты поступают: на RA0 – аналог тока катушки вибропита-

теля через выпрямитель/ограничитель (снимается с резистора Rt, включённого в цепь катушки), на RA1 – сигнал от датчика виброскорости через согласующий усилитель и выпрямитель, на RA2 – напряжение подстройки с потенциометра. Все три сигнала преобразуются в цифровой формат 12-разрядным АЦП, имеющимся в составе МП. Сигнал тока катушки используется для контроля возможного замыкания в цепи катушки. Изменение сигнала подстройки позволяет плавно подстраивать в небольших пределах производительность (виброскорость) под индивидуальный образец питателя, программно смещая измерительную характеристику датчика.

Ток в катушке вибропитателя регулируется двумя оптодиристорами,

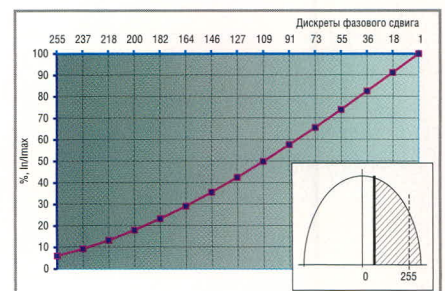


Рис. 5. Регулировочная характеристика катушки питателя



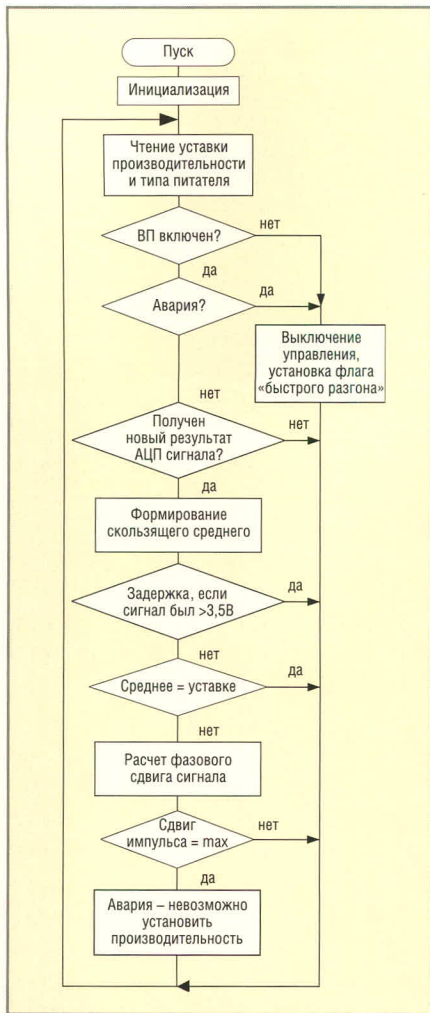


Рис. 6. Схема алгоритма «фоновой» программы

включёнными встречно-параллельно друг другу и последовательно – с обмоткой сетевого трансформатора и катушкой питателя. Управление током производится путем изменения МП фазового угла отсечки сетевого напряжения. Регулировочная характеристика – зависимость относительного значения тока в катушке от угла отсечки – приведена на рисунке 5. Угол отсечки (на регулировочной характеристике отложен по оси абсцисс) отсчитывается в «дискретах» от 0 до 255. Положение диапазона регулирования во времени условно показано на врезке, помещённой в правом нижнем углу рисунка.

Процесс управления осуществляется циклами, синхронизированными с частотой питающей сети. Длительность цикла равна половине периода сети – 10 мс. Импульсы управления оптотиристорами формируются микропроцессором в каждой полуволне сетевого напряжения и поступают на порт RC2 и далее через транзистор с

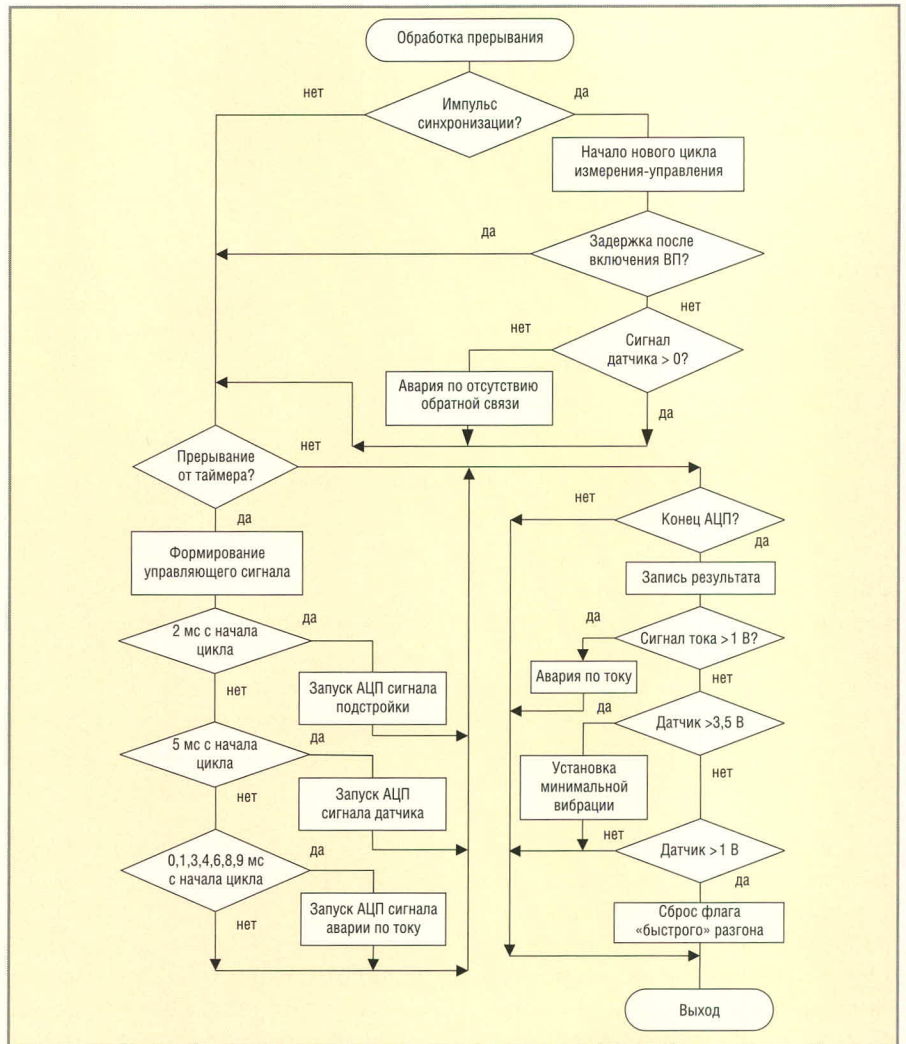


Рис. 7. Схема алгоритма подпрограммы обработки прерываний

открытым коллектором на оптрены тиристоров.

Работа устройства иллюстрируется блок-схемами, приведёнными на рисунках 6 и 7. На рисунке 6 показан «фоновый» процесс, который включает в себя чтение уставки производительности, контроль сигнала включения вибрации (подачи материала), усреднение значения сигнала датчика, считанного из аналогового порта 1, сравнение среднего значения с заданным для данной производительности. Если питатель включен, на основании расчёта инкрементируется либо декрементируется фазовый сдвиг импульсов включения оптотиристоров в соответствии с регулировочной характеристикой (см. рис. 5).

Изменение фазового сдвига происходит до установки заданной производительности (т.е. пока текущее среднее значение сигнала датчика не сравняется с уставкой). Если при минимальном фазовом сдвиге (1 дискрет) достигнуто заданное значение виброскорости (заданного значения

сигнала датчика в соответствии с измерительной характеристикой на рис. 1) за определенное время разгона не удаётся, формируется сигнал аварии в систему управления и одновременно прекращается подача импульсов включения оптотиристоров.

Процесс усреднения отсчётов сигнала датчика (значений виброскорости) запускается при получении очередного значения сигнала. Расчёт фазового сдвига осуществляется циклически с циклом, кратным периоду сети (20...100 периодов). При возникновении аварии или при выключении питателя выдача управляющих сигналов прекращается и устанавливается режим, аналогичный состоянию перед первым включением: минимальный фазовый сдвиг и флаг «быстрого разгона», т.е. быстрого входа питателя в заданный режим. В режиме «разгона» изменение фазового сдвига производится каждые 20 мс, а в режиме работы – каждые 160 мс. Это обусловлено нелинейностью регулировочной характеристики ка-



тушки питателя (см. рис. 5): при малом значении фазового сдвига его изменения больше влияют на выходной сигнал.

Собственно измерение (оцифровка с помощью АЦП) сигнала датчика и выдача импульсов управления по рассчитанному фазовому сдвигу выполняется при обработке прерываний. Алгоритм обработки прерывания (см. рис. 7) начинается с проверки прерывания по началу цикла RBO (100 Гц). По этому прерыванию начинается новый цикл измерения–управления: сбрасывается счётчик времени цикла, для которого используется внутренний таймер, контролируется окончание программных тайм-аутов: запрета на изменение фазового сдвига, если было вхождение питателя в резонанс; завершения «разгона» вибропитателя. Если после заданной для разгона задержки сигнал датчика остаётся нулевым, формируется признак аварии.

Далее производится проверка прерывания по таймеру, который необходим для синхронизации отсчёта текущих значений сигналов на аналоговых портах и формирования сигналов управления. По «вложенным» прерываниям от таймера в каждом цикле – полупериоде сети – производится отсчёт (запуск АЦП) сигнала подстройки (2 мс после начала цикла), отсчёт сигнала датчика (5 мс после начала цикла) и множественный отсчёт тока катушки.

Результат АЦП фиксируется по прерыванию по окончании АЦП. При необходимости по окончании очередного преобразования производится переключение АЦП на требуемый канал.

Значение сигнала подстройки используется в фоновой программе для расчёта заданной производительности. Выбранный переключками DS-08 набор из 15 уставок (значений напряжения на выходе датчика) корректируется в масштабе:

$$U_{\text{ук}} = 0,1U_{\text{ук}}(U_{\text{п}} - 2)/2,$$

где  $U_{\text{п}}$  – напряжение (в вольтах), снимаемое с потенциометра подстройки на аналоговый порт 2, а  $U_{\text{ук}}$  – напряжение уставки регулятора, соответствующее выбранной производительности  $k = 1...15$ .

Сигнал тока катушки сравнивается с порогом – 1 В; по превышению вырабатывается сигнал аварии по току катушки.


Сигнал датчика вибрации обрабатывается в фоновой программе, как указывалось выше. Кроме того, отсчёт этого сигнала сравнивается с порогом – 3,5 В. Превышение порога указывает на выход виброскорости за допустимые границы. Это может быть связано со входом вибратора в резонанс из-за самопроизвольного изменения собственной резонансной частоты, например, из-за перегрузки лотка породой. Программа в этом случае устанавливает фазовый

сдвиг сигнала управления на некоторый уровень, соответствующий минимальному току в катушке (для определённости – 200 дискрет (см. рис.5)). При этом виброскорость падает. Затем через 1 с процесс установки на заданную скорость повторяется. Если изменение характеристик вибратора, вызвавшее резкое возрастание виброскорости, было случайным, процесс выхода вибропитателя на заданную производительность повторяется и завершается, как описывалось выше.

Программа, реализующая описанные алгоритмы, разработана в интегрированной среде MPLab-IDE на языке MPASM и записана во флэш-память МП.

Устройство успешно испытано на вибропитателях с различными диапазонами виброскорости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волович Л., Волович Г. Интегральные акселерометры. Компоненты и технологии, on-line версия ([www.compitech.ru/html/cgi/arhiv/02\\_01/stat\\_66.htm](http://www.compitech.ru/html/cgi/arhiv/02_01/stat_66.htm)).
2. Гудинов Ф. Интегральный датчик ускорения для автомобильных надувных подушек. Электроника. 1991. № 16. С. 7–14.
3. [www.analog.com/en/prod/0,,764\\_800\\_AD-XL190,00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,764_800_AD-XL190,00.html).
4. [www.analog.com/en/prod/0,,764\\_800\\_AD-XL150,00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,764_800_AD-XL150,00.html).
5. [www.micrus.ru/pdf/mma1201p.pdf](http://www.micrus.ru/pdf/mma1201p.pdf).
6. Виброметр общего назначения ВИНИТ-1-01; [www.npo-it.ru](http://www.npo-it.ru). 

## Новости мира News of the World Новости мира

### Необычный 3D-экран

Как сообщает «Компьюлента», в британской лаборатории НМС MediaLab в Плимуте создан необычный трёхмерный дисплей, в который можно буквально окунуться с головой. Предложенная система работает следующим образом. Комплекс состоит из экрана, инфракрасных сенсоров, видеокамеры и проектора. Сам экран изготовлен из так называемой «гиперткани» (Hyperfabric) – эластичного



материала, прогибающегося и деформирующегося под внешним воздействием. Сенсоры и видеокамера, установленные за полотном, регистрируют изменения формы экрана при нажатии и передают информацию в компьютер. Затем собранные данные обрабатываются специальной программой, после чего проектор воспроизводит соответствующую картинку уже на деформированном «дисплее».

Таким образом, человек может «погрузиться», например, руку или голову в виртуальное пространство экрана. Текущий вариант системы использует полотно из «гиперткани» шириной метр и высотой два метра и генерирует объёмное изображение леса. По мнению разработчиков, трёхмерные эластичные экраны могли бы найти применение при организации различных выставок и интерактивных стендов.

### Universal Display развивает OLED

Как сообщает EETimes, компания Universal Display Corp. продемонстрировала световое OLED-табло с эффективностью 30 лм/Вт. Новинка, представленная на мероприятии Society of Optical Engineering Symposia & Exhibition, является одной из самых серьёзных разработок в области OLED на сегодня.

Разработчики утверждают, что панель излучает с силой света 150 лм при эффективности 15 лм/Вт и цветовой температуре 3700 К. Компания Universal Display, которой, между прочим, помогает министерство энергетики США, намерена развивать OLED-технологии и далее.

[www.hifinews.ru/article/details/](http://www.hifinews.ru/article/details/)



# Спектрофотометр дневного неба

Алексей Галахов (Мурманская обл.)

Физические, химические и биологические процессы, происходящие на земле, в атмосфере и в воде, обусловлены наличием солнечной лучистой энергии. Особое внимание привлекает в связи с этим влияние на природу спектрального состава солнечной радиации [1]. Для проведения экологического мониторинга физического состояния атмосферы (от которого зависит спектральный состав) был разработан спектрофотометр дневного неба, регистрирующий спектр в диапазоне от 3000 до 8000 ангстрем.

Спектрофотометр выполнен на базе оптической части полихроматора «Полискан», выпускаемого Государственным институтом прикладной оптики (г. Казань). От известных спектрофотометров «Озон-1» [2] и «СФДН» [3], которые были выполнены с использованием одной и той же оптической базы, разработанный прибор отличается:

- упрощённой оптической частью (убрано одно поворотное зеркало; фотодетектор установлен в главной плоскости прибора), благодаря чему уменьшились оптические искажения, а устройство стало более компактным, что немаловажно при работе в экспедиционных условиях;
- использованием режима счёта фотонов, что улучшило отношение сигнал/шум и увеличило динамический диапазон регистрации спектров при разной освещённости;
- электронной частью, созданной на базе программируемого микроконтроллера PIC16F877, что даёт возможность программно изменять режим работы спектрофотометра;

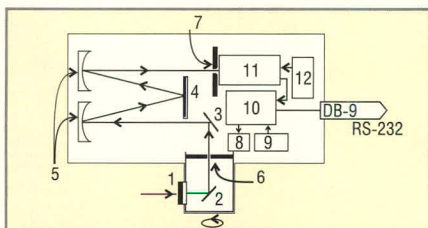


Рис. 1. Блок-схема спектрофотометра дневного неба

1 – входное окно; 2, 3 – поворотные зеркала; 4 – дифракционная решётка; 5 – сферические зеркала; 6 – входная щель; 7 – выходная щель; 8 – шаговый двигатель; 9 – плата концевых датчиков; 10 – плата управления и счётчиков фотонов; 11 – фотодетектор; 12 – управляемый источник высокого напряжения.

- использованием последовательно порта RS-232 для записи данных, что позволяет выносить спектрофотометр на значительное расстояние от компьютера.

Блок-схема спектрофотометра показана на рисунке 1. Поворотное входное оптическое окно (1) снабжено касетой, куда для ограничения полосы исследуемого спектра можно вставлять выбранный из набора «образцов цветных оптических стёкол» необходимый фильтр. Входная и выходная щели с регулируемыми диафрагмами установлены в фокусе соответствующего сферического зеркала. Сканирование спектра производится поворотом дифракционной решётки (4) синусным кинематическим механизмом, обеспечивающим линейность развёртки спектра по длинам волн. В качестве двигателя используется униполярный шаговый двигатель (ШД) привода головки записи/чтения от 5,25-дюймового флоппи-дисковода. Применение ШД позволяет точно позиционировать вал (не больше 5% величины шага) без применения обратной связи. Режим управления ШД – полшаговый («one and two phase-on» half step), что позволяет частично избавиться от нежелательного явления резонанса, присущего ШД. Границы анализируемого спектра определяются положением концевых оптронных датчиков, шторка которых расположена на движущейся каретке синусного механизма. Импульсы, определяющие направление движения каретки, формируются платой концевых датчиков (поз. 9 на рис. 1). Дискретность записи спектра установлена программным способом и составляет 0,5 ангстрем. В качестве фотодетектора используется фотоумножитель

ФЭУ-100, спектральная чувствительность которого лежит в диапазоне от 170 до 830 нм. Фотоприёмник работает в режиме счёта фотонов, что значительно увеличивает пороговую чувствительность и динамический диапазон регистрации по сравнению с режимом регистрации тока фотоумножителя. Основная электронная часть прибора расположена на плате управления и плате счётчиков фотонов. Принципиальная схема основной части показана на рисунке 2 и содержит следующие элементы: ФЭУ, импульсный усилитель, дискриминатор и многоразрядный счётчик. Импульсный входной усилитель (К500ЛП116) и компаратор (К597СА1) собраны на цифровых микросхемах эмиттерно-связанной логики ЭСЛ, обладающих наибольшим быстродействием, необходимым для того, чтобы обеспечить временное разрешение отрицательных импульсов с выхода фотоумножителя – 5...10 нс. Порог ограничения компаратора определяется уровнем собственных шумовых импульсов ФЭУ, которые и определяют нижний предел регистрируемой интенсивности. В качестве входного счётчика фотонов используется четырёхразрядный двоично-десятичный счётчик К1531ИЕ10, обладающий наибольшим быстродействием среди схем ТТЛ-логики. Выходные импульсы со специальной схемы счётчика P2 (см. рис. 2) поступают на счётчик старшего разряда TMR1 микроконтроллера PIC16F877. Для совместной работы микросхем ЭСЛ и ТТЛ-логики используется преобразователь уровня К500ПУ125.

Используемый в схеме микроконтроллер выполняет следующие функции:

- управляет работой шагового двигателя (таймер TMR0, порт RD0-RD1, RD7);
- подсчитывает фотоны при помощи 16-разрядного таймера/счётчика TMR1 (TMR1H+TMR1L), работающего в асинхронном режиме;
- опрашивает состояние концевых оптронных датчиков (порт RD6), задаёт направление движения каретки синусного механизма;



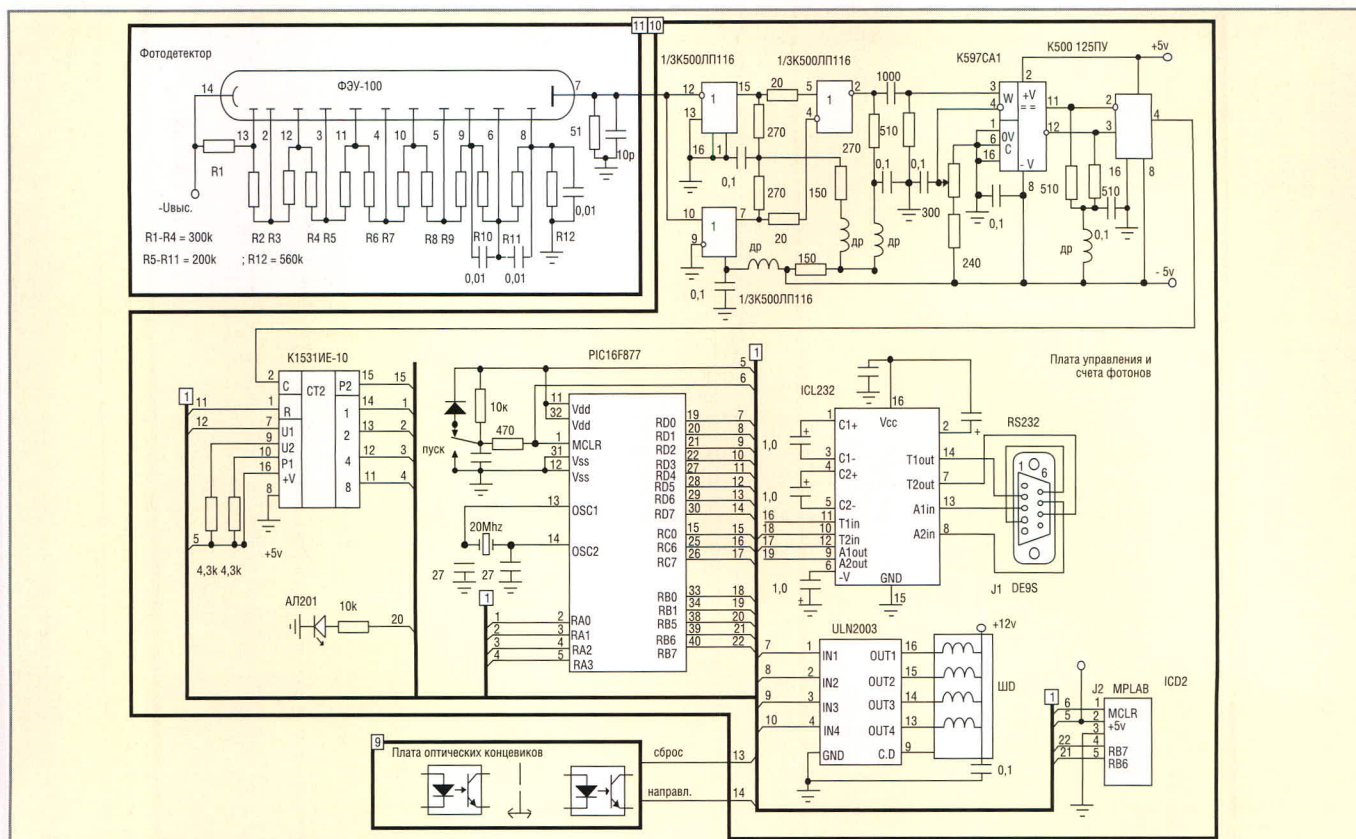


Рис. 2. Принципиальная схема спектрофотометра дневного неба

- модуль универсального синхронно-асинхронного приёмопередатчика USART обеспечивает режим последовательного интерфейса RS-232 с персональным компьютером;
- обеспечивает визуальную индикацию режима работы спектрофотометра (порт B5).

Протокол работы последовательного порта RS-232 (асинхронный, скорость 19 200 бит/с) с компьютером построен таким образом, что данные выставляются на линию (TD) только после получения подтверждения (RTS, CTS) о том, что предыдущий байт записан в буферную память PC. Сигналом конца потока данных явля-

ется передача процессором в линию последовательно двух синхробайтов – 95 и E6. Микросхема ICL232 обеспечивает связь микроконтроллера с персональным компьютером по каналу RS-232. Для этой микросхемы требуется только одно напряжение питания +5 В; при этом она способна генерировать импульсы размахом ±10 В.

Разъём J2 обеспечивает подключение программатора MPLAB ICD2 для внутрисхемного программирования установленного на плату микроконтроллера через контакты порта RB6 и RB7 и вход MCLR.

Инициализация микроконтроллера и запуск программы при включении питания осуществляется внешним сигналом по входу MCLR путём нажатия кнопки «Пуск». Резонатор Y1 и конденсаторы C1, C2 определяют частоту  $F_{osc}$  микроконтроллера – 20 МГц.

Применение управляемого источника [4] для питания фотоумножителя (от 1020 до 1840 В) позволяет регистрировать спектры дневного неба при различной освещённости.

Исследуемый спектр через последовательный порт записывается в файл в двоичном коде как функция числа импульсов шагового двигателя, которые определяют положение дифрак-

ционной решетки. Для разметки полученных спектров в длинах волн (ангстремы) используются фраунгоферовы линии поглощения дневного спектра и известные линии спектральных ламп. Далее по известным точкам рассчитывается вся шкала спектра, и данные переписываются в новый файл как функция длины волн.

В качестве иллюстрации работы прибора на рисунке 3 показан спектр дневного неба.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кондратьев КЯ, Федченко П.П. Тонкая структура спектра Солнца и её роль в эволюции биосферы. С-Пб.: НИЦЭБ АН России, 1992.
2. Ролдугин В.К., Коротков В.Г., Ролдугин А.В. Приборы и методика геофизического эксперимента. Мурманск: Полярный геофизический институт РАН, 1997. С. 39–41.
3. Галахов А.А., Ролдугин А.В., Картечко А.Ю. Сб.: Техника и методика геофизического эксперимента. Апатиты: Полярный геофизический институт КНЦ РАН, 2003. С. 50–54.
4. Жавков В.В. Маломощные импульсные стабилизаторы напряжения. Системы автоматизации геофизических исследований. Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1984. С. 95–104.

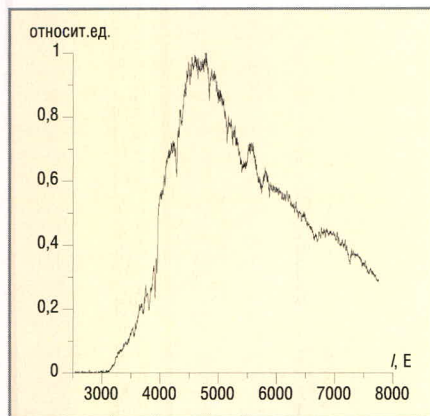


Рис. 3. Пример записи спектра солнечного неба



# Обзор средств функциональной верификации компании Mentor Graphics

Андрей Лохов (Москва)

Компания Mentor Graphics входит в мировую элиту поставщиков САПР электронных систем. Диапазон предлагаемых средств чрезвычайно широк и охватывает все основные направления проектирования: печатных плат, СБИС, систем – от концептуального уровня до выдачи технологических файлов для производства. В статье рассматривается комплекс средств функциональной верификации СБИС Mentor Graphics, анализируются основные принципы и методы верификации, заложенные в этих средствах.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема функциональной верификации СБИС приобретает доминирующее значение в общем цикле разработки и верификации электронных изделий. По последним данным, примерно половина всего инженерного состава, работающего над крупными проектами, занята функциональной верификацией. Временные затраты на функциональную верификацию в общем цикле проектирования выглядят ещё более впечатляюще – более 60%. При этом подавляющее большинство ошибок относится к классу логических (функциональных) [1].

Компания Mentor Graphics была одной из первых, в полной мере осознавшей решающее значение функ-

циональной верификации в современных маршрутах проектирования. Несколько лет назад в компании было создано специальное подразделение Design Verification and Test Division, которое сосредоточило усилия исключительно на данной проблеме. В результате была разработана комплексная платформа верификации, которая получила название Scalable Verification (масштабируемая верификация) [2, 3]. В основу платформы были заложены три базовых принципа [4]:

- комплексная верификация систем на кристалле с учётом трёх основных составляющих: цифровые, аналоговые подсистемы и встроенное ПО. Все модули платформы верификации интегрированы как по вертикали, охватывая все стадии

проектирования – от системного до вентиляльного уровня, так и по горизонтали, обеспечивая совместное моделирование на одном уровне блоков проекта, представленных разными уровнями абстракции и разными составляющими – цифровой, аналоговой и программной частью;

- ориентация на общепринятые стандарты языков описания проекта, позволяющая не только обмениваться проектными файлами между различными маршрутами проектирования, но и повторно использовать ранее разработанные функциональные блоки и, что ещё более важно, тест-бенчи. К основным стандартам можно отнести такие языки, как VHDL, Verilog 2001, SystemC, SystemVerilog, PSL;
- использование методологии, получившей название Design for Verification (проектирование для верификации), включающей все основные методы повышения эффективности верификации: верификация с помощью ассертов (Assertion-Based Verification), верификация, управляемая полнотой функционального покрытия (Coverage-Driven Verification), автоматизация тест-бенчей (Testbench Automation), моделирование на уровне транзакций (Transaction Level Modeling) и другие.

На рисунке 1 представлена схема последовательных этапов проектирования системы на кристалле и перечень средств верификации Mentor Graphics, являющихся составной частью платформы Scalable Verification, с указанием того, на каких этапах проектирования может применяться каждое из этих средств. Рассмотрим кратко назначение и основные характеристики перечисленных средств верификации, уделив особое внимание пакету Questa, который, как видно из рисунка, является ядром комплексной платформы верификации.

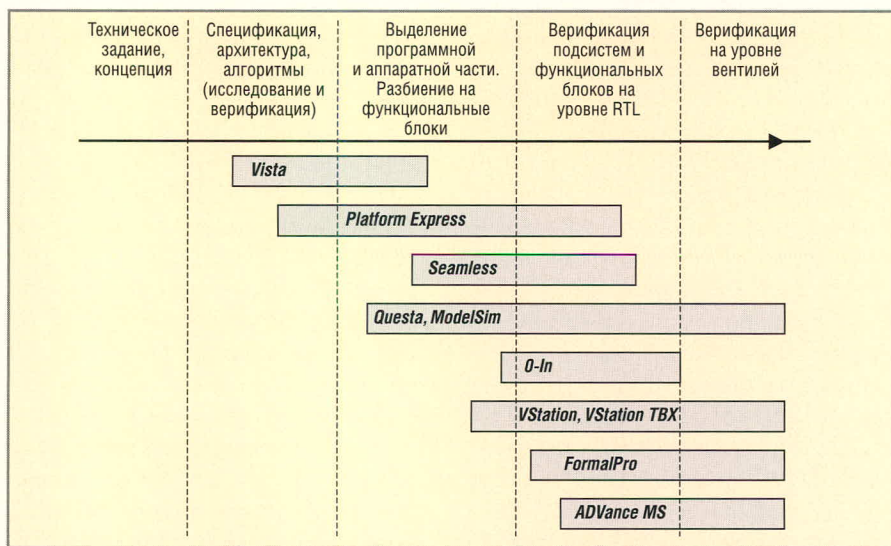


Рис. 1. Комплексная платформа функциональной верификации Scalable Verification



## ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ НА АРХИТЕКТУРНОМ И АЛГОРИТМИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Одной из важнейших задач современной системы функциональной верификации является повышение уровня абстракции моделей и смещение центра тяжести верификации на системный уровень. На этом уровне для описания моделей используется, как правило, язык Си/Си++ (ANSI C++), моделирование выполняется на уровне транзакций, для чего используются временные (timed) или невременные (untimed) модели транзакций на языке SystemC. Данный уровень исследования и верификации системы на кристалле реализуется средствами Vista и Platform Express (см. рис. 2).

Vista представляет собой высокопроизводительную среду верификации на системном уровне на основе моделей на Си/Си++ и SystemC (Vista 2.0). Она обеспечивает инструментальные средства создания моделей, их «ассемблирование» в систему, верификацию их поведения и дополнительные средства исследования и отладки различных вариантов построения архитектуры системы (в том числе программно-аппаратных) с помощью профилировщика загрузки системных ресурсов и подключения интерпретаторов системы команд встроенных стандартных процессоров. Симулятор Vista оперирует на уровне транзакций (TLM). Таким образом, Vista позволяет последовательно решать следующие задачи:

- компилировать проект из библиотечных моделей Си/Си++ (Platform Express C);
- создавать свои модели в случае отсутствия таковых в библиотеке (Model Express);
- моделировать систему с высокой производительностью (Vista Simulator);
- исполнять и отлаживать встроенное программное обеспечение (Processor Integration Kit);
- исследовать производительность программной и аппаратной реализации функций системы, выбирая оптимальный вариант реализации (Performance Profiler);
- выдавать информацию для перехода на следующий уровень реализации системы (RTL).

Результатом работы Vista может являться так называемая «золотая модель» системы или «исполняемая спецификация», которая на последующих этапах постепенно детализируется до RTL, а затем до вентильного уровня.

Следует отметить, что специализированное ядро Platform Express C является составной частью более общей платформы Platform Express – функциональной среды, позволяющей автоматизировать процесс проектирования и верификации системы на базе коммерчески поставляемых IP-блоков процессоров (ARM, PPC, DSP-процессоров и др.), стандартных шин (AMBA, VCI, и др.), памяти, контроллеров периферии и т.п. Среда Platform Express также может быть использована на системном уровне, однако, в отличие от Vista, она допускает детализацию отдельных блоков до уровня HDL и их моделирование, например, с помощью HDL-симулятора ModelSim или системы программно-аппаратной верификации Seamless.

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ НА УРОВНЕ RTL

Если на предыдущем этапе принято решение об использовании конкретного процессорного ядра, важно обеспечить возможность детальной отладки аппаратной части системы на уровне RTL с помощью воздействий, генерируемых при реальном исполнении встроенной программы. Эта функция реализуется с помощью пакета Seamless. Он включает интерпретаторы системы команд (тест-бенч аппаратной части системы) для более чем 100 стандартных микропроцессоров, модель аппаратной части системы на уровне RTL (VHDL или Verilog) и оптимизирующий интерфейс с системой отслеживания когерентности обращений к памяти. Seamless обеспечивает исчерпывающую верификацию аппаратной модели за счёт прогона больших объёмов встроенного кода, что позволяет практически исключить ошибки в первом физическом прототипе. Среда моделирования включает все функции программно-аппаратной отладки: компилятор, отладчик исходного кода, просмотр содержимого регистров и памяти, интерфейс с логическим анализатором. Анало-

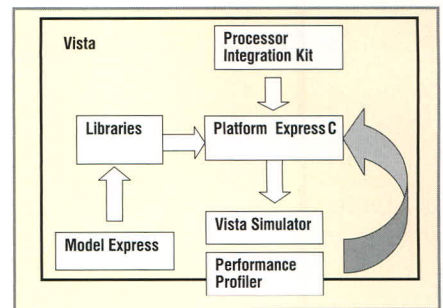


Рис. 2. Верификация на системном уровне с помощью Vista

гично системному уровню возможно подключение моделей на Си/Си++ и SystemC.

Специальная опция Seamless ASAP позволяет за счёт мониторинга использования ресурсов, как и на системном уровне, исследовать и оптимизировать различные варианты архитектуры, например, реализовать аппаратно алгоритм вычисления, если его программная реализация не обеспечивает необходимую производительность системы в целом. Эта опция обычно используется в среде Platform Express. Другая опция Seamless H2C реализует обратную трансляцию HDL-кода во временное представление на Си/Си++ или SystemC с точностью до такта синхронизации и с гарантированной эквивалентностью за счёт автоматической генерации тест-бенча и проверочного теста. В частности, это позволяет быстро верифицировать на системном уровне IP-блоки, в комплект поставки которых входит только синтезируемый HDL-код.

## ВЕРИФИКАЦИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ НА УРОВНЕ RTL

Данный этап верификации является одним из самых трудоёмких в маршруте проектирования систем на кристалле. Традиционно на этом этапе использовались HDL-симуляторы на уровне VHDL или Verilog. Одним из самых широко распространённых в мире HDL-симуляторов является пакет ModelSim, обладающий высокой производительностью, единым моделирующим ядром для VHDL, Verilog и комбинированных проектов и широкими отладочными возможностями. Однако резкое возрастание объёма и сложности систем на кристалле привело к необходимости внедрения новых методологий верификации, позво-



ляющих более эффективно и с меньшими затратами выполнить функциональную верификацию проекта. Основными принципами новой методологии верификации являются [5]:

- 1) верификация с помощью ассертов (ABV – Assertion-Based Verification);
- 2) оптимизация функциональной полноты покрытия (Functional Coverage) и управление сходимостью верификации с помощью полноты покрытия (CDV – Coverage-Driven Verification);
- 3) автоматизация создания тест-бенчей (TBA – TestBench Automation) с использованием принципа наложения ограничений на генератор случайных тестов (CRT – Constrained-Random Testing);
- 4) верификация на уровне транзакций (TLM – Transaction Level Modeling);
- 5) автоматический синтез ассертов;
- 6) статическая и динамическая формальная верификация ассертов;
- 7) использование специализированных и стандартных библиотек IP-блоков для верификации.

Принципы 1 – 4 реализованы в платформе верификации Mentor Graphics нового поколения, получившей название Questa. Принципы 5 – 7 – в средствах верификации 0-In компании, вошедшей в состав Mentor Graphics в 2003 г. и являющейся в настоящее время одним из подразделений Verification and Test Division.

Рассмотрим более подробно характеристики Questa. Для традиционного моделирования VHDL-, Verilog- и комбинированных VHDL/Verilog-проектов в Questa интегрировано моделирующее ядро ModelSim. В этом режиме на уровне объекта верификации поддерживаются языки VHDL, Verilog и SystemVerilog, включая вер-

сии 2002, 2001 и 3.1 соответственно, а на уровне тест-бенчей – SystemVerilog 3.1 и SystemC 2.1, в том числе на уровне транзакций (TLM). Пользовательский интерфейс (GUI) аналогичен интерфейсу ModelSim, что обеспечивает быстрый переход на новую платформу. Questa включает все отладочные возможности ModelSim в режиме традиционного моделирования: анализ полноты покрытия кода, сравнение временных диаграмм, анимацию, кросс-ссылки моделирования с блок-схемой и HDL-кодом и многое другое.

На этом перекрытие функций с симулятором ModelSim заканчивается. Дополнительно Questa имеет ядро для моделирования и отладки ассертов – QuestaSim. Ассерты существенно повышают наблюдаемость событий при моделировании объекта верификации. Встроенный браузер и отладчик ассертов позволяет быстро локализовать и устранить истинную причину ошибки, в несколько раз сокращая время верификации объекта по сравнению с традиционным моделированием. Для описания ассертов Questa поддерживает языки SystemVerilog и PSL (Property Specification Language).

Однако ассерты не только ускоряют верификацию, приближая точку наблюдения к реальному источнику возникновения ошибки, но и обеспечивают накопление, анализ и передачу информации о полноте функционального покрытия объекта верификации. Эта функция реализуется специальными конструкциями SystemVerilog и PSL и является одной из ключевых характеристик Questa, поскольку позволяет оптимальным образом управлять сходимостью процесса верификации.

Чтобы использовать информацию о полноте функционального покрытия в процессе создания и управления тестовыми воздействи-

ями, Questa включает специальный механизм TBA (TestBench Automation), который генерирует рандомизированные тесты под управлением специальных ограничений, задаваемых в виде накапливаемой в ассертах информации о полноте функционального покрытия и описываемых специальными конструкциями языков SystemVerilog и SystemC. Причём последний полностью поддерживает библиотеку SCVL (SystemC Verification Library). Суть работы этого механизма сводится к отсечению уже отработанных сценариев верификации и переходу к сценариям, которые ещё предстоит отработать, сокращая при этом время верификации за счёт повышения сходимости. Эти принципы, реализованные в платформе Questa, получили название CRT (Constained-Random Testing) и CDV (Coverage-Driven Verification).

Интерфейсы Questa CodeLink и Questa TBX дают возможность использовать в качестве тест-бенчей соответственно интерпретаторы программного кода встроенных процессоров, например, реализованные в Seamless, или аппаратные тест-бенчи системы VStation TBX.

Таким образом, Questa представляет собой среду верификации объектов, представленных различными уровнями абстракции, с использованием стандартных языков, единого пользовательского интерфейса и интегрированной среды отладки. В таблице приведены её суммарные характеристики.

Дополнительные возможности верификации с помощью ассертов могут быть получены путём подключения к платформе Questa средств 0-In (V2.3) [6]. Эти средства существенно повышают эффективность верификации за счёт автоматического синтеза ассертов на основании формального анализа RTL-кода. При этом могут быть использованы не только языковые (VHDL, SystemVerilog, PSL), но и библиотечные ассерты (OVL – Open Verification Library, 0-In CheckerWare – собственный формат 0-In). Формальная верификация свойств ассертов (не путать с контролем эквивалентности) позволяет, не прибегая к моделированию, повысить другую важнейшую характеристику – управляемость объекта верификации. Формальная верифика-

Матрица конфигурации Questa

	ModelSim	Questa SV (SystemVerilog)	Questa AFV (Advanced Functional Verification)
Моделирование RTL	SystemVerilog Verilog 2001 VHDL	SystemVerilog Verilog 2001	SystemVerilog Verilog 2001 VHDL
Ассерты		SystemVerilog	SystemVerilog PSL
Автоматизация тест-бенчей (TBA) и транзакции (TLM)		SystemVerilog	SystemVerilog SystemC
Функциональное покрытие		SystemVerilog	SystemVerilog PSL



ция возможна как в статическом режиме (как правило, после сигнала общего сброса), так и в динамическом, начиная с определённого состояния, достигнутого при моделировании объекта. Библиотека моделей для верификации 0-In CheckerWare Library содержит более 70 моделей. В качестве примера можно привести PCI Express, USB 2.0, AMBA-AXI, 10 GB Ethernet и другие компоненты.

Обобщённая структурная схема платформы Questa приведена на рисунке 3.

**Аппаратная эмуляция**

В случае, если необходимо верифицировать весь кристалл на уровне RTL или даже на вентиляном уровне и объём тестов чрезвычайно велик (например, в случае регрессионного тестирования на вентиляном уровне), применяются системы аппаратной эмуляции. Система эмуляции VI поколения компании Mentor Graphics – VStation Pro [7] поддерживает проекты максимальным объёмом 120 млн. вентиляей.

Она реализована на FPGA и использует запатентованную технологию эмуляции Virtual Wires. Скорость эмуляции достигает нескольких мегагерц, скорость компиляции – более 5 млн. вентиляей в час при любой комбинации форматов входного представления объекта (VHDL/Verilog/RTL/Gate). Отладочная среда приближается по возможностям к системе моделирования и обеспечивает 100-% наблюдаемость сигналов. В режиме внутрисхемной эмуляции (in-circuit emulation) VStation Pro действует практически в режиме реального времени. Система поддерживает интеграцию с Seamless и Questa/ModelSim. Опция VStation TBX обеспечивает многократное ускорение процесса верификации за счёт компиляции тест-бенчей, написанных на языках высокого уровня, в систему VStation Pro, поддерживая VHDL, Verilog, SystemC, SystemVerilog, TLM. VStation TBX имеет встроенную библиотеку описания протоколов на уровне транзакций и интегрирована с Seamless и Questa/ModelSim.

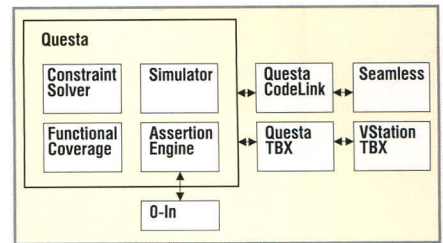


Рис. 3. Обобщённая структурная схема платформы Questa

**ФОРМАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ (КОНТРОЛЬ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ)**

При последовательном движении проекта по этапам маршрута проектирования, внесении различных изменений на RTL- или вентиляном уровне, например, добавлении цепей опроса состояния внутренних регистров или логики встроенного самотестирования, а также при регрессионном тестировании объекта верификации часто возникает задача контроля эквивалентности двух объектов. Для решения этой задачи используется система формальной верификации FormalPro компании Mentor Graphics [8]. Используя фор-

<p><b>Catapult C</b> Architectural Synthesis</p> <p>Высокоуровневый синтез</p>	<p><b>EXPEDITION SERIES</b></p> <p>Печатные платы. Корпоративная система</p>	<p><b>Precision</b> synthesis</p> <p>Логический и физический синтез ПЛИС</p>
<p><b>Questa</b> Advanced Verification</p> <p>Расширенная среда верификации</p>	<p><b>PADS</b> PCB Design Solutions</p> <p>Печатные платы. "Настольная" система</p>	<p><b>IC 4.2</b> Nanometer Design</p> <p>Проектирование заказных СБИС</p>
<p><b>ModelSim</b></p> <p>Моделирование цифровых систем</p>	<p><b>Advantage</b> FPGA</p> <p>Комплексное проектирование ПЛИС</p>	<p><b>CALIBRE</b> VERIFICATION</p> <p>Верификация топологии и экстракция</p>

Решения в области САПР электроники от Mentor Graphics.  
Megratec-INLINE GROUP - официальный дистрибьютор.  
Поставка, обучение, сопровождение.  
123007, Москва,  
Хорошевское шоссе, дом 38, корпус 1, 4 этаж  
+7 095 787-59-40  
lokhov@megratec.ru

**megratec** MENTOR GRAPHICS TECHNOLOGIES

**Mentor Graphics**



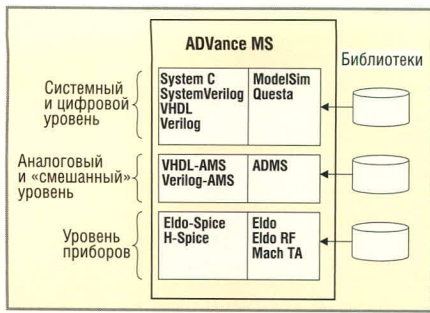


Рис. 4. Структура платформы ADVance MS

мальные методы анализа, она не требует моделирования тестовых воздействий, что позволяет выполнить верификацию на порядок быстрее. Допустимая размерность объекта верификации – несколько десятков миллионов вентилей. FormalPro обеспечивает точную локализацию расхождений и их отображение в виде кросс-ссылок на RTL-код или список цепей. В качестве входного формата используется RTL или вентильное представление в форматах VHDL или Verilog.

### АНАЛОГОВОЕ И СМЕШАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ

Более 65% современных систем на кристалле не являются чисто цифровыми. Как правило, они содержат аналоговые, аналого-цифровые, а зачастую и ВЧ/СВЧ-блоки. Для верификации подобных систем необходимо иметь интегральный комплекс, позволяющий моделировать любое сочетание аналоговых и цифровых блоков, а также различных их комбинаций в любой иерархической структуре, варьируя уровень абстракции моделей отдельных блоков от высокого (Си/Си++, SystemC, SystemVerilog, VHDL-AMS) до самого низкого (Spice, список цепей VHDL/Verilog). Примером реализации такого комплекса может служить платформа ADVance MS компании Mentor Graphics. Структурная схема платформы приведена на рисунке 4. Платформа реализована на базе цифрового симулятора ModelSim, аналогового симулятора Eldo и ядра ADMS, предназначенного для смешанного поведенческого моделирования в формате VHDL-AMS или Verilog-AMS [9]. При необходимости система может быть «усилена» опцией ВЧ-моделирования Eldo RF и опцией динамического временного моделирования Mach TA («быстрый Spice»).

В первом случае пользователь получает возможность верифицировать сложные RF/DSP-системы, объединяющие входной ВЧ-блок с блоком цифровой обработки сигналов в рабочем диапазоне (baseband). Моделирование цифровой и смешанной части выполняется на языках VHDL, Verilog, VHDL-AMS, Verilog-AMS, а ВЧ-части – на транзисторном уровне с использованием BSIM3, BSIM4, HICUM и других моделей. Используя усовершенствованные смешанные алгоритмы моделирования в частотно-временной области, такие как MODSST (MODulated Steady-State Analysis), и выбирая частоту дискретизации во временной области в соответствии с медленно изменяющимся baseband-сигналом, пользователь получает существенный выигрыш в быстродействии (2 – 3 порядка) по сравнению с традиционными методами моделирования переходных режимов при одновременном сохранении точности моделирования критических ВЧ-блоков. Поддерживаются все стандартные форматы цифровой модуляции – GMSK, QPSK, QAM, GFSK, EDGE, HPSK, OFDM и другие.

Mach TA представляет собой систему высокопроизводительного динамического временного моделирования СБИС большого объема и сочетает высокую скорость моделирования (на три порядка быстрее, чем Spice-подобные симуляторы), точность, достаточную для исчерпывающей временной верификации (в пределах 3-% погрешности от Spice), и высокую допустимую размерность проектов (10 млн. транзисторов на рабочей станции с памятью 2 Гб). Объект моделирования – список цепей в формате Eldo-Spice или HSpice. Список цепей может быть получен из принципиальной схемы проекта или создан с помощью программы экстракции паразитных параметров Calibre xRC. В качестве входных воздействий могут быть использованы тестовые векторы, разработанные для симулятора ModelSim. Высокая скорость моделирования Mach TA достигается путём разбиения проекта на отдельные слабо связанные блоки и применения специального алгоритма поведенческого моделирования связей между блоками. Точность мо-

делирования внутри выделенных блоков обеспечивается применением специального пошагового алгоритма, требующего существенно меньше памяти по сравнению с традиционным Spice-моделированием. Точность моделирования транзисторов обеспечивается применением четырёхполюсных моделей, учётом накопления заряда, вольт-зависимыми величинами емкостей, вариацией порогового значения обратного смещения. Предусмотрен как пакетный, так и интерактивный режим моделирования.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успехи, достигнутые компанией Mentor Graphics в области комплексной функциональной верификации в 2004 г. (Mentor Graphics вышла на первое место [1]), и результаты I квартала 2005 г. позволяют судить о правильности выбранного стратегического курса. В планы компании входит дальнейшее развитие платформы Scalable Verification как в сторону увеличения производительности и функциональных возможностей отдельных средств, так и в сторону вертикальной и горизонтальной интеграции их между собой.

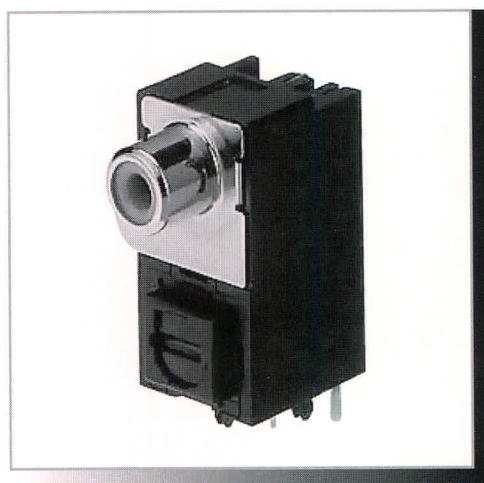
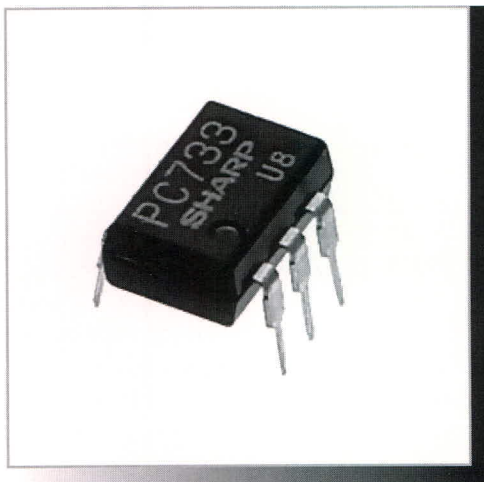
### ЛИТЕРАТУРА

1. 2004 IC/ASIC Functional Verification Study. Collet Int. Res. 2004.
2. Bailey B. The Need for a Scalable Verification Methodology to Overcome the Limitations of Current Verification Approaches. Mentor Graphics White Paper. 2004.
3. Лохов А.Л. Функциональная верификация СБИС. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2004. № 1.
4. Лохов А.Л. Современный уровень функциональной верификации СБИС. Труды конференции «Проблемы разработки перспективных микросистем – 2005 (МЭС-2005)».
5. Ping Yeung. Four Pillars of Assertion-Based Verification. Euro DesignCon 2004.
6. Assertion-Based Verification V2.3 User Guides, 0-In Design Automation, 2004.
7. Dale M. The Value of Hardware Emulation. Mentor Graphics White Paper. 2003.
8. Burgess I. Gate-Level Functional Verification is Imperative and Equivalence Checking Provides the Solution. Mentor Graphics White Paper. 2004.
9. Rami Abola et al. BlueTooth Transceiver Design with VHDL-AMS. Mentor Graphics Deep Submicron Technical Publication. 2003. ©



# Оптоэлектронные компоненты Sharp

**SHARP**



## Категории изделий

- Оптроны
- Твердотельные реле
- Открытые оптические датчики
- Датчики расстояния
- Излучатели и фотоприёмники ИК-диапазона
- Светодиоды видимого диапазона
- Фотодиоды и фототранзисторы
- Лазерные излучатели
- Трансиверы для ВОЛС

## Области применения

- Бытовая электроника
- Вычислительная и телекоммуникационная техника
- Автомобильная электроника
- Промышленная автоматика

**Широкий спектр изделий, безупречное качество исполнения!**

Узнайте подробности в компании ПРОСОФТ

Телефон: (095) 234-0636 • Web: [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)



# Эволюция SPICE-совместимых макромоделей операционных усилителей (часть 2)

Сергей Лозицкий (г. Брянск)

В продолжение статьи проведён углублённый анализ проблем, возникающих при моделировании ОУ, и даны способы их решения.

## ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КАСКАД ММ БОЙЛЯ

Схема промежуточного каскада (ПрК) ММ Бойля изображена на рис. 12.

Рассмотрим его работу при выполнении следующих условий:

- питание ОУ осуществляется симметричными напряжениями:  $V_{SP} = -V_{SM}$ , и, следовательно,  $V(99) = 0,5(V_{SP} + V_{SM}) = 0$ ;
- входной синфазный сигнал ОУ равен нулю:  $V_{IN CM} = V(10,99) = 0$ ;
- выходной каскад (ВыхК) ОУ работает в линейном режиме (без ограничения выходного напряжения

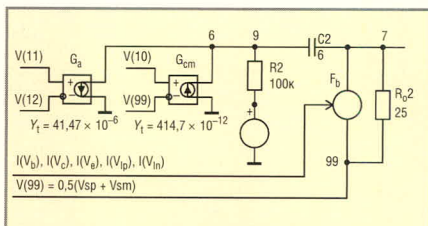


Рис. 12. Схема промежуточного каскада ММ Бойля

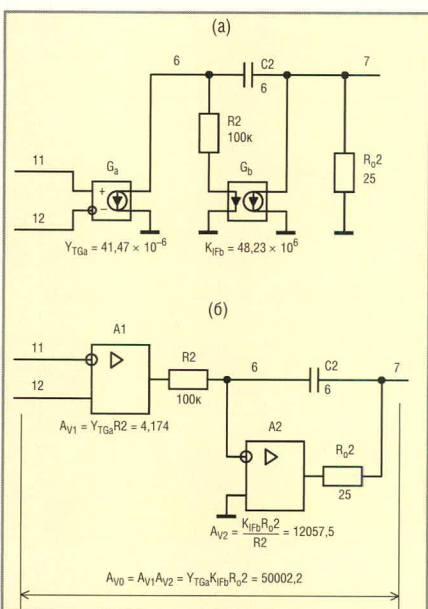


Рис. 13. Преобразования схемы ПрК

и/или тока), и, следовательно,  $I(V_C) = I(V_E) = I(V_{LP}) = I(V_{LN}) = 0$ .

При выполнении этих условий выходные сигналы источников  $G_{cm}$  и  $V_b$  равны нулю, а выходной ток источника  $F_b$  зависит от единственной переменной  $I(V_b)$ . В результате исключения из схемы рис. 12 источников  $G_{cm}$  и  $V_b$  с нулевыми выходными сигналами, а также замены графического символа источника  $F_b$  получаем схему ПрК, изображённую на рис. 13а.

В результате выполненных преобразований схема ПрК значительно упростилась, но она всё ещё достаточно трудна для анализа. Выполняя преобразования схемы рис. 13а в соответствии с теоремой Тевенина об эквивалентных источниках [3, 16, 17], получаем схему, изображённую на рис. 13б. Передаточные функции схем рис. 13а и 13б идентичны. В преобразованную схему входят последовательно соединённые усилитель А1 и интегратор, реализованный на усилителе А2 и пассивных компонентах  $C_2$ ,  $R_2$ ,  $R_{o2}$ . Анализ этой схемы не вызывает принципиальных затруднений и может быть осуществлён аналитическим методом, подробно описанным в [1]. По отношению к входному дифференциальному сигналу передаточная функция ПрК имеет однополюсный характер и определяется следующим выражением:

$$A_{VDP}(S) = \frac{V_{OUT}(S)}{V_{IND}(S)} = \frac{V(7)}{V(1,1,2)} = A_{VO} \frac{\omega_{PO}}{S + \omega_{PO}} \approx Y_{TGA} K_{IFb} R_{O2} \frac{1}{S + \frac{1}{K_{IFb} R_{O2} C_2}}, \quad (20)$$

где  $A_{VO}$  – усиление дифференциального сигнала ПрК на постоянном токе;  $\omega_{PO} = 2\pi F_{PO}$  – частота полюса передаточной функции ПрК.

Усиление и частота полюса рассчитываются по следующим формулам:

$$A_{VO} = Y_{TGA} K_{IFb} R_{O2}, \quad (21)$$

$$F_{PO} = \frac{1}{2\pi K_{IFb} R_{O2} C_2} \quad (22)$$

Из (22) следует, что частота доминирующего (низкочастотного) полюса ММ Бойля может варьироваться в широких пределах путём изменения величины ёмкости  $C_2$ . Следует заметить, что в ММ Бойля для ОУ с внешней частотной компенсацией ( $\mu A709$ , LM301A, LM308 и др.) ёмкость  $C_2$  в схеме ММ отсутствует, но имеются два дополнительных вывода, к которым подключается внешний конденсатор частотной компенсации ОУ.

Выражение передаточной функции:

$$A_{VCM P}(S) = \frac{V_{OUT}(S)}{V_{IN CM}(S)} = \frac{V(7)}{V(10,99)}$$

для синфазного сигнала ПрК можно получить, полагая  $V_{IND} = V(1,1,2) = 0$  и выполняя те же преобразования схемы рис. 12, которые мы делали в процессе нахождения передаточной функции  $A_{VDP}(S)$ . В этом нет необходимости, поскольку в ПрК (рис. 12) тракты прохождения дифференциального и синфазного сигналов абсолютно идентичны по структуре и отличаются только величинами коэффициентов  $Y_T$  преобразования напряжения в ток зависимых источников  $G_a$  и  $G_{cm}$ . Очевидно, что

$$\frac{A_{VDP}}{A_{VCM P}(S)} = \frac{Y_{TGA}}{Y_{TGcm}}. \quad (23)$$

Если учесть, что ВыхК имеет единичный коэффициент передачи синфазного сигнала, а его передаточная функция дифференциального сигнала определяется выражением (16), то можно записать следующее выражение для результирующего коэффициента подавления синфазного сигнала ММ Бойля:

$$CMRR(S) = \frac{A_{VD}(S)}{A_{VCM}(S)} = \frac{\omega_{PI}}{S + \omega_{PI}} \frac{Y_{TGA}}{Y_{TGcm}}. \quad (24)$$

Частота высокочастотного полюса  $\omega_{PI}$  передаточной функции ОУ с внут-



ренной частотной компенсацией обычно превышает частоту  $\omega_T$  его единичного усиления [1], и, следовательно, в диапазоне частот  $(0 \dots \omega_T)$  первый множитель выражения (24) приблизительно равен единице. Таким образом, в диапазоне рабочих частот ОУ коэффициент подавления синфазного входного сигнала ММ Бойля определяется выражением:

$$CMRR_{dB} \approx 20 \lg \frac{Y_{TGa}}{Y_{TGm}} \quad (25)$$

Из (25) следует, что ММ Бойля не моделирует зависимость коэффициента подавления входного синфазного сигнала реального ОУ от частоты.

На рис. 14 изображены результирующие АЧХ, ФЧХ, а также зависимость от частоты коэффициента подавления синфазного входного сигнала ММ LM358/МС. Сносками указаны: частота  $F_T$  единичного усиления, запас устойчивости по фазе  $P_M$ , частоты  $F_{PO}$ ,  $F_{PI}$  низко- и высокочастотного полюсов передаточной функции ОУ. Спад  $CMRR_{dB}$  на высоких частотах (больших  $F_{PI}$ ) объясняется влиянием первого множителя формулы (24).

Наглядно продемонстрировать зависимость скорости изменения выходного напряжения ММ Бойля от уровня перевозбуждения входа ОУ позволяет схема тестирования, изображённая на рис. 15. В этой схеме в нулевой момент времени размыкается ключ А1 (исходно замкнутый) и замыкается ключ А2 (исходно разомкнутый). В результате этого к неинвертирующему входу ОУ прикладывается напряжение  $V(OUT) + dV$ , а к инвертирующему – напряжение  $V(OUT)$ , и, следовательно, между входами ОУ всегда поддерживается неизменное напряжение  $dV$ . Результаты четырёхвариантного анализа схемы (варьировался параметр  $dV$ ), изображённые на рис. 16, наглядно показывают, что скорость нарастания выходного напряжения ММ ОУ существенно зависит от величины напряжения  $dV$ , прикладываемого между входами ММ.

Механизм ограничения скорости нарастания выходного напряжения ММ ОУ достаточно прост: входному напряжению  $dV$  соответствует напряжение на выходе ВхДК (см. верхний график на рис. 16):

$$V(11,12) = dV A_{VD1},$$

которое поступает на ПрК и сначала усиливается в 4,174 раза усилителем А1,

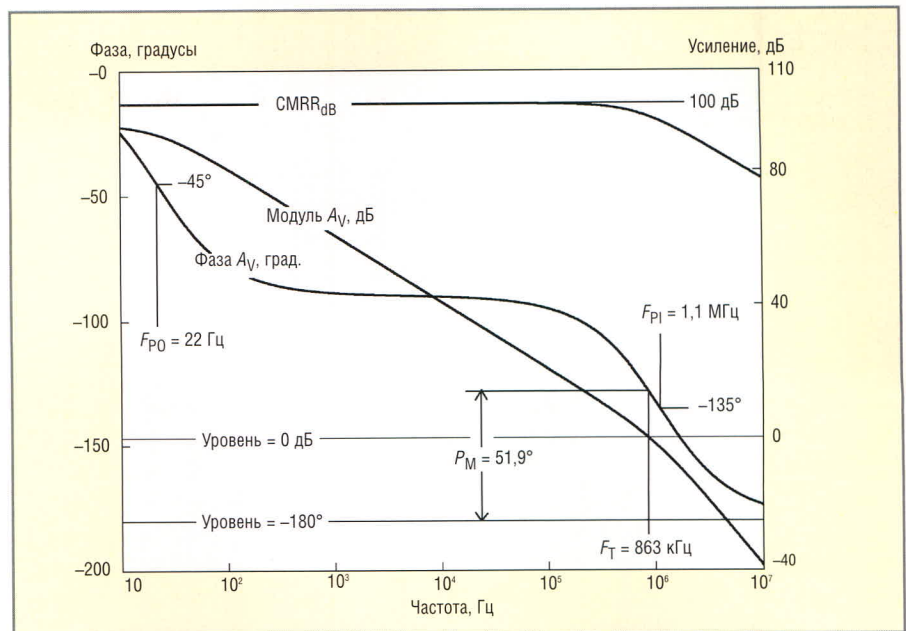


Рис. 14. Результирующие АЧХ, ФЧХ и зависимость коэффициента подавления синфазного входного сигнала от частоты для ММ LM358/МС

а затем интегрируется интегратором, реализованным на усилителе А2 и пассивных компонентах С2, R2, R<sub>02</sub>. При неизменной величине входного напряжения интегратора на его выходе формируется линейно нарастающее напряжение. Очевидно, что скорость нарастания выходного напряжения интегратора пропорциональна его входному напряжению и, в конечном итоге, напряжению  $dV$  (см. нижний график на рис. 16). На рис. 16 видно, что выходное напряжение  $V(11,12)$  ВхДК незначительно уменьшается на тех временных интервалах, в течение которых увеличивается выходное напряжение ММ ОУ. Некоторая зависимость напряжения  $V(11,12)$  от выходного напряжения ММ ОУ объясняется следующим. По мере роста выходного напряжения ММ увеличивается уровень её синфазного входного напряжения, что вызывает рост тока  $I_{REE}$ , протекающего через резистор  $R_{ce}$  (см. рис. 7), и уменьшение суммарного тока, протекающего через транзисторы Q1, Q2 ВхДК. Влияние конечной величины коэффициента  $CMRR_{dB}$  подавления синфазного входного сигнала на скорость изменения выходного напряжения ММ ОУ пренебрежимо мало. В реальных ОУ существенное влияние на скорость изменения выходного напряжения оказывают два фактора [15, 18]: паразитная ёмкость, шунтирующая источник тока ВхДК, и схема включения (способ возбуждения) ОУ. В ММ Бойля паразитную ёмкость источника моделирует конденсатор  $C_{ce}$  (см. рис. 5 и 7). На рис. 17 изо-

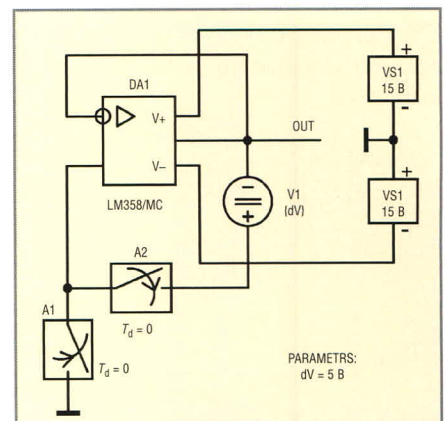


Рис. 15. Схема тестирования скорости изменения выходного напряжения ММ Бойля

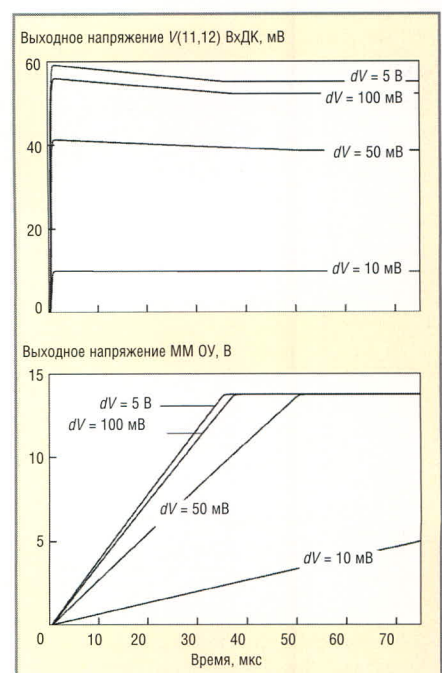


Рис. 16. Результаты анализа схемы при варьировании  $dV$



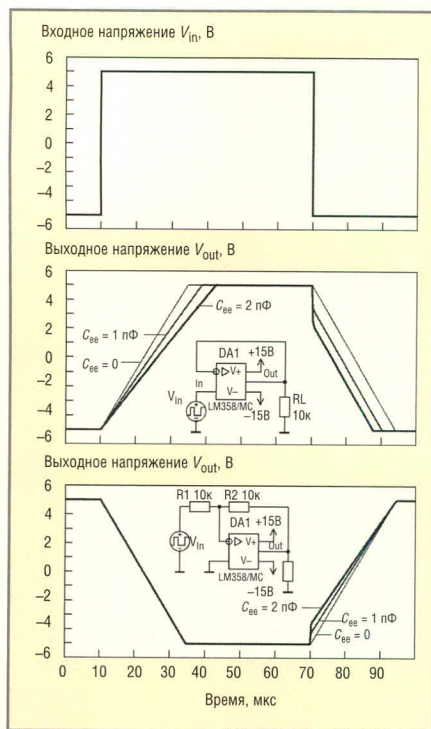


Рис. 17. Результаты анализа SR выходного напряжения повторителя и инвертора напряжения

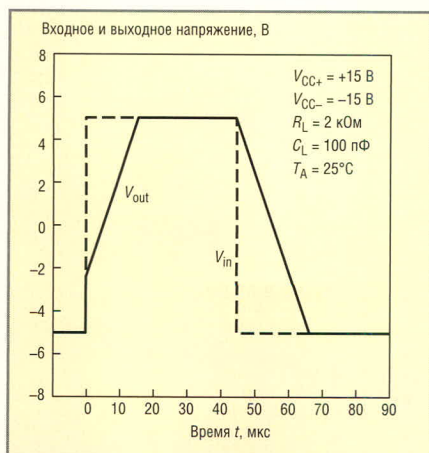


Рис. 18. График переходного процесса повторителя напряжения на ОУ μA741

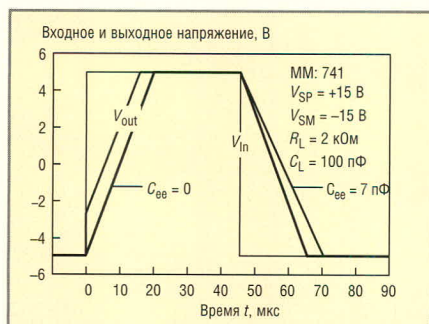


Рис. 19. Результаты двухвариантного анализа повторителя напряжения с использованием MM μA741

бражены результаты анализа скорости изменения выходного напряжения повторителя и инвертора напряжения для величин  $C_{EE}$ , равных 0, 1 и 2 пФ.

Подробный анализ факторов, влияющих на скорость изменения выходного напряжения ОУ, дан в [18]. Здесь же только отметим, что MM Бойля в целом адекватно моделирует скорость изменения выходного напряжения ОУ в различных схемных конфигурациях. Однако она далеко не всегда позволяет точно «подогнать» характер переходного процесса на большом сигнале под данные DataSheet. Сказанное иллюстрируют рис. 18 и 19.

На рис. 18 [19] изображён график переходного процесса повторителя напряжения, реализованного на ОУ μA741. На рис. 19 в сопоставимом масштабе изображены результаты двухвариантного анализа повторителя напряжения, в схеме которого используется MM μA741. Сравнение рис. 18 и 19 показывает следующее:

- при  $C_{EE} = 7$  пФ практически идентичны фронты выходных импульсов реальной схемы и её модели, но при этом длительности спада импульсов различаются приблизительно на 5 мкс (25%);
- при  $C_{EE} = 0$  идентичны срезы импульсов, но существенно различаются (по форме и длительности) их фронты.

Следует заметить, что в MM Бойля ёмкость  $C_{ee}$  ( $C_{ss}$  в MM с JFET-транзисторами на входе) используется достаточно редко. При отсутствии этой ёмкости скорости нарастания SR+ и спада SR- выходного напряжения MM равны: SR+ = SR- = SR. В тех же случаях, когда моделируемый ОУ имеет существенно различающиеся скорости нарастания и спада выходного напряжения (так, например, у ОУ OPA121 SR+ ≈ 4 В/мкс и SR- ≈ 2 В/мкс), разработчики MM Бойля придерживаются следующего правила: за величину скорости изменения выходного напряжения MM принимается меньшая из величин SR+, SR- реального ОУ (MM OPA121/BB в схеме повторителя напряжения имеет SR = SR+ = SR- ≈ 2 В/мкс). В большинстве случаев указанное решение можно считать приемлемым, поскольку оно ориентировано на худший случай и обеспечивает некоторый «запас прочности» в части максимальной скорости изменения выходного напряжения MM ОУ при моделировании схем реальных устройств.

### Выходной каскад MM Бойля

Схема ВыхК MM Бойля изображена на рис. 20. Токи, протекающие через

независимые источники напряжений  $V_{In}$ ,  $V_{Ip}$ ,  $V_c$  и  $V_e$ , являются управляющими переменными для ИТУТ  $F_b$ , входящего в состав ПрК, а ток, протекающий через фиктивный источник  $V_{lim}$ , является управляющей переменной для ИНУТ  $H_{lim}$  (на схеме указанные связи условно показаны линиями, заканчивающимися стрелками).

ВыхК может находиться в одном из трёх состояний:

- в линейном режиме работы;
- в нелинейном режиме ограничения выходного напряжения;
- в нелинейном режиме ограничения выходного тока.

В линейном режиме работы ВыхК все диоды схемы смещены в обратном направлении (закрыты), и, следовательно, токи  $I(V_c)$ ,  $I(V_e)$ ,  $I(V_{In})$ ,  $I(V_{Ip})$ , протекающие через источники  $V_c$ ,  $V_e$ ,  $V_{In}$ ,  $V_{Ip}$ , равны нулю и не оказывают влияния на работу ИТУТ  $F_b$ , входящего в состав ПрК (см. рис. 5). Таким образом, в линейном режиме работы ВыхК влияет на параметры MM только посредством резистора  $R_01$ , с помощью которого моделируется доминирующая составляющая выходного сопротивления ОУ. На рис. 21 изображена зависимость от частоты выходного сопротивления MM LM358/МС.

На постоянном токе и крайне низких частотах выходное сопротивление MM Бойля приблизительно равно суммарной величине сопротивлений резисторов  $R_01$  и  $R_02$  схемы замещения, а при увеличении частоты оно уменьшается до величины сопротивления резистора  $R_01$ .

ВыхК переходит в режим ограничения выходного напряжения при выполнении одного из следующих условий:

$$V_{OUT} > V_{SP} - (V_C - V_{FWD DC}) = V_{SP} - V_{SAT P}, \quad (26)$$

$$V_{OUT} < V_{SM} + (V_E - V_{FWD DC}) = V_{SM} + V_{SAT M}, \quad (27)$$

где:  $V_{FWD DC}$ ,  $V_{FWD DE}$  – падения напряжений на прямосмещённых диодах – соответственно  $D_c$  и  $D_e$ ;  $V_{SAT P}$ ,  $V_{SAT M}$  – напряжения насыщения выхода MM ОУ относительно положительного и отрицательного напряжений питания.

При выполнении условия (26) открывается диод  $D_c$  и через источник напряжения  $V_c$  начинает протекать ток  $I(V_c)$ , который воздействует на ИТУТ  $F_b$  ПрК (см. рис. 5). Указанное



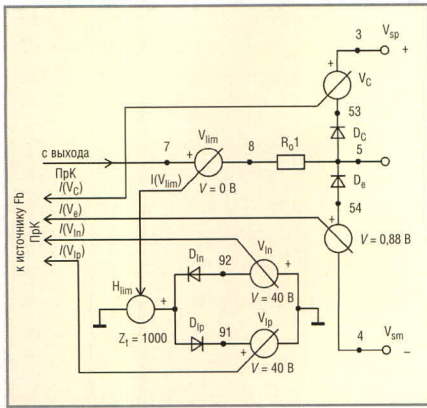


Рис. 20. Схема выходного каскада ММ Бойля

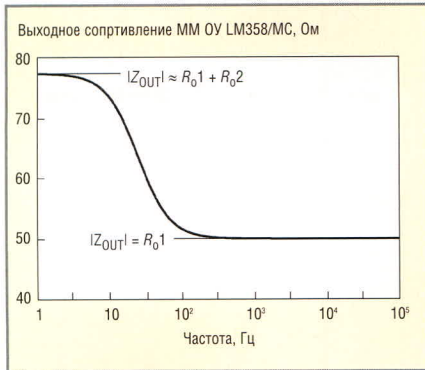


Рис. 21. Зависимость выходного сопротивления ММ LM358/МС от частоты

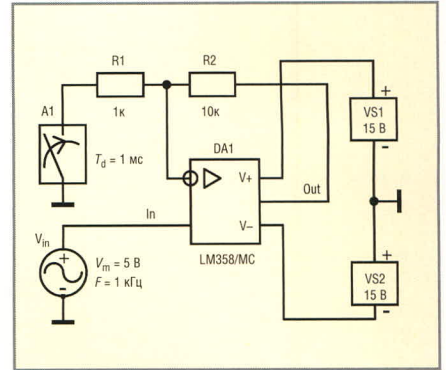


Рис. 22. Схема, моделирующая механизм ограничения выходного напряжения ММ ОУ

воздействие инициирует определённую последовательность событий: уменьшается выходной ток ИТУТ  $F_B$ , уменьшается коэффициент передачи ММ ОУ, выходное напряжение ММ ОУ фиксируется на уровне  $V_{OUT\ LIM\ MAX} \approx V_{SP} - V_{SAT\ P}$ . Аналогичным образом фиксируется минимальный уровень  $V_{OUT\ LIM\ MIN} \approx V_{SM} - V_{SAT\ M}$  выходного напряжения ММ ОУ.

В схеме, изображённой на рис. 22, исходно разомкнутый ключ А1 замыкается в момент времени  $T = 1$  мс, и, следовательно, первый период входного синусоидального сигнала частотой 1 кГц и амплитудой 5 В передаётся на выход схемы с единичным коэффициентом усиления, а последующие периоды входного сигнала усиливаются в 11 раз.

Результаты Pspice-анализа этой схемы (см. рис. 23) наглядно иллюстрируют рассмотренный выше механизм ограничения выходного напряжения ММ ОУ. ВыхК переходит в режим ограничения выходного тока при выполнении одного из следующих условий:

$$I_{OPALIM \rightarrow} > \frac{V_{IP} + V_{FWD\ Dlp}}{Z_I}, \quad (28)$$

$$I_{OPALIM \leftarrow} > \frac{V_{In} + V_{FWD\ Dln}}{Z_I}, \quad (29)$$

где:  $I_{OPALIM \leftarrow}$ ,  $I_{OPALIM \rightarrow}$  – соответственно втекающий и вытекающий в/из ММ ОУ максимальный выходной ток;  $Z_I$  – передаточное сопротивление ИНУТ  $H_{LIM}$  (см. рис. 20);  $V_{FWD\ Dlp}$ ,  $V_{FWD\ Dln}$  – падения напряжений на прямосмещённых диодах соответственно  $D_{lp}$  и  $D_{ln}$ .

При выполнении условий (28) и (29) открываются диоды соответственно  $D_{lp}$  и  $D_{ln}$ , в результате чего начинает протекать ток через источники напряжения  $V_{ip}$  или  $V_{in}$ . А далее события развиваются по тому же сценарию, как и в рассмотренном выше

случае ограничения выходного напряжения ММ ОУ.

В схеме тестирования (см. рис. 24) ОУ DA1 в течение первого периода входного синусоидального сигнала работает на нагрузку  $R1 = 1$  кОм, а в течение последующих – на нагрузку  $R1 \parallel R2 \approx 91$  Ом. Временные диаграммы, иллюстрирующие механизм ограничения выходного тока ММ ОУ, изображены на рис. 25. Из этих диаграмм следует, что ММ LM358/МС ограничивает выходной ток на уровне  $\pm 40,6$  мА.

### О ДРУГИХ ПРОБЛЕМАХ ММ Бойля

#### Проблемы «далёкой земли» и моделирования динамики тока потребления

Предельно упрощённая принципиальная схема типичного двухкаскадного биполярного ОУ изображена на рис. 26. В схеме ОУ нет ни одного компонента, соединённого с «землёй». Этим она существенно отличается от схемы ММ Бойля (см. рис. 5), в которой имеется семь источников, соединённых с «землёй»:  $E_{gnd}$ ,  $V_b$ ,  $G_{cm}$ ,  $G_a$ ,  $H_{lim}$ ,  $V_{in}$  и  $V_{ip}$ . Именно в этом различии заключается причина аномального поведения ММ Бойля ОРА132/ВВ в схеме на рис. 16, рассмотренной выше в примере 1. Схема рис. 16 в случае её реализации на реальном ОУ может быть представлена функциональной схемой, изображённой на рис. 27а. Эта же схема в случае использования в ней схемы замещения ОУ (ММ Бойля) может быть представлена функциональной схемой (см. рис. 27б).

На схемах (рис. 27) жирными линиями со стрелками показаны контуры, по которым протекают токи  $I_{RL}$  нагрузки ОУ и ММ ОУ. В первом случае ток  $I_{RL}$  нагрузки протекает по контуру: плюсовой вывод источника питания  $V_{s1}$ ,

p–n–p-транзистор ВыхК ОУ, сопротивление нагрузки  $R_L$ , минусовой вывод источника питания  $V_{s1}$ . Во втором случае ток нагрузки замыкается по контуру: внутренняя «земля» ММ ОУ, управляемый источник E1, сопротивление нагрузки  $R_L$ , резистор R1 делителя напряжения, внешняя (по отношению к ММ ОУ) «земля». Теперь причина аномального поведения схемы рис. 16 ста-

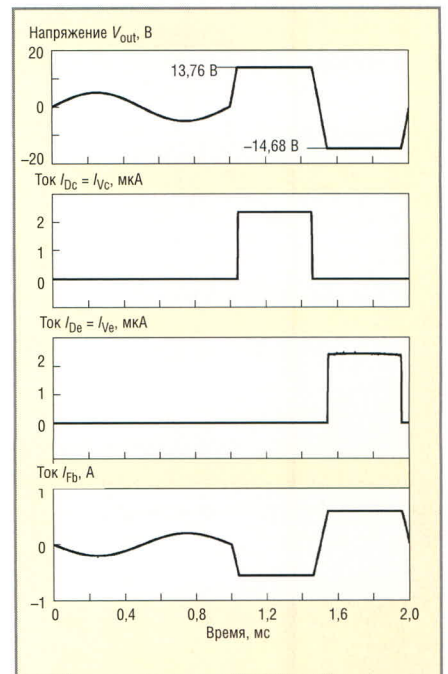


Рис. 23. Результаты PSpice-анализа схемы, моделирующей механизм ограничения выходного напряжения ММ ОУ (рис. 22)

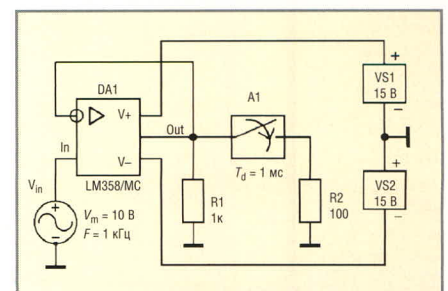


Рис. 24. Схема, моделирующая механизм ограничения выходного тока ММ ОУ



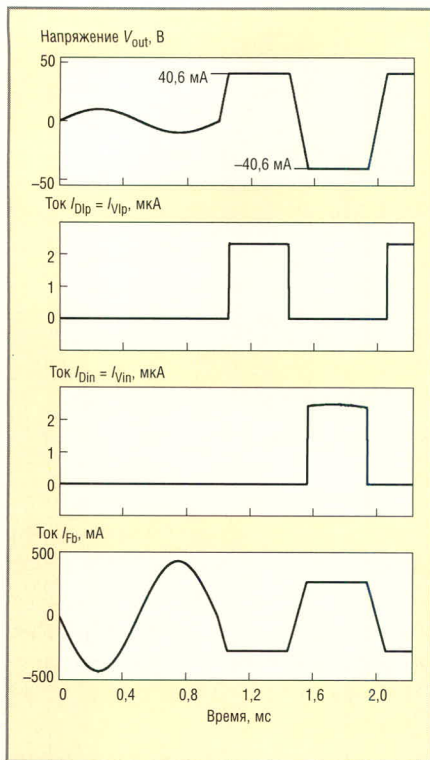


Рис. 25. Временные диаграммы ограничения выходного тока ММ ОУ

новится очевидной – через резистор R1 делителя напряжения протекает ток нагрузки ММ ОУ, величина которого зависит от сопротивления резистора RL. Совершенно очевидно, что этот ток существенным образом влияет на величину падения напряжения на резисторе R2, чем, собственно, и объясняется anomalous поведение схемы рис. 16. Рассмотренная проблема использования ММ Бойля возникает в тех случаях, когда общая точка источников питания ОУ не является точкой заземления моделируемой схемы.

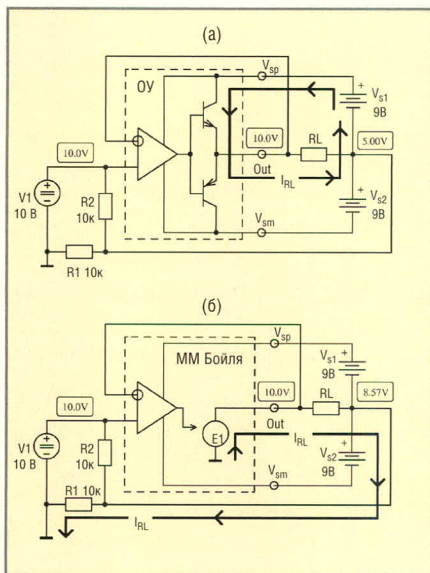


Рис. 27. Функциональная схема реального ОУ (а) и схема замещения ММ Бойля (б)

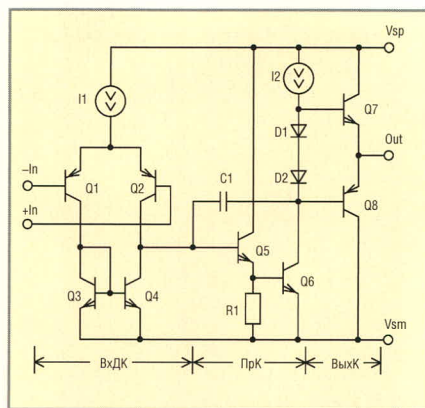


Рис. 26. Упрощённая принципиальная схема типичного двухкаскадного биполярного ОУ

С «далёкой землёй» связана ещё одна проблема ММ Бойля. На рис. 28 изображена схема («плавающий» повторитель напряжения с закороченным входом), в которой потенциал общей точки источников питания равен напряжению источника переменного напряжения V\_float.

Если в этой схеме используется реальный ОУ, не имеющий электрических связей с «землёй» схемы, то цепь источника V\_float разомкнута и ток через него не протекает. В этом случае переменные напряжения всех узлов «плавающей» схемы (в том числе и внутренних узлов ОУ) равны напряжению источника V\_float, а разности узловых напряжений схемы на переменном токе равны нулю. Ситуация меняется, когда ОУ «плавающей» схемы представлен ММ Бойля. В этом случае протекает переменный ток по контуру: внешняя «земля», источник V\_float, резистор RL и выводы ММ ОУ, внутренние «земли» ММ ОУ. В результате протекания тока через резистор RL нагрузки ОУ на нём возникает падение напряжения V\_RL. На рис. 29 изображены графики частотных зависимостей тока, протекающего через источник V\_float и отношения напряжения V\_RL = V(A) – V(B) на нагрузке ОУ (на резисторе

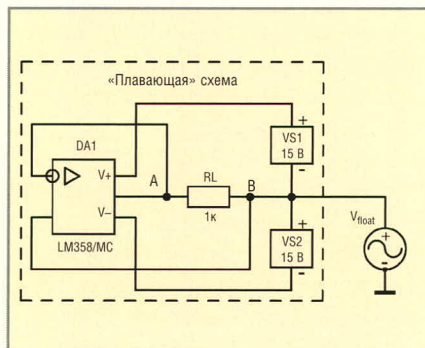


Рис. 28. Схема «плавающего» повторителя напряжения с закороченным входом

RL) к напряжению источника V\_float (выраженного в децибелах).

Указанное отношение по существу является коэффициентом подавления (ослабления) схемой «плавающего» напряжения. Из рис. 29 следует, что при увеличении частоты степень подавления «плавающего» напряжения уменьшается и на частоте, приблизительно равной частоте единичного усиления ОУ, напряжения V\_RL и V\_float имеют равные величины.

Вернёмся к рис. 27. В ММ Бойля ток нагрузки I\_RL не протекает через источник питания ОУ V\_s1 и V\_s2. Через выводы схемы ММ, к которым подключаются источники питания ОУ, протекает только постоянный ток, величина которого не зависит от тока нагрузки и определяется соотношением:

$$I_Q = I_{EE} + \frac{V_{SP} + V_{SM}}{R_p}, \quad (30)$$

где: I\_EE, R\_p – ток источника I\_ee и сопротивление резистора R\_p схемы замещения ОУ (см. рис. 5); V\_SP, V\_SM – величины напряжений источников питания ММ ОУ.

Обычно в формуле (30) первое слагаемое пренебрежимо мало по сравнению со вторым, и, следовательно, величина тока I\_Q находится в прямой зависимости от размаха питающих ОУ напряжений. Это является весьма грубым приближением к действительности, поскольку величины тока I\_Q многих ОУ (LM358, OPA1013, OP-97) очень незначительно зависят от питающих напряжений, но у некоторых типов ОУ (OPA27/37, OP193) существенно зависят от температуры. Вывод: в общем случае ММ Бойля точно моделирует ток потребления ОУ в режиме покоя только при фиксированных величинах питающих напряжений и температуры.

В реальном ОУ токи I\_SP, I\_SM потребления от источников положительно-

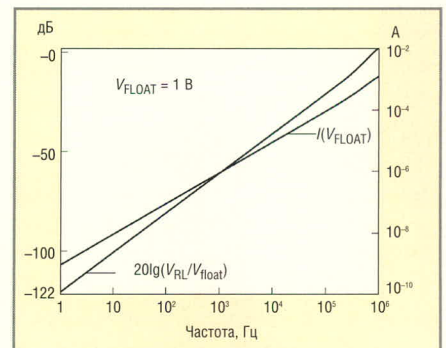


Рис. 29. Графики частотных зависимостей тока



го и отрицательного напряжений питания определяются выражениями:

$$I_{SP} = \begin{cases} I_Q + I_{RL} & \text{если ток } I_{RL} \text{ нагрузки} \\ & \text{вытекает из ОУ} \\ I_Q & \text{если ток } I_{RL} \text{ нагрузки} \\ & \text{втекает в ОУ} \end{cases} \quad (31)$$

$$I_{SM} = \begin{cases} I_Q & \text{если ток } I_{RL} \text{ нагрузки} \\ & \text{вытекает из ОУ} \\ I_Q + I_{RL} & \text{если ток } I_{RL} \text{ нагрузки} \\ & \text{втекает в ОУ} \end{cases} \quad (32)$$

Из сказанного следует, что ММ Бойля моделирует только статическую составляющую  $I_Q$  тока потребления ОУ и не моделирует динамическую составляющую  $I_{RL}$  этого тока, или, иными словами, ММ Бойля не моделирует динамику тока потребления ОУ.

Теперь причины неадекватного поведения ММ Бойля ОРА-37/ЛТ в схеме рис. 3 совершенно очевидны.

### Реверс фазы выходного напряжения ОУ

Многие «старые» ОУ (LF351, LF355, LF411, TL081, OP15, OP2111 и т.д.) имеют существенный недостаток – в неинвертирующем включении они реверсируют фазу выходного сигнала в тех случаях, когда входной сигнал выходит за регламентированные пределы синфазного напряжения. Причина этого явления заключается в том, что простой дифференциальный каскад при большом уровне входного синфазного сигнала инвертирует знак коэффициента передачи (см. рис. 9). Простые дифференциальные каскады, реализованные на п–р–п ВJT и JFET с п-каналом, инвертируют сигнал при большом уровне положительного входного сигнала, а каскады, в которых используются р–п–р ВJT и JFET с р-каналом, инвертируют сигнал при большом уровне отрицательного синфазного сигнала на входе. В схемах большинства современных ОУ (LT1022, LT1055/6, ОРА130/1/2, ОРА627/37, TLE2141/2/4 и т.д.) предусмотрены специальные меры защиты, которые исключают реверс фазы их выходного напряжения во всех допустимых режимах работы. ММ Бойля всегда моделирует эффект реверса фазы, поскольку в ней используется простой ВхДК и не предусмотрено никаких мер, исключаящих инверсию знака его коэффициента передачи. Вывод: ММ Бойля адекватно моделирует работу ОУ, не имеющих защиты от реверса фазы выходного напряжения, и неадекватно модели-

рует поведение ОУ, имеющих указанную защиту.

На рис. 30 изображены временные диаграммы, полученные в результате анализа схемы повторителя напряжения, в котором использовались ММ Бойля ОРА27/ВВ и LM358/МС. Питание повторителя осуществлялось напряжением  $\pm 15$  В.

### Об использовании программы PSpice Model Editor

Программа PSpice Model Editor, входящая в комплект поставки САПР OrCAD 9.2, по задаваемым пользователем параметрам ОУ автоматически создаёт описание ММ Бойля ОУ на входном языке PSpice [20]. Опыт использования этой программы показал, что величины некоторых параметров сгенерированной ММ ОУ существенно отличаются от величин, задаваемых пользователем. Сказанное в первую очередь относится к следующим параметрам ММ ОУ:

- $f_{-0dB}$  – частота единичного усиления ОУ;
- $Phi$  – запас устойчивости ОУ по фазе.

Так, например, в результате тестирования созданной программой Model Editor ММ ОУ с р–п–р ВJT на входе и желаемыми значениями  $f_{-0dB} = 1$  МГц и  $Phi = 60$  были получены следующие результаты:  $f_{-0dB} = 0,889$  МГц и  $Phi = 62,74$ . Приблизить фактические параметры ММ ОУ к желаемым можно методом последовательных приближений (итераций), осуществляя несколько прогонов программы Model Editor с уточнёнными (по результатам тестирования фактических параметров ММ, полученной в предыдущем прогоне программы) величинами параметров  $f_{-0dB}$  и  $Phi$ . В результате четырёх итераций (при задании на последнем прогоне программы желаемых величин  $f_{-0dB} = 1,16$  МГц и  $Phi = 56,3$ ) автору удалось получить следующие фактические параметры ММ:  $f_{-0dB} = 1,003$  МГц и  $Phi = 59,91$ .

Таблица 4. Фактические значения  $R_{IN D}$  и  $I_B$  для некоторых ММ Бойля и типовые величины этих параметров

Имя ММ	Результаты тестирования ММ		Паспортные данные ОУ	
	$R_{IN D}$ , МОм	$I_B$ , нА	$R_{IN D}$ , МОм	$I_B$ , нА
TLE2141/301/П	1,49	696	65	700
ОРА1013/ВВ	10,1	8,96	300	7
ОРА234Е/ВВ	1,82	49,9	10	12...25
ОР-07/ЛТ	83,1	1,00	20	1

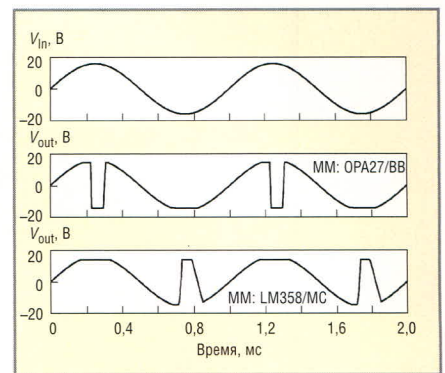


Рис. 30. Временные диаграммы анализа схемы повторителя напряжения

Существенный недостаток программы Model Editor заключается в том, что в список параметров, задаваемых пользователем, не входит дифференциальное входное сопротивление  $R_{IN D}$  ОУ на постоянном токе. Эксперименты с программой Model Editor показали, что при прочих равных условиях величина  $R_{IN D}$  ММ биполярных ОУ находится в обратной зависимости от задаваемой пользователем величины входного тока  $I_B$  ОУ. В таблице 4 приведены фактические значения  $R_{IN D}$  и  $I_B$  для некоторых ММ Бойля, полученные в результате тестирования ММ, а также типовые величины этих параметров (данные из DataSheet).

Данные табл. 4 показывают, что с точностью моделирования  $R_{IN D}$  имеются серьезные проблемы. Однако при правильном выборе полных сопротивлений цепи ОС входное сопротивление ОУ  $R_{IN D}$  обычно влияет на характеристики схемы весьма незначительно и только на достаточно низких частотах  $F$ , на которых выполняется условие:

$$R_D > \frac{1}{2\pi F C_D}$$

где:  $C_D$  – дифференциальная входная ёмкость ОУ.

Следует особо подчеркнуть, что последние версии программы Model Editor генерируют описание усовершенствованной ММ Бойля, которая



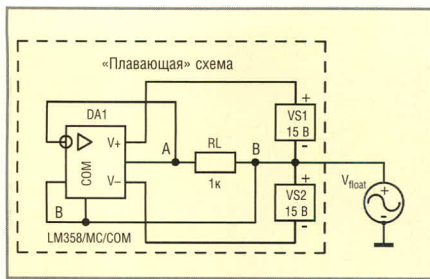


Рис. 31. Модифицированная схема

позволяет моделировать напряжение  $V_{OS}$  смещения и разность входных токов  $I_{BOS}$  ОУ (желаемые величины этих параметров программа запрашивает у пользователя). В случае биполярного ОУ моделирование  $V_{OS}$  и  $I_{BOS}$  достигается за счёт разбаланса величин параметров  $I_s$  и  $B_f$  в описаниях моделей qx1, qx2 транзисторов Q1, Q2 ВхДК, а в случае ОУ с JFET на входе – за счёт разбаланса величин параметров  $I_s$  и  $V_{to}$  в описаниях моделей jx1, jx2 транзисторов j1, j2.

### СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ ММ Бойля

#### Моделирование входных паразитных ёмкостей ОУ

Модификация ММ Бойля, позволяющие моделировать входные паразитные ёмкости ОУ, рассмотрим на двух примерах.

Добавьте в описание ММ OPA132/BB три следующие строки:

```
Cd      1  2  2E-12 ; My Addition
CcmP    1  0  3E-12 ; My Addition
CcmM    2  0  3E-12 ; My Addition
```

Теперь доработанная ММ OPA132/BB моделирует типовые величины дифференциальной ( $C_D = 2$  пФ) и синфазной ( $C_{CM} = 6$  пФ) составляющих входной ёмкости ОУ OPA132 [21]. Процедура изменения величин емкостей  $C_d$ ,  $C_{cmP}$ ,  $C_{cmM}$  средствами редактора Edit Instance Model (Text) описана [1].

Параметры ОУ имеют значительный производственный разброс. Для оценки воспроизводимости (повторяемости параметров) проектируемой схемы крайне важно проанализировать её характеристики не только при типовых, но и при крайних значениях параметров ОУ. Наиболее наглядные и информативные результаты получаются при многовариантном анализе схемы, при завершении которого на экран дисплея выводится семейство характеристик,

полученных для ряда значений одного из параметров ММ ОУ, варьируемого в заданных пользователем пределах с заданным шагом или множителем приращения [1]. Выполнение многовариантного анализа схемы, в процессе которого варьируется величина ёмкости  $C_D$  или  $C_{CM}$ , существенно упрощается, если величины указанных емкостей заданы через параметры ММ ОУ. Из библиотеки burr\_brn.lib скопируйте в библиотеку пользователя (у меня она называется my\_opa.lib) описание ММ OPA134/BB. Откорректируйте директиву .subckt и добавьте в описание ММ три строки:

```
*My Correction MM OPA134/BB
30.04.03
.subckt OPA134/MY 1 2 3 4 5
+params: Cd=2pF Ccm=5pF
*
Cd      1  2  {Cd}
CcmP    1  0  {0.5*Ccm}
CcmM    2  0  {0.5*Ccm}
.....
.ends subckt OPA134/MY
```

Теперь величины емкостей  $C_D$  и  $C_{CM}$  ММ OPA134/My можно оперативно изменять в процессе анализа схемы (в том числе и многовариантного) непосредственно в окне редактора принципиальных схем PSpice Schematics, не прибегая при этом к редактированию описания ММ. Указанным способом целесообразно модифицировать описания тех ММ ОУ, которые вы часто используете в своих разработках.

#### Решение проблем, связанных с «далёкой землёй» схемы

Из результатов проведённого выше анализа следует, что для решения проблем моделирования «плавающих» ОУ (проблем «далёкой земли») достаточно все выводы внутренних компонентов ММ ОУ отсоединить от глобальной «земли» анализируемой схемы и подключить их к общей точке источников питания ОУ. Существует два способа сделать это. Для реализации первого способа необходимо:

- в описании ММ ОУ все вхождения имени «0» узла глобальной аналоговой «земли» схемы заменить новым произвольным локальным именем узла (например, именем «COM») и переименованный узел электрически соединить с дополнительным внешним выводом ММ;
- в графическом представлении анализируемой схемы (в окне PSpice

Schematics) дополнительный внешний вывод ММ ОУ соединить отдельным проводником с узлом, который является общим для источников питания ОУ.

Для реализации второго способа необходимо:

- в описании ММ ОУ все вхождения имени «0» узла глобальной аналоговой «земли» схемы заменить новым глобальным именем узла, например, именем «\$G\_COM» (напомню, что в PSpice имена глобальных узлов имеют префикс «\$G\_»);
- такое же глобальное имя (в нашем примере «\$G\_COM») присвоить узлу анализируемой схемы, который является общим для источников питания ОУ.

Ниже приведены те строки описания ММ LM358/MC, которые необходимо отредактировать для того, чтобы получить описание модифицированной ММ LM358/MC/COM с дополнительным внешним выводом COM.

```
.subckt LM358/MC/COM 1 2 3 4
+5 COM
.....
Egnd 99 COM poly(2) (3,COM)
+(4,COM) 0 .5 .5
Ga 6 COM 11 12 41.47E-6
Gcm COM 6 10 99 414.7E-12
Vb 9 COM dc 0
.....
.ends LM358/MC/COM
```

Жирным шрифтом выделены имена «COM» локального узла модифицированной ММ, которые замещают имена «0» узла глобальной аналоговой «земли» исходной ММ. Вполне допустимо, что источники  $I_{lim}$ ,  $V_{in}$ ,  $V_{ip}$  схемы замещения ММ ОУ остаются подключенными к глобальному узлу «0», поскольку компоненты  $I_{lim}$ ,  $D_{in}$ ,  $D_{ip}$ ,  $V_{in}$ ,  $V_{ip}$  (см. рис. 5) образуют замкнутый контур. Протекание тока по этому контуру не оказывает никакого влияния на работу внешней (по отношению к ММ) схемы.

Отсутствие проблем «далёкой земли» у ММ LM358/MC/COM подтверждает сравнение результатов анализа схем, изображённых на рис. 28 и 31. Результаты анализа схемы рис. 31 представлены на рис. 32.

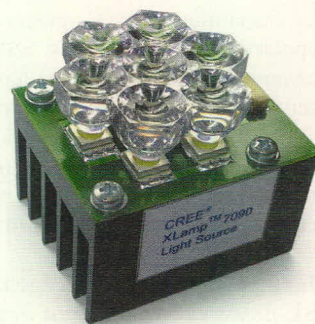
Размытость кривых на этом рисунке объясняется следующим: величины, полученные в результате анализа, настолько малы, что они соизмеримы с уровнями «цифрового шума» ЭВМ, обусловленного конечной разрядностью



Готовые к применению твердотельные источники света. Уникальная совместная разработка компании ПРОСОФТ и ведущего российского контрактного производителя – компании Fastwel

### Что такое SSL

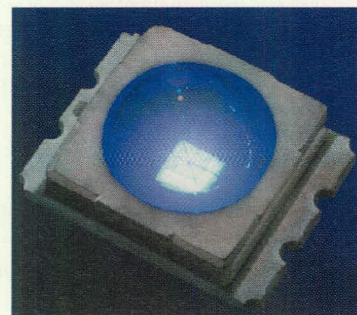
SSL (Solid State Lighting) – это устоявшаяся аббревиатура, обозначающая твердотельные (Solid State) источники света. Чаще всего сейчас её можно услышать применительно к светодиодным источникам света. Большинство людей, даже далёких от электроники, знают, что такое светодиод. Все мы не раз видели их в бытовой электронной аппаратуре, где они давно используются в качестве разноцветных индикаторов. Но не каждый знает о существовании полноценных светодиодных ламп, пригодных для любых применений.



Кластер из семи SSL-ламп XLamp™ с линзой в сборе

### В чём преимущества светодиодной лампы перед традиционными источниками света?

- Она чрезвычайно долговечна: её ресурс – около 10 лет НЕПРЕРЫВНОЙ работы.
- Она не боится вибраций, ударов, больших ускорений, поскольку практически монолитна (вспомните, она – ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ) и не содержит механически слабых элементов, таких как спираль в лампе накаливания.
- Её свет – «холодный», то есть в спектре её излучения не содержится инфракрасных лучей, невидимых для человеческого глаза, но нагревающих освещаемый объект, что для многих применений абсолютно недопустимо. Вспомните, лучшие галогенные лампы излучают до 79% энергии в виде инфракрасных лучей, а обычные лампы накаливания – до 84%!
- Она весьма экономична. Для наглядности можно сказать, что одна SSL-лампа мощностью всего 1 Вт (!) излучает приблизительно столько же света, сколько хорошая 12-ваттная галогенная лампочка. Это неоценимое достоинство для автономных систем освещения.
- Она абсолютно безопасна: напряжение питания её составляет порядка 3 В. Она может применяться во взрыво- и пожароопасных средах.
- Она компактна: габаритные размеры её составляют всего 7 × 9 мм. Это позволяет собирать в компактные «кластеры» несколько ламп и обеспечивать таким образом весьма приличную яркость свечения.
- Она полностью управляема: яркость её свечения можно плавно изменять в диапазоне от 0 до 100% с сохранением высокого КПД.
- Лампы как белого свечения с различной цветовой температурой, так и цветные, доступны уже сейчас. Вам не потребуются светофильтры, снижающие КПД ваших устройств, просто подберите требуемый цвет свечения ламп.



Твердотельная лампа серии XLamp™ 7090 производства компании CREE

Мощность – 1 Вт  
Светоотдача – до 87 лм

### Где это можно применить ?

Сейчас мы реализуем несколько проектов с применением светодиодных ламп XLamp™, где лучшей альтернативы этим источникам света нет:

- Аварийное освещение тоннелей и зданий
- Автономные источники света для работы во взрывоопасных условиях (горнодобывающая промышленность)
- Светофоры, сигнальные устройства и подсветка на железных дорогах, в авиации, в судостроении

Кроме того, эти лампы с успехом могут быть применены:

- В медицине (хирургия, стоматология), в частности в качестве источников света для мобильных операционных
- В автомобилестроении (подсветка салонов автомобилей, габаритные и стоп-сигналы, и т.д.)
- В системах архитектурной, ландшафтной и интерьерной подсветки, подсветки витрин
- В подсветке рекламных щитов, при изготовлении светодиодных панелей, световых указателей
- В профессиональном осветительном оборудовании, высококритичном к надёжности и экономичности (спасательные службы, военные, спелеологи, альпинисты, подводники, и т.д.)





## Что предлагает вам компания ПРОСОФТ?

Все сказанное выше – правда. «Почему же тогда повсеместно не заменяют обычные лампочки на эти чудо-лампы?» – спросите вы. Ответ прост. SSL-лампы с такими привлекательными характеристиками появились сравнительно недавно: американская компания CREE, мировой лидер в производстве полупроводниковых кристаллов для сверхъярких светодиодов, анонсировала начало их производства только в конце 2004 года. И, как во многих случаях крупных технологических прорывов, произошло отставание в сфере адаптации нового изделия к повседневной жизни. Наверное, почти каждый знает, что надо сделать, чтобы включить обычную лампу накаливания: есть стандартные розетки со стандартным напряжением, производится масса осветительной фурнитуры и источников питания. Заставить же работать с полной отдачей SSL-лампу – задача не такая простая.

**Мы решили её для вас, сделав применение SSL-ламп таким же простым, как и обычных.**

Участие в крупных проектах позволило нам отработать и довести до стадии готовности к промышленному производству несколько типов электронных модулей (контроллеров) для управления этими лампами. Подключить модуль управления не на много сложнее, чем собрать схему из батарейки, выключателя и лампочки. КПД их работы достигает 98%! Это весьма важно, поскольку низкий КПД схемы управления может свести на нет все преимущества экономичности самой лампы. Тщательно проанализировав все имеющиеся на рынке предложения, мы отобрали наиболее оптимальную оптику. Наконец, являясь официальным представителем компании CREE в России, мы комплектуем наши разработки её изделиями, гарантируя таким образом наилучшие параметры. Мы производим как одиночные источники света, так и готовые кластеры из SSL-ламп XLamp™ с установленными линзами.



**Образец готового изделия: линейка из трёх ламп серии XLamp™ 7090 с линзами и интегрированным управляющим контроллером для встраивания в автономные осветительные приборы**

**Мы предлагаем вам готовое решение, состоящее из ламп, управляющего контроллера и оптической системы.** Кроме того, наши разработчики могут модифицировать параметры контроллеров, кластеров ламп и линз в соответствии с вашими пожеланиями.

## Почему производство компании Fastwel?

Наш партнёр – крупный российский производитель изделий электроники компания Fastwel. Её сборочные линии – одни из самых современных по своему техническому оснащению, лучшие команды инженеров-разработчиков и технологов способны воплотить уникальные идеи в высококачественные изделия. Большой опыт успешной работы позволяет компании гарантировать высочайшее качество выполнения заказов.



**Линия поверхностного монтажа компонентов Fastwel**

## Если вы заинтересовались...

Обращайтесь, пожалуйста, к нашим специалистам, которые квалифицированно ответят на любые технические вопросы и предоставят дополнительную информацию по этой и многим другим нашим разработкам. Мы также можем предоставить вам тестовые образцы для оценки применимости изделий в ваших разработках.

**PROSOFT**®

ПРОСОФТ - АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (095) 234-0636 E-mail: info@prochip.ru WWW: www.prochip.ru



представления чисел с плавающей запятой в программе PSpice и графическом постпроцессоре Probe. Так, в частности, из рис. 32 следует, что ток  $I(V_{float})$  не превышает величины  $10^{-13}$  А (!), а коэффициент ослабления схемой «плавающего» напряжения в худшем случае составляет  $-223,6$  дБ, то есть схема подавляет «плавающее» напряжение как минимум в  $1,5 \times 10^{11}$  раз.

Второй способ модификации схем с «плавающим» ОУ, представленным ММ Бойля, рассмотрим на примере проблемной схемы (рис. 16). Для модификации схемы рис. 16 необходимо выполнить следующие действия:

- в окне PSpice Schematics выделить графический символ ОУ DA1b;
- последовательно выбрать опции меню Edit и Model...;
- в открывшемся окне Edit Model нажать кнопку Edit Instance Model (Text)...;
- в открывшемся окне Edit Model Text отредактировать четыре строки описания ММ ОРА132/BB-X в соответствии с данными:

```
EGND 99 $G_COM POLY(2)
(3,$G_COM) (4,$G_COM) 0 .5 .5
GA 6 $G_COM 11 12 402.0E-6
GCM $G_COM 6 10 99 4.020E-9
VB 9 $G_COM DC 0
```

- закрыть окно Edit Model Text нажатием кнопки ОК;
- дважды щёлкнуть мышью по проводнику, соединяющему общую точку источников питания  $V_{s1b}$ ,  $V_{s2b}$  с точкой соединения резисторов  $R_{1b}$ ,  $R_{2b}$ , и в открывшемся окне Set Attribute Value набрать строку: \$G\_COM;
- закрыть окно Set Attribute Value нажатием кнопки ОК.

Узловые напряжения, полученные в результате анализа модифицированной схемы, полностью совпадают с соответствующими узловыми напряжениями схем рис. 1а, 1в, 1г, а это означает, что результаты моделирования модифицированной схемы рис. 1б соответствуют действительности.

### Моделирование динамики тока потребления ОУ

Рассмотрим работу схемы, изображённой на рис. 33, полагая ток источника  $I_1$  равным нулю.

Управляемые источники  $F1$ ,  $F2$ ,  $F3$  являются повторителями тока, поскольку они имеют единичные коэффициенты  $K_i$  передачи тока. По пути к

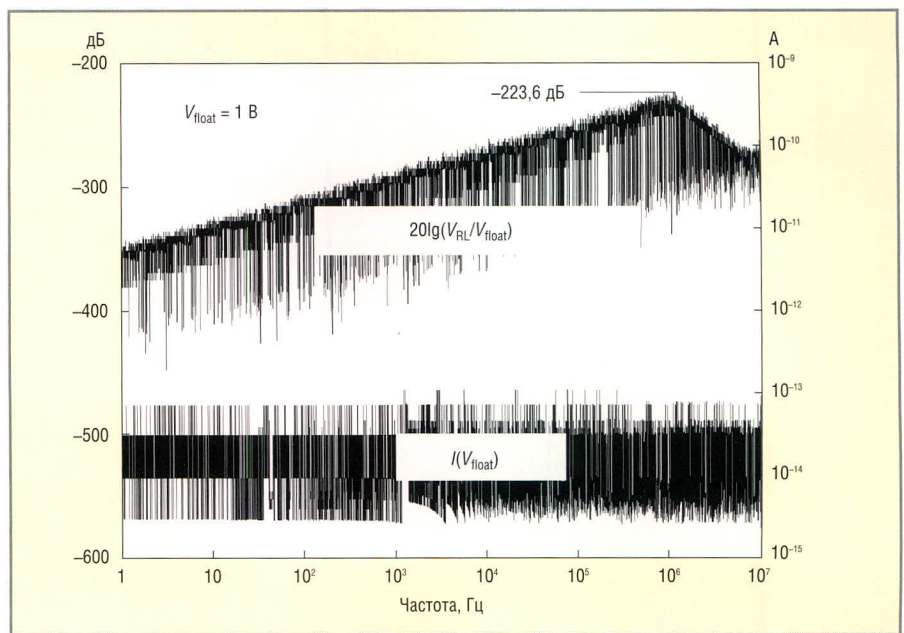


Рис. 32. Результаты анализа модифицированной схемы (рис. 31)

нагрузке выходной ток  $I_{RL}$  ОУ DA1 протекает через сенсор повторителя тока  $F1$ , и, следовательно, ток такой же величины протекает в выходной цепи ИТУТ  $F1$ . Очевидно, что если ток  $I_{RL}$  вытекает из ОУ DA1, то выходной ток ИТУТ  $F1$  протекает через диод  $D1$  и сенсор повторителя тока  $F2$ , что в свою очередь вызывает протекание тока  $I_{RL}$  в контуре: минусовой вывод источника питания  $VS1$  («земля» схемы), источник питания  $VS1$ , выходной источник тока ИТУТ  $F2$ , «земля» схемы. Если ток  $I_{RL}$  втекает в ОУ DA1, то выходной ток ИТУТ  $F1$  протекает через диод  $D2$  и сенсор повторителя тока  $F3$ , что в свою очередь вызывает протекание тока  $I_{RL}$  в контуре: «земля» схемы, выходной источник тока ИТУТ  $F3$ , источник питания  $VS2$ , «земля» схемы. Из сказанного следует, что часть схемы, выделенная пунктирным прямоугольником, моделирует динамику тока потребления ОУ DA1. ОУ, представленный в схеме ММ Бойля, потребляет от каждого из источников  $VS1$ ,  $VS2$  постоянный ток  $I_Q$ , и, следовательно, результирующие токи источников питания соответствуют токам потребления реального ОУ, которые определяются формулами (31), (32). Для удобства практического использования рассмотренного технического решения моделирования динамики тока потребления ОУ необходимо часть схемы рис. 33, выделенную пунктирным прямоугольником, преобразовать в ММ. В описании указанной ММ имена узлов совпадают с именами узлов схемы рис. 33:

```
* Addition to OPA for Modeling
* Dynamic Isupply
.SUBCKT OPA_Isupply in out vsp
+vsm
+params: I0=0
Vsens1 in out 0.0
F1 0 a Vsens1 1.0
Vsens2 b 0 0.0
F2 vsp 0 Vsens2 1.0
Vsens3 0 c 0.0
F3 0 vsm Vsens3 1.0
I1 vsp vsm {I0}
D1 a b Dmod
D2 c a Dmod
.model Dmod D()
.ENDS OPA_Isupply
```

Выше (см. пример 3) мы установили, что при использовании в схеме рис. 3 макромодели OP-37/LT результаты моделирования оказываются неверными. Схема, приведённая на рис. 34, отличается от схемы рис. 3 только наличием дополнительного функционального блока A1, который является графическим символом ММ OPA\_Isupply.

Результаты анализа схемы рис. 34 корректны (совпадают с результатами анализа схемы рис. 3 для случая

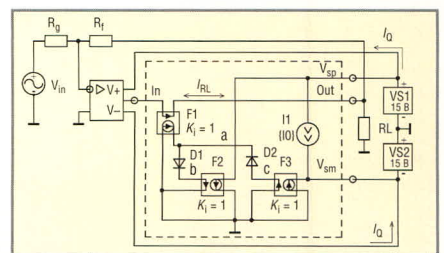


Рис. 33. Схема, моделирующая динамику тока потребления ОУ



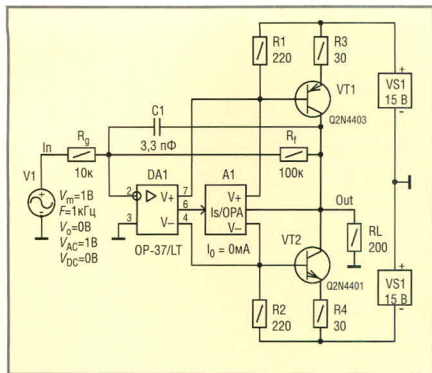


Рис. 34. Скорректированная схема рис. 3

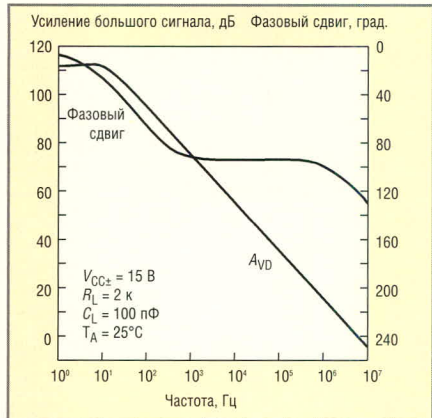


Рис. 35. Графики АЧХ и ФЧХ ОУ семейства TLE2141/2/4

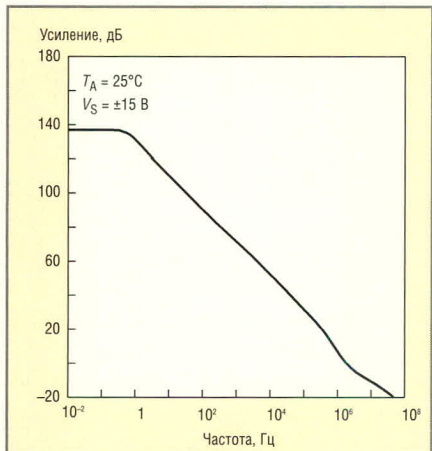


Рис. 36. График АЧХ ОУ LT1169

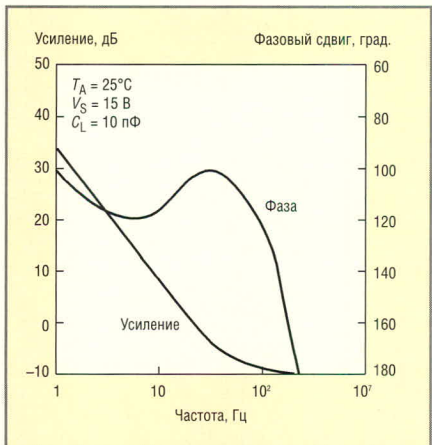


Рис. 37. Детализированные в ВЧ-диапазоне АЧХ и ФЧХ ОУ LT1169

использования в ней более совершенной ММ OP-37/AD). Параметр  $I_0$  макромодели OPA\_Isupply позволяет задавать и оперативно изменять величину постоянного тока, вытекающего в вывод V+ и вытекающего из вывода V- блока A1. Это обеспечивает дополнительную гибкость использования ММ OPA\_Isupply. Выше отмечалось, что ММ Бойля неточно моделирует изменения тока  $I_Q$ , обусловленные изменениями напряжений питания ОУ и температуры. В схемах, подобных схеме рис. 34, параметр  $I_0$  макромодели OPA\_Isupply позволяет оперативно задать поправку на величину тока  $I_Q$  ММ ОУ: при  $I_0 > 0$  эквивалентное значение  $I_Q$  увеличивается на величину  $I_0$ , а при  $I_0 < 0$  – уменьшается.

### НЕРАЗРЕШИМЫЕ ПРОБЛЕМЫ ММ Бойля

В предыдущем разделе было показано, что некоторые проблемы использования ММ Бойля могут быть успешно преодолены. Однако не существует простых способов устранения следующих её недостатков:

- ММ Бойля по причине двухполосного характера её передаточной функции не позволяет точно моделировать АФЧХ современных широкополосных ОУ (в частности, ОУ с немонотонной ФЧХ);
- ММ Бойля не моделирует зависимость КОСС от частоты.

ММ Бойля достаточно точно моделирует частотные свойства реального ОУ, если частоты его полюсов и/или нулей передачи, не учитываемых ММ, в десять и более раз превышают частоту единичного усиления ОУ [1]. К сожалению, в технической документации не приводятся частоты полюсов/нулей передачи ОУ, и поэтому вывод о возможности использования ММ Бойля для моделирования каждого конкретного типа ОУ приходится делать на основании анализа графиков его АФЧХ, которые обычно приводятся в DataSheet. Здесь трудно дать однозначные рекомендации, но для того, чтобы ММ Бойля точно моделировала частотные свойства ОУ, зависимость фазового запаздывания ОУ от частоты должна обязательно иметь монотонный характер. ОУ TLE2141 является типичным примером усилителя, частотные свойства которого достаточно точно моделирует ММ Бойля. Графики АЧХ и ФЧХ ОУ семейства TLE2141/2/4, заимствованные из [22], изображены на рис. 35.

Большинство современных ОУ имеют классическую внутреннюю частотную компенсацию, которая осуществляется охватом емкостной ООС промежуточного каскада ОУ (конденсатор C1 в схеме на рис. 26). Выбор степени частотной компенсации является компромиссом между шириной полосы пропускания и запасом устойчивости ОУ по фазе: чем больше величина  $P_M$  запаса устойчивости, тем меньше частота  $F_T$  единичного усиления ОУ, и наоборот. В общем случае для ОУ с классической частотной компенсацией справедливо следующее утверждение: чем больше величина запаса устойчивости ОУ по фазе, тем точнее его частотные свойства моделируются ММ Бойля. Однако имеется ряд ОУ (OPA604, LT1169, OPA27 и др.), в которых используются более изощренные методы частотной компенсации, позволяющие поднять усиление ОУ на средних частотах. Эти способы частотной компенсации имеют свои достоинства, недостатки и специфические особенности. На графике (см. рис. 36) АЧХ ОУ LT1169 [23] хорошо видно, что на высоких частотах скорость спада усиления ОУ сначала увеличивается, а затем снова уменьшается.

Более детально АЧХ и ФЧХ ОУ LT1169 в представляющем наибольший интерес высокочастотном участке диапазона изображены на рис. 37.

Первое, что сразу бросается в глаза, – немонотонность ФЧХ. Усилители, реализованные на ОУ с немонотонными ФЧХ, при определённых условиях обладают интересным свойством – они имеют минимальный запас устойчивости по фазе при глубине ООС, меньшей единицы. Так, в частности, из рис. 37 следует, что неинвертирующий усилитель, реализованный на ОУ LT1169, имеет минимальный запас устойчивости по фазе, приблизительно равный  $62^\circ$ , при усилении  $|T|_{дБ} \approx 15,6$  дБ (6 раз), и при этом частота среза усилителя находится в диапазоне значений 500...600 кГц. В то же время ОУ LT1169 в схеме повторителя напряжения (глубина ООС равна единице) имеет запас устойчивости по фазе порядка  $77^\circ$  и частоту среза, приблизительно равную 2 МГц. Из теории известно, что фазовое запаздывание минимально-фазовой цепи при увеличении частоты может уменьшаться (в некотором частотном диапазоне) только в том случае, если её передаточная функция наряду с полюсами реализует как минимум один нуль передачи. Сказанное позволяет сделать



следующий вывод: ММ Бойля, реализующая два полюса передачи, не может точно моделировать ОУ с немонотонной ФЧХ. И тем не менее, в библиотеке LTC.lib имеется ММ Бойля ОУ LT1169. На рисунке 38 приведены результаты тестирования АЧХ (кривая с меткой 1) и ФЧХ (кривая с меткой 3) этой ММ.

Сравнение этих кривых с соответствующими кривыми рис. 37 показывает следующее:

- частоты единичного усиления реального ОУ и ММ LT1169 различаются приблизительно в 2,5 раза (!);
- ошибка моделирования фазового запаздывания ОУ в диапазоне частот 300...1000 кГц превышает 25°;
- ММ достаточно точно моделирует запас устойчивости ОУ по фазе.

Можно предположить, что разработчик ММ LT1169, отчётливо понимая ограниченность возможностей ММ Бойля, принял вполне осознанное решение использовать эти возможности для точного моделирования АЧХ на низких частотах (меньших 200 кГц) и запаса устойчивости ОУ по фазе. При этом точность моделирования АФЧХ на высоких частотах была принесена в жертву ради достижения указанных выше целей.

Возникает крайне интересный вопрос: сколько полюсов и нулей должны быть реализованы в ММ для того, чтобы она удовлетворительно моделировала частотные свойства ОУ LT1169 во всём рабочем диапазоне частот? Ответ на поставленный вопрос был получен путём параметрической оптимизации [20] АФЧХ предельно упрощённой (линейной) ММ ОУ. По данным, снятым с графиков рис. 36 и 37, были составлены таблицы желаемых значений АЧХ и ФЧХ ОУ LT1169. Цель оптимизации – минимизация величин среднеквадратических отклонений фактических значений АЧХ и ФЧХ ММ от их желаемых значений. В процессе оптимизации про-

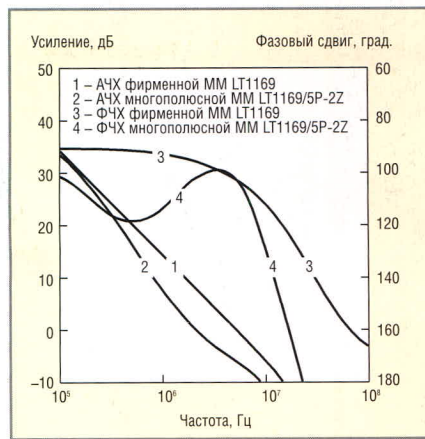


Рис. 38. Результаты тестирования АЧХ и ФЧХ ММ ОУ LT1169

грамме Optimizer [20] разрешилось варьировать величины частот всех полюсов и нулей ММ, а также величину её усиления на постоянном токе.

Задача решалась в несколько этапов. На первом оптимизировались АЧХ и ФЧХ ММ ОУ, реализующей три полюса и один нуль передачи. Затем, если результаты оптимизации оказывались неудовлетворительными, ММ усложнялась (увеличивалось на единицу количество реализуемых ею полюсов или нулей), и снова выполнялась процедура оптимизации. В конечном итоге удовлетворительные результаты были получены при реализации ММ ОУ пяти полюсов и двух нулей передачи. Достигнутые результаты (АЧХ и ФЧХ оптимизированной ММ LT1169/5P-2Z) изображены на рис. 38 (кривые с метками 2 и 4), а полученные в процессе оптимизации частоты полюсов и нулей передаточной функции ММ приведены в таблице 5.

В рабочем диапазоне частот 0... $f_T$  кривые АЧХ и ФЧХ ОУ LT1169 и многополюсной ММ LT1169/5P-2Z практически совпадают. Общий же вывод из сказанного таков: для точного моделирования частотных свойств ОУ в диапазоне частот 0... $f_T$  его ММ должна обеспечивать возможность реализации нескольких (в общем случае произвольного количества) полюсов и нулей передачи. Указанным требованиям отвечает более совершенная ММ ОУ, рассматриваемая в следующем разделе.

На рис. 39 изображена типичная зависимость КОСС ОУ от частоты (КОСС ОУ  $\mu A741$  [24]). Совершенно очевидно, что ошибка моделирования КОСС ОУ  $\mu A741$  в случае использования ММ Бойля равна нулю в диапазоне частот 0...100 Гц, но быстро увеличивается при дальнейшем увеличении частоты.

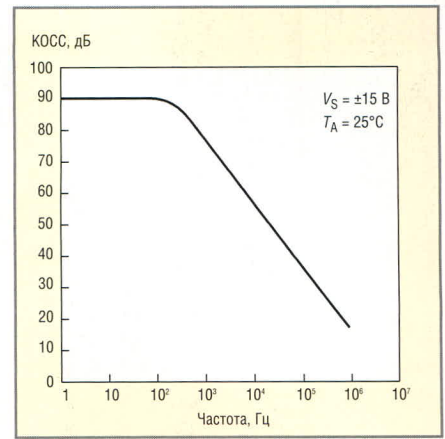


Рис. 39. Типичная зависимость КОСС ОУ  $\mu A741$  от частоты

На частотах 10 кГц, 100 кГц и 1 МГц величины указанной ошибки превышают соответственно 30, 50 и 70 дБ. Вывод: при использовании ММ Бойля результаты моделирования КОСС ОУ на высоких частотах оказываются неверными (слишком оптимистичными). Более совершенная ММ адекватно моделирует КОСС во всём рабочем диапазоне частот ОУ.

(Окончание следует)

## ЛИТЕРАТУРА

16. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. Учебное пособие для вузов. М.: Советское радио, 1976. С. 36–37.
17. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т. Т. 1. М., Л.: Энергия, 1966. С. 216–220.
18. The Monolithic Operational Amplifier: A Tutorial Study, Application Note AN-A, National Semiconductor Corp. 1995. P. 8–13.
19.  $\mu A741$ ,  $\mu A741Y$  General-Purpose Operational Amplifiers. Production Data Information SLOS094A. Texas Instruments Inc. November 1970. Revised January 1992.
20. Раевич В.Д. Система проектирования OrCAD 9.2. М.: Солон-Р, 2001. С. 146–150, 351–352.
21. High Speed FET-Input Operational Amplifiers OPA132, OPA2132, OPA4132 Product Data Sheet. PDS-309B. Burr-Brown Corp., 1995.
22. TLE214x, TLE214xA Excalibur Low-Noise High-Speed Precision Operational Amplifier. Production Data Information. SLOS183B, Texas Instruments Inc., February 1987. Revised April 2004.
23. Dual Low Noise, Picoampere Bias Current, JFET Input Op Amp LT1169. Data Sheet 1169fa. Rev. A. Linear Technology Corp., 1994.
24. General Purpose Operational Amplifier  $\mu A741/\mu A741C/SA741C$ . Product specification. 1994, Aug 31. Philips Semiconductors. ©

Таблица 5. Особые точки АФЧХ ММ

Особая точка АФЧХ ММ	Частота особой точки
Полюс № 1	$F_{P1} = 1,706090$ Гц
Полюс № 2	$F_{P2} = 329,7890$ кГц
Нуль № 1	$F_{Z1} = 974,4775$ кГц
Нуль № 2	$F_{Z2} = 3,891036$ МГц
Полюс № 3	$F_{P3} = 9,825908$ МГц
Полюс № 4	$F_{P4} = 19,78345$ МГц
Полюс № 5	$F_{P5} = 19,78438$ МГц



# Практикум программиста USB-устройств

## Часть 2. Разработка аппаратно-программного ядра USB-устройства

Дмитрий Чекунов (г. Ижевск)

Что необходимо для запуска USB-устройства? Драйвер – уже имеется. Теперь собираем типовую схему, пишем программу управления... Раз, два... включаем!

### ТИПОВАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ EZ-USB FX2LP

Для любого микроконтроллера (МК) существует типовая схема включения, в которой имеется минимальный набор элементов, обеспечивающий его работоспособность. Подобная схема практически без изменений присутствует во всех устройствах, построенных на базе этого МК, и её можно условно выделить в некое самостоятельное ядро.

Структурная схема такого ядра для нашего USB-устройства представлена на рис. 1. В его состав входят следующие элементы:

- микроконтроллер CY7C68013A;
- DC/DC-преобразователь с выходным напряжением +3,3 В;
- формирователь сигнала RESET с активным уровнем лог. 0;
- микросхема памяти с интерфейсом I<sup>2</sup>C;
- кварцевый резонатор на 24 МГц;
- разъём USB-B;
- пара переключателей и кнопка.

Подключение устройства к шине USB осуществляется с помощью разъёма USB-B. Напряжение питания

от внутреннего источника шины USB (5 В) попадает на устройство при замкнутом переключателе S1, а если переключатель разомкнут, то устройство должно иметь собственный источник питания. В обоих случаях входное напряжение поступает на DC/DC-преобразователь, который формирует рабочее напряжение питания ядра (3,3 В). При появлении рабочего напряжения запускается тактовый генератор МК, а формирователь сигнала RESET генерирует сигнал для сброса МК в начальное состояние. После окончания сигнала RESET внутренняя логика модуля I<sup>2</sup>C (встроенного в FX2LP) аппаратно осуществляет поиск подключенных микросхем с загрузочной записью. При замкнутом переключателе S3 и наличии такой записи в микросхеме памяти происходит загрузка программы в МК. Далее FX2LP регистрируется на шине USB, и устройство готово к работе.

В некоторых случаях, когда программа, записанная в микросхему памяти, имеет критические ошибки, может потребоваться отключение микросхемы от шины I<sup>2</sup>C на время за-

пуска устройства. При разомкнутом переключателе S3 память МК остаётся незагруженной, и модуль USB самостоятельно регистрируется на шине, топология устройства в таком случае будет соответствовать представленной [1, рис. 2].

Кнопка S2 позволяет оператору перезагрузить устройство без отключения его от шины USB.

Как видим, элементы, входящие в состав ядра USB-устройства, хорошо знакомы и повсеместно используются разработчиками радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому сейчас проектирование принципиальной схемы не вызовет затруднений.

На рис. 2 в качестве примера представлен один из возможных вариантов принципиальной схемы ядра. Микросхема DA1 (MAX6471UT33BD3) совмещает в себе функции DC/DC-преобразователя и формирователя сигнала RESET. Без дополнительных делителей и обратных связей эта ИС вырабатывает необходимое рабочее напряжение 3,3 В. Также у неё имеется вход для внешнего сигнала, при появлении которого формируется сигнал RESET. Микросхема DD1 (AT24C128) предназначена для хранения закодированной программы и способна вместить отформатированный код объёмом до 16 Кб. Адрес микросхемы на шине I<sup>2</sup>C соответствует единице, что определено требованиями, предъявляемыми к загрузочной микросхеме [2]. Фильтрующие конденсаторы и «подтягивающие» резисторы установлены в соответствии с общеизвестными требованиями. При использовании МК типа CY7C68013 (семейство EZ-USB FX2) конденсаторы C11 и C12 должны иметь ёмкость 22 пФ.

Представленное ядро позволяет программисту попрактиковаться в

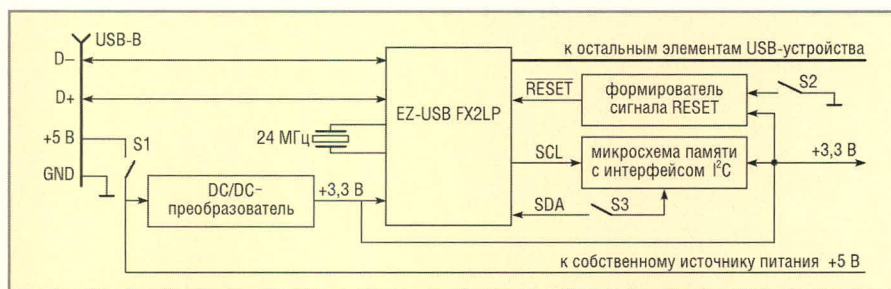


Рис. 1. Структурная схема ядра USB-устройства



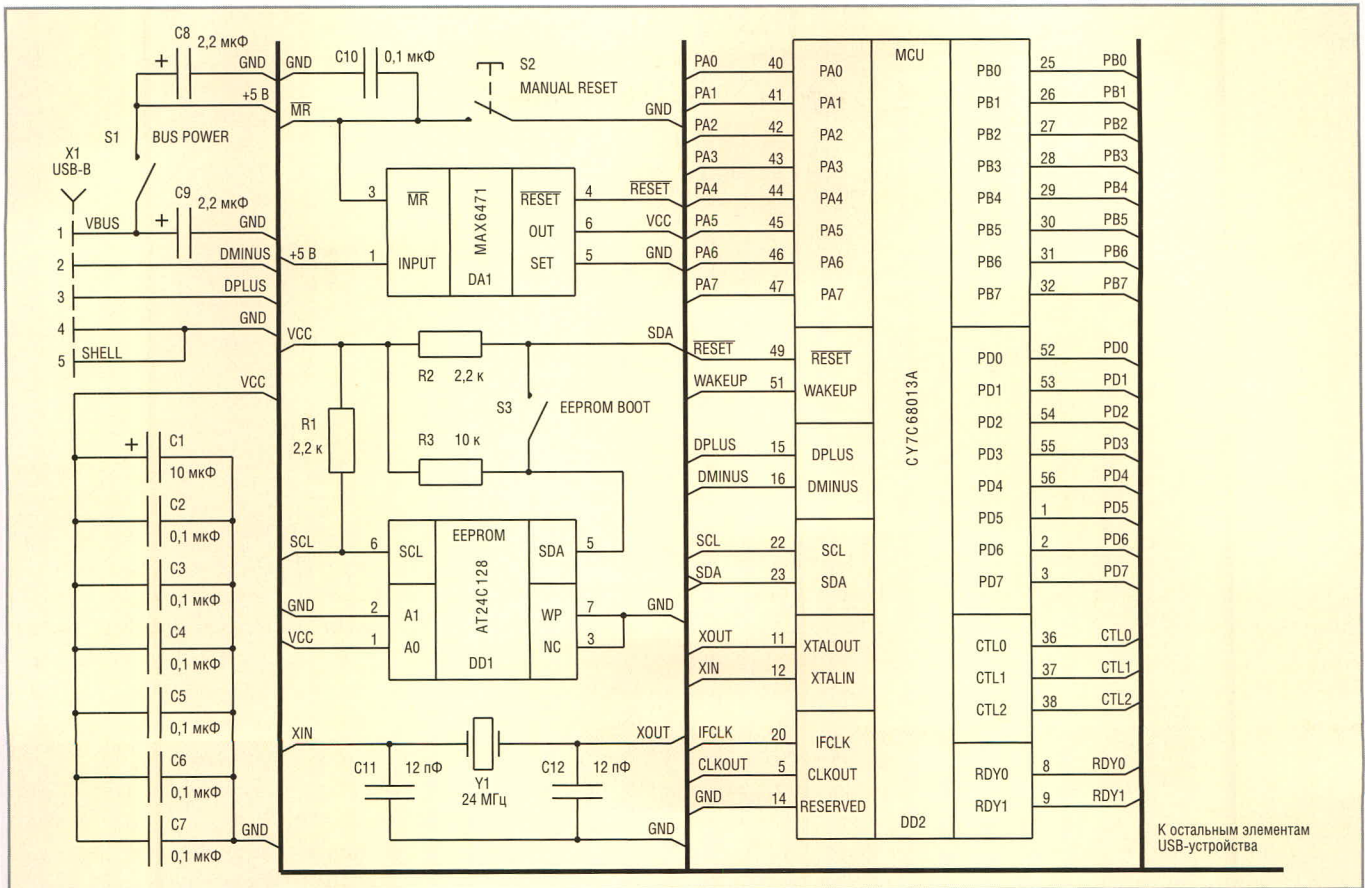


Рис. 2. Принципиальная схема ядра USB-устройства на базе CY7C68013A

обработке USB-требований и в работе «малых» точек МК.

**СТРУКТУРА ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА**

Программистам хорошо известно, что текст программы в процессе программирования разрастается очень быстро, и уже через некоторое время в длинном тексте программы сам автор начинает ориентироваться с большим трудом. Постороннему человеку разобраться в такой программе тем более сложно.

Для того чтобы наш проект был легко управляемым, а его структура – интуитивно понятной, разделим его на несколько файлов. Имя файла будет соответствовать модулю, для которого он содержит подпрограммы.

Предварительная структура программной части проекта представлена на рис. 3. Рассмотрим поподробнее назначение файлов:

- mydevice.asm – главный файл проекта. Он явно включает в себя три файла и содержит директивы для транслятора, основную таблицу векторов прерываний и короткую универсальную программу, алгоритм которой представлен на рис. 4. Ло-

гика основной программы сводится к инициализации программных переменных, отключению от шины USB, деинициализации системы прерываний (необходимо, если программа загружена через USB), инициализации устройства и системы прерываний, подключению к шине USB и закичиванию («засыпанию») с дальнейшей работой по прерываниям;

- fx2lp.asm – файл с предопределёнными именами регистров для МК семейства EZ-USB FX2LP;
- var.asm – файл, описывающий переменные программной и аппаратной частей;
- config.asm – файл конфигурации, предназначенный для быстрого добавления или удаления файла в составе всего проекта. Он явно включает в себя основную часть файлов;
- macros.asm – файл с макросами, заменяющими наборы наиболее часто используемых команд;
- util.asm – файл с вспомогательными подпрограммами общего назначения;
- table.asm – дополнительная таблица векторов прерываний для USB и GPIF/FIFO;

- system.asm – содержит подпрограммы инициализации и деинициализации системы;
- int4gpif.asm – обработчики прерывания для входа INT4 или для прерываний, формируемых модулем GPIF;
- intusb.asm – обработчики прерываний для модуля USB. Здесь содержатся обработчики для системных прерываний шины USB и для контрольных транзакций. Обработчики для прерываний, формируемых при обращениях к прочим точкам,

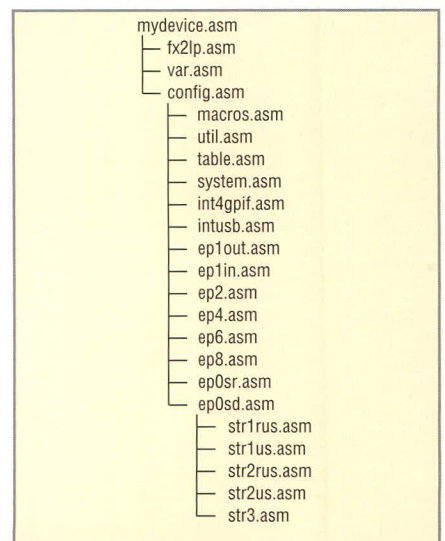


Рис. 3. Структура программной части проекта



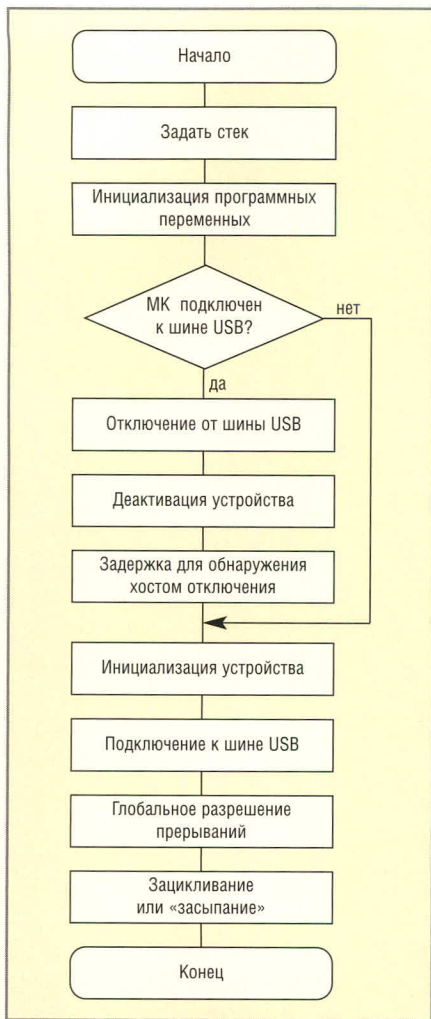


Рис. 4. Алгоритм головной программы

находятся в файлах с соответствующим номером точки;

- ep1out.asm – обработчики прерываний и подпрограммы обслуживания точки EP1OUT;
- ep1in.asm – обработчики прерываний и подпрограммы обслуживания точки EP1IN;
- ep2.asm – обработчики прерываний и подпрограммы обслуживания точки EP2, а также принадлежащего ей FIFO;
- ep4.asm, ep6.asm, ep8.asm – аналогично ep2.asm;
- ep0sr.asm – подпрограммы обслуживания стандартных требований USB (sr – Standard Requests);
- ep0sd.asm – стандартные описания свойств устройства (sd – Standard Descriptions). В него явно включены файлы с закодированными строковыми дескрипторами;
- str1rus.asm, str1us.asm – описание производителя на русском и английском языке соответственно;
- str2rus.asm, str2us.asm – название устройства на русском и английском языке соответственно;

• str3.asm – серийный номер устройства.

На первый взгляд может показаться, что структура проекта очень громоздка и контролировать состояние подпрограмм сложно. Но на начальном этапе большинство подпрограмм мы оформим в виде «заглушек», а в дальнейшем увидим, что однажды написанная подпрограмма больше не нуждается в редактировании. И, таким образом, мы получим некое программное ядро, на основе которого можно оперативно разрабатывать программы для новых устройств.

Приступим к оформлению программной части проекта. Создадим новый каталог и в нём – пустые файлы с именами, показанными на рис. 3, за исключением fx2lp.asm, который можно создать по документации [2] или взять из дополнительных материалов к статье, размещённых на сайте журнала. Скопируем в этот же каталог файл asm.bat, созданный нами ранее [1]. Итак, начнём редактирование файлов.

*Файл config.asm.* Составим в нём список включаемых файлов в соответствии с рис. 3:

```
$INCLUDE (macros.asm)
$INCLUDE (util.asm)
$INCLUDE (table.asm)
...
$INCLUDE (ep0sr.asm)
$INCLUDE (ep0sd.asm)
```

*Файл mydevice.asm.* Начинаем файл директивами для управления трансляцией и форматом листинга; набор директив каждый определяет на свой вкус. Потом включаем файлы с predetermined именами регистров и программными переменными в соответствии с рис. 3:

```
$INCLUDE (fx2lp.asm)
$INCLUDE (var.asm)
```

Далее объявляем сегмент кода и включаем файл config.asm, поскольку содержащиеся в этом файле, должны располагаться в сегменте кода:

```
CSEG AT 0
ljmp main ; переход на начало программы
$INCLUDE (config.asm)
```

Теперь осталось написать код, реализующий алгоритм, который пред-

ставлен на рис. 4, и в самом конце написать директиву:

```
END ; mydevice.asm конец
```

Эта директива служит для транслятора признаком завершения работы.

*Файл var.asm.* Зарезервируем программные переменные, которые используются в головной программе. Для переменных общего назначения будем использовать область памяти, начиная с адреса 30h:

```
DSEG AT 30h
stackPoint EQU $ ; значение для указателя стека
```

*Файл system.asm.* Создадим в нём «заглушки» для функций initSystem и haltSystem.

*Файл macros.asm.* Напишем несколько макросов для набора часто используемых команд:

- \_MOVX\_R\_ – чтение байта из внешнего ОЗУ;
- \_MOVX\_W\_ – запись байта во внешнее ОЗУ;
- \_MOVX\_W\_A\_ – запись аккумулятора во внешнее ОЗУ;
- \_SETB\_EXT\_ – установка бита во внешнем ОЗУ;
- \_CLR\_EXT\_ – сброс бита во внешнем ОЗУ;
- \_ALLOC\_DB\_ – размещение в памяти заданного количества байт;
- \_ALLOC\_DW\_ – размещение в памяти заданного количества слов.

### ВАРИАНТЫ ОРГАНИЗАЦИИ USB-УСТРОЙСТВА

О наличии встроенной аппаратной поддержки стандартных требований USB в FX2LP уже говорилось ранее [1]. Данное качество может быть весьма привлекательным для начинающих разработчиков, поскольку оно избавит их от необходимости изучать стандартные команды USB. Однако в МК существует возможность программного отключения встроенной поддержки. Казалось бы, что может дать эта возможность – только добавить «лишней» работы по изучению и кодированию обработчиков стандартных требований. Но не будем спешить с выводами и рассмотрим, какие варианты организации устройства получатся в том или ином случае.

Пусть в первом варианте устройство использует встроенную поддержку стандартных требований. Тогда



модуль USB МК самостоятельно выполняет регистрацию на шине с параметрами, которые аппаратно в нём заложены. Таким образом, и топология устройства будет определяться аппаратно (см. [1, рис. 2]). Следовательно, в данном варианте будет присутствовать простая программа, работающая по прерываниям доступных точек при фиксированной аппаратно топологии. Для простых устройств этого вполне достаточно.

Что мы имеем во втором варианте? Если встроенная поддержка стандартных требований будет отключена, то программа должна обслуживать их самостоятельно. В таком случае и все дескрипторы формирует программист. Получается, что топология задаётся программно и может быть сколь угодно сложной или напротив – простой. Следовательно, при организации устройства по второму варианту программист имеет абсолютный контроль над USB-частью МК и может создать сложное устройство или устройство, работающее по протоколу некоторого класса/подкласса.

Какой вариант организации USB-устройства наиболее предпочтителен – каждый может решить для себя сам. Но сразу замечу, что когда возникнет потребность в обслуживании дополнительных (собственных) требований, то всё равно придётся изучить логику работы контрольной точки и методы «общения» с хостом.

Наш проект будет развиваться по второму варианту, поэтому в головной программе необходимо перехватить обслуживание контрольной точки в момент подключения к шине USB. В файле `mydevice.asm` должна присутствовать строка, где выполняется установка бита `RENUM` регистра `USBCS`:

```
mov a, #2
mov dptr, #USBCS
movx @dptr, a
```

### Дополнительные возможности FX2LP

В FX2LP, как и во многих современных МК с ядром 8051, имеется два указателя на данные. В области SFR-регистров они занимают следующие адреса: `dpl`–82h, `dph`–83h, `dpl1`–84h, `dph1`–85h. Для выбора активного указателя используется регистр `dps`. Состояние его младшего бита (`SEL`) определяет ячейки, на которые спроецирован указатель `dptr`. При `SEL`,

равном нулю, команды, использующие `dptr`, будут обращаться к регистрам `dpl` и `dph`, при единице – к регистрам `dpl1` и `dph1`. Независимо от используемых указателем ячеек памяти другая пара регистров доступна и для записи, и для чтения.

Второй `dptr` весьма полезен для передачи данных во внешней памяти. Но ведущая роль для решения этой задачи принадлежит модулю автоматических указателей (`autopointers`). Данный модуль введён специалистами фирмы `Surgress` для обслуживания буферов «больших» точек, где объёмы передаваемых данных могут достигать 1024 байт.

Идея работы модуля заключается в автоматическом приращении содержания указателей при любом обращении к зарезервированным регистрам во внешнем ОЗУ.

В состав модуля входят 5 регистров специального назначения (`SFR`) и 2 регистра, расположенных во внешнем ОЗУ. Рассмотрим их назначение и логику взаимодействия.

Регистры `autoptrh1`, `autoptrl1`, `autoptrh2`, `autoptrl2` расположены в области `SFR` и организованы аналогично указателям `dptr`, то есть они хранят адрес внешней ячейки ОЗУ и загружаются, соответственно, по частям: старший байт адреса в `autoptrh1` или `autoptrh2`, а младший – в `autoptrl1` или `autoptrl2`. Каждому указателю сопоставлен регистр, расположенный во внешнем ОЗУ МК. Для `autoptrl1` это `XAUTODAT1`, а для `autoptrl2` – `XAUTODAT2`.

Управление режимами работы автоматических указателей и общее разрешение работы этой системы осуществляется с помощью регистра `autoptrsetup` (`SFR` – 0AFh). Состояние битов `APTR1INC` и `APTR2INC` в этом регистре определяет логику изменения адреса, хранящегося в указателе. Когда бит `APTR1INC` установлен, при любом обращении команды `movx` к регистру `XAUTODAT1` происходит обмен данными с ячейкой внешнего ОЗУ, адрес которой находится в `autoptrh1/autoptrl1`, и последующее автоматическое приращение этого адреса. Таким образом, циклическое обращение к регистру `XAUTODAT1` позволяет получить доступ к последовательности ячеек памяти. В случае, если бит `APTR1INC` сброшен, адрес указателя не изменяется. Аналогичные действия происходят для связки: бит `APTR2INC`,

указатель `autoptrh2/autoptrl2` и регистр `XAUTODAT2`.

Бит `APTREN` в регистре `autoptrsetup` используется для глобального разрешения (1) или запрещения (0) работы модуля автоматических указателей.

### ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРЕРЫВАНИЙ USB И GPIF/FIFO

Раньше мы уже встречали упоминание о том, что запрос на прерывание от модулей USB и GPIF/FIFO формируется множеством возможных событий, а также о том, что для быстрого вызова соответствующего обработчика существует система автоматического перехода на вектор прерывания. Сейчас рассмотрим подробно логику работы этой системы и создадим в нашем проекте условия для её функционирования.

Механизм работы системы автоматического перехода представлен на рис. 5. Как видим, в памяти программ МК имеются основная и дополнительная таблицы векторов прерываний. Векторы для прерываний USB и GPIF/FIFO в основной таблице содержат команду длинного безусловного перехода на дополнительную.

Например, при возникновении запроса `HISPEED` (переход устройства в высокоскоростной режим работы) активизируется источник прерывания модуля USB с номером 5. Этот номер заносится во временный регистр `INT2VEC` со сдвигом на 2 бита влево, что в результате даёт число, равное смещению в дополнительной таблице векторов. В нашем случае `INT2VEC` будет содержать смещение 14h.

Далее система автоматического перехода считывает команду вектора прерывания USB из основной таблицы (адреса 43h, 44h, 45h), декодирует её и на место последнего байта в адресе перехода подставляет смещение из `INT2VEC`. В результате подстановки получается новый адрес перехода (0114h), сопоставленный модулю и событию, инициировавшему прерывание. После перехода на адрес 0114h выполняется команда следующего перехода – на соответствующий обработчик прерывания (`isrHiSpeed`).

Работа системы автоматического перехода для прерываний GPIF/FIFO осуществляется аналогично, с той лишь разницей, что в качестве вре-



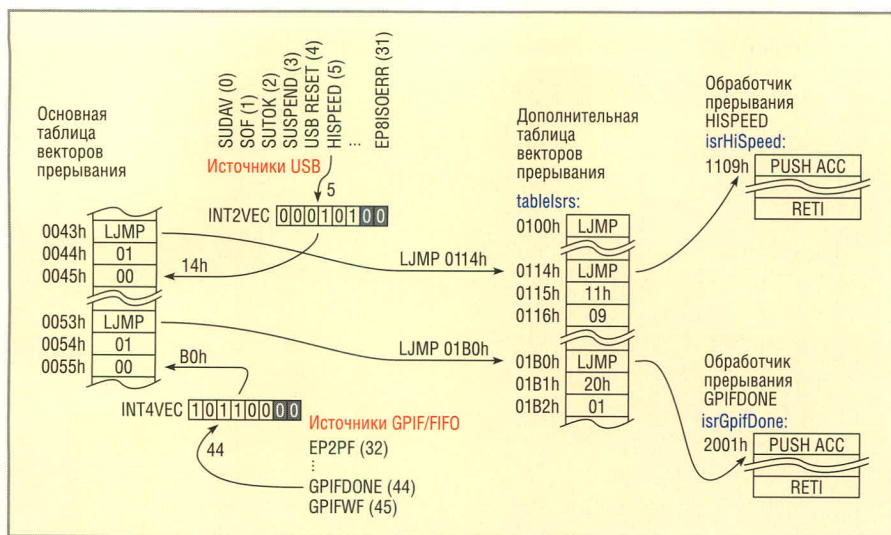


Рис. 5. Механизм работы системы автоматического перехода

менного регистра для получения смещения используется INT4VEC.

Как можно заметить, использование данной системы значительно упрощает работу программиста и освобождает его от «ручного» поиска источника прерывания.

Добавим в наш проект код, необходимый для работы системы автоматического перехода.

**Файл mydevice.asm.** Основная таблица должна находиться между переходом на начало программы и строкой включения файла config.asm. Добавим команды перехода на дополнительную таблицу:

```
ljmp main ; переход на начало программы
ORG 43h
ljmp tableIsrs
ORG 53h
ljmp tableIsrs
```

**Файл system.asm.** В функцию initSystem, используемую для инициализации всего устройства, добавим разрешение на работу системы автоматического перехода. Управление разрешением работы системы осуществляется с помощью регистра INTSETUP:

- INTSETUP.3 – разрешение для модуля USB;
- INTSETUP.0 – разрешение для модуля GPIF/FIFO.

```
mov dptr, #INTSETUP
mov a, #8
movx @dptr, a ; разрешаем автоматический переход для USB
```

Разрешаем общее прерывание для модуля USB:

```
orl eie, #1 ; разрешение общего прерывания модуля USB
```

**Файл table.asm.** Данный файл предназначен для создания дополнительной таблицы векторов прерываний. При её создании необходимо соблюдать ряд условий [3]. Во-первых, адрес начала таблицы должен быть кратен числу 100h, так как последний байт адреса будет автоматически заменён смещением. Во-вторых, для всех событий модулей USB и GPIF/FIFO используется общая таблица, так как нумерация событий сквозная. Смещение от начала таблицы до нужного вектора получается путём сдвига номера события на 2 бита влево. Нумерация событий эквивалентна их приоритетам и представляет собой последовательность: 0 – SUDAV, 1 – SOF, 2 – SUTOK, ..., 31 – EP8ISOERR, 32 – EP2PF, ..., 45 – GPIFWF (см. таблицы 2, 3 [1]). В-третьих, в дополнительной таблице каждый вектор должен содержать команду длинного безусловного перехода на подпрограмму обслуживания.

Начнём описывать таблицу, следуя вышеизложенным условиям. Для того чтобы адрес начала таблицы был кратен 100h, добавим:

```
offsetTable EQU LOW($)
IF offsetTable <> 0
ORG $ + (100h - offsetTable)
ENDIF
tableIsrs: ; обработчики прерываний по USB
```

Теперь формируем векторы прерываний. Для того чтобы заполнить пустоты между векторами, резервируем

1 байт. В неиспользуемые векторы вставляем команду перехода на пустой обработчик (isrEmpty)

```
ljmp isrSudav ; смещение 0
DB 0
ljmp isrSof ; смещение 4
DB 0
ljmp isrSutok ; смещение 8
DB 0
...
ljmp isrGpifDone ; смещение 0B0h
DB 0
ljmp isrGpifWf ; смещение 0B4h
```

В результате создания дополнительной таблицы получим множество команд перехода на несуществующие функции. Временно создадим «заглушки» для этих обработчиков с единственной командой reti. Размещение обработчиков в файлах будет следующим:

- intusb.asm – isrSudav, isrSof, isrSutok, isrSuspend, isrUsbReset, isrHiSpeed, isrEp0Ack, isrEp0In, isrEp0Out, isrIbn, isrEp0Ping, isrErrLimit;
- ep1out.asm – isrEp1Out, isrEp1Ping;
- ep1in.asm – isrEp1In;
- ep2.asm, ep4.asm, ep6.asm, ep8.asm – isrEpx, isrEpxPing, isrEpxIsoErr, isrEpxPf, isrEpxEf, isrEpxFf (где вместо x необходимо подставить числа 2, 4, 6, 8 соответственно);
- int4gpif.asm – isrGpifDone, isrGpifWf;
- table.asm – isrEmpty.

После создания всех «заглушек» можно выполнить трансляцию программы и убедиться, посмотрев файл листинга mydevice.lst, что дополнительная таблица векторов начинается с адреса, кратного 100h.

### РАБОТА КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКИ

С форматом контрольной транзакции подробно мы уже знакомы ранее [4]. На первый взгляд, этот тип передачи может показаться сложным. Но встроенный модуль USB МК выполняет аппаратно всю рутинную работу по распознаванию, подтверждению и передаче, выделяя лишь ключевые события, по которым можно чётко судить о текущем состоянии транзакции.

Формат контрольной транзакции с точки зрения МК показан на рис. 6. Рассмотрим действия, которые выполняются аппаратно, и действия, которые должен выполнить программист, работая с контрольной точкой.

В момент начала контрольной транзакции модуль USB обнаруживает



маркер запроса SETUP и формирует прерывание SUTOK. Одновременно происходит аппаратная установка бита HSNACK (регистр EPOCS), сопоставляемого маркеру подтверждения, который передаётся в фазе статуса. В этот же момент происходит сброс бита STALL (регистр EPOCS), так как фаза SETUP обязательно должна завершиться маркером ACK. Таким образом, даже если FX2LP не успевает обработать запросы, а в контрольной транзакции уже началась последняя фаза (статуса), модуль USB будет аппаратно выдавать маркер подтверждения NAK, растягивая фазу статуса до тех пор, пока FX2LP не снимет бит HSNACK.

Прерывание SUTOK используется только для отладочных целей, его появление предупреждает о возможной потере данных в буфере SETUPDAT, обусловленной предстоящим приходом пакета SETUP.

Модуль USB после приёма пакета данных SETUP и проверки его целостности помещает данные (8 байт) в буфер SETUPDAT, формирует прерывание SUDAV и подтверждает получение данных маркером ACK. В случае повреждения принятых данных соответственно не формируется прерывание SUDAV и отсутствует подтверждение ACK, что трактуется хостом как потеря пакета и вынуждает его повторить передачу.

Прерывание SUDAV является ключевым в контрольной транзакции. Начиная обрабатывать его, желательно скопировать пакет из буфера SETUPDAT в локальный буфер. Далее проверяем корректность полученного требования, определяем необходимость дополнительных данных (наличие фазы данных) и приступаем к его выполнению. Если требование некорректно, то независимо от текущей фазы (данных или статуса) устанавливаем бит STALL (регистр EPOCS). В этом случае модуль USB при первой же передаче маркера подтверждения выдаст на шину STALL, что послужит для хоста сигналом о попытке передачи недопустимого для устройства требования.

Итак, выполняем требование. Допустим, хост запросил описание устройства, что подразумевает обязательное присутствие фазы данных. Хост посылает пакеты запроса IN, пытаясь получить данные, но мы ещё не успели их подготовить. В этом случае модуль USB самостоятельно выдаёт

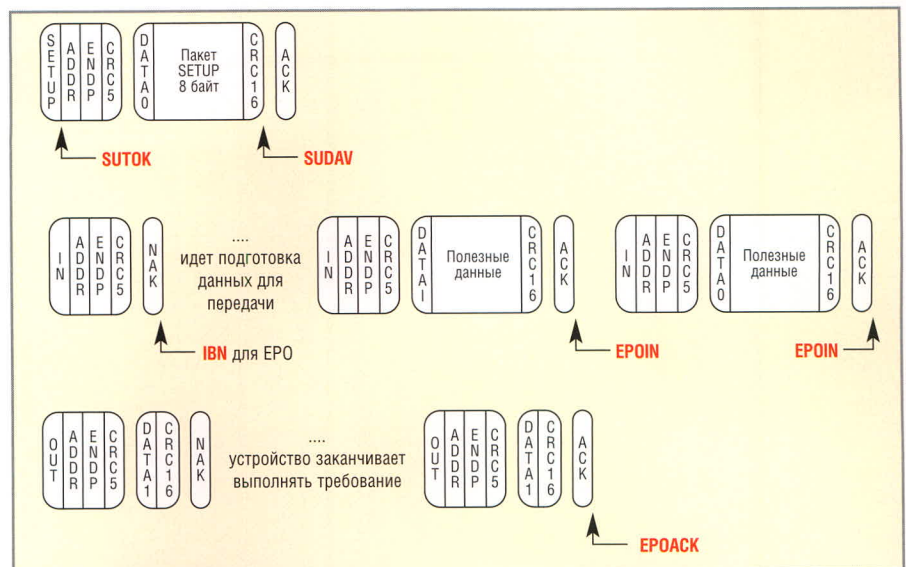


Рис. 6. Контрольная транзакция с позиции микроконтроллера

маркер подтверждения NAK и одновременно формирует прерывание IBN. Появление данного прерывания сообщает о начале фазы данных, а если сказать точнее, то об отсутствии данных в буфере точки, к которой поступает запрос IN.

Подготовленные данные можно передать двумя способами: «ручным» и автоматическим. При передаче «ручным» способом мы должны поместить максимально возможную порцию данных в буфер EPOBUF (размер 64 байта) и записать количество байт в этой порции сначала в регистр EPOVCH (старшая часть количества), а потом в EPOVCL (младшая часть). Сразу после записи в регистр EPOVCL буфер данных EPOBUF поступает под управление модуля USB, который при получении следующего запроса IN передаст пакет данных и, получив подтверждение ACK, выставит прерывание EPOIN. Буфер EPOBUF возвращается под управление МК. Прерывание EPOIN показывает, что буфер EPOBUF пуст и готов для загрузки новой порции данных.

При автоматическом способе передачи данных используется система Setup Data Pointer (SDP). Она предназначена для отправки хосту стандартных дескрипторов, и для её корректной работы необходимо, чтобы в дескрипторе устройства поле bMaxPacketSize0 имело значение 64 (максимальный размер пакета данных в одноименной фазе). Для разрешения работы системы необходимо установить бит SDPAUTO (регистр SUDPTRCTL), а для её запуска записать в регистры SUDPTRH и SUDPTRL

адрес из внешнего ОЗУ МК, где располагается соответствующий дескриптор. Система автоматически вычисляет полный объём передаваемых данных, анализируя запрошенное хостом количество байт из буфера SETUPDAT и размер дескриптора, заданный в нём самом (берётся наименьшее число). Далее система SDP подготавливает пакеты данных, помещает их в EPOBUF и передаёт для отправки модулю USB. При освобождении буфера EPOBUF в него незамедлительно помещается следующий пакет, и операция передачи повторяется. Прерывания EPOIN при использовании системы SDP не генерируются, и о завершении работы этой системы узнать невозможно, но в этом и нет необходимости, поскольку, передав дескриптор, устройство фактически выполнило требование хоста.

Программист имеет возможность узнать о полном завершении контрольной транзакции по прерыванию EPOACK. Всегда, закончив выполнять требование, необходимо снять бит HSNACK (регистр EPOCS), и тогда при следующем запросе модуль USB автоматически закончит фазу статуса маркером подтверждения ACK и сгенерирует прерывание EPOACK, что и является признаком конца контрольной транзакции.

После знакомства с механизмом работы модуля USB в части обслуживания контрольной точки можно заметить, что обработка требования сводится к анализу пакета в буфере SETUPDAT, выполнению требования (иногда присутствует передача дополнительных данных) и снятию бита



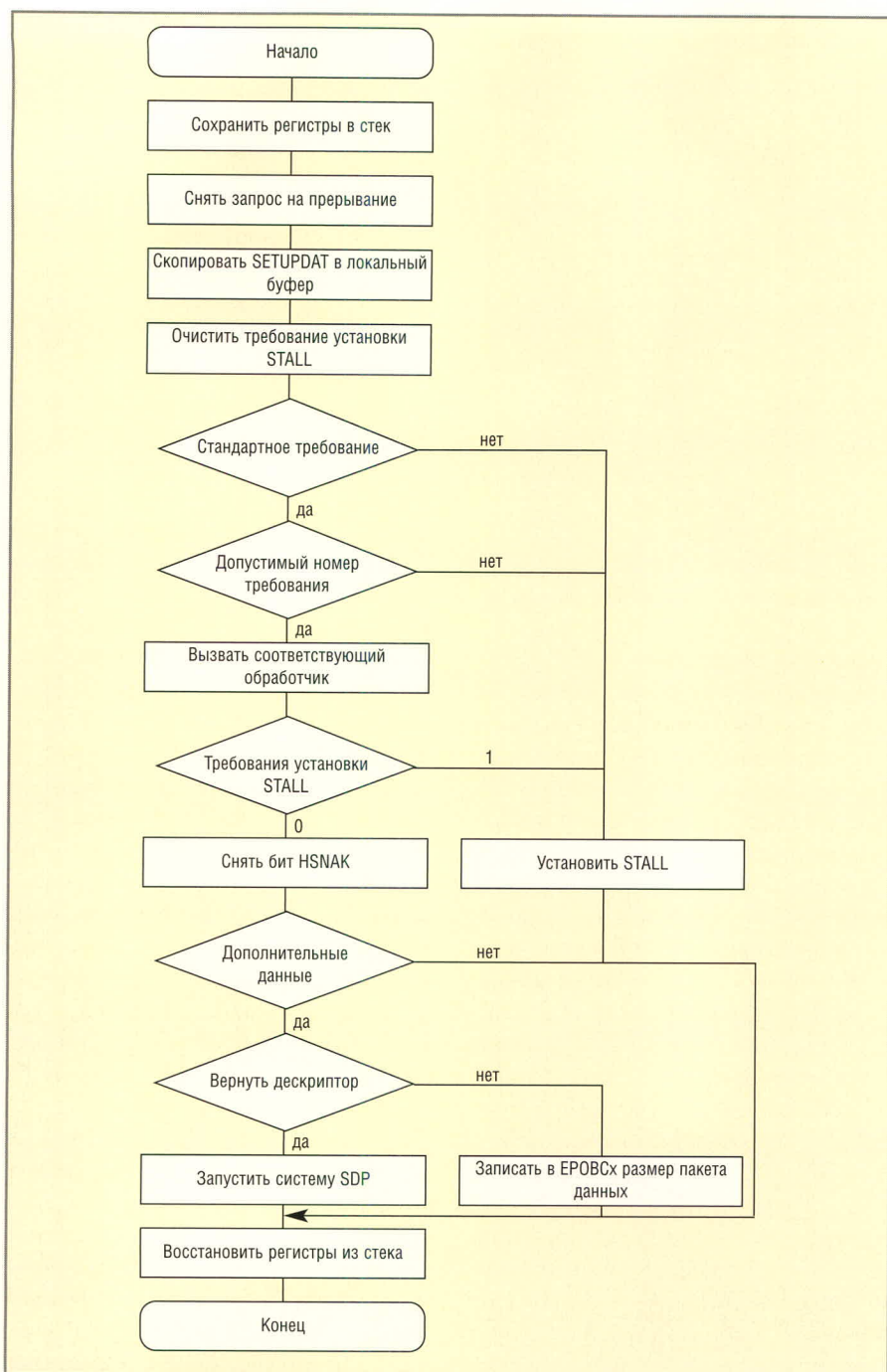


Рис. 7. Алгоритм обработки прерывания SUDAV

HSNAK для завершения контрольной транзакции.

В таком случае добавим в наш проект обработчик прерывания SUDAV, который будет выполнять предварительный контроль полученного требования, запускать соответствующую подпрограмму его обслуживания, при необходимости посылать данные (фаза данных) и завершать фазу статуса. Алгоритм такого обработчика представлен на рис. 7. Рассмотрим поподробнее выполняемые действия. Сохранение регистров в стек и снятие запроса на прерывание – это стандартные шаги, исполняемые в начале любого обработчика прерывания. Далее копи-

руем данные из буфера SETUPDAT в локальный буфер, и все дальнейшие манипуляции проводим только над ним. Перед началом проверок очищаем программную переменную, отвечающую за необходимость установки маркера STALL. Проверяем полученное требование на принадлежность к стандартным, и если оно является таковым, то проверяем заданный номер требования. В обоих случаях при ошибке устанавливаем STALL, сообщая о некорректном требовании.

Если же проверки пройдены успешно, вызываем обработчик для соответствующего требования и после окончания его работы анализи-

руем признак установки маркера STALL. Если он не установлен, то требование выполнено успешно. Далее снимаем бит HSNACK, то есть фактически готовимся завершить фазу статуса. Здесь может возникнуть естественный вопрос – а как же фаза данных? В действительности сброс бита HSNACK никак не может повлиять на фазу данных. Если сейчас выполняется фаза данных, то хост «нетерпеливо» посылает пакеты запроса IN, а модуль USB отвечает маркером NAK (см. рис. 6). Состояние бита HSNACK будет иметь значение только тогда, когда начнется фаза статуса.

А вот следующим действием перейдем, ждёт ли хост от нас данные (наличие фазы данных). Если нет, то восстанавливаем регистры из стека и выходим из обработчика прерывания.

В случае присутствия фазы данных анализируем характер передаваемых данных и выбираем способ их передачи. Если предстоит отправить дескриптор, то воспользуемся системой SDP, иначе записываем в регистры EPOBСН, EPOBСL размер отправляемого пакета (данные в буфер EPOBUF должен поместить обработчик требования). Независимо от выбранного способа передачи данных, после выполнения описанных действий выходим из обработчика прерываний. Все дальнейшие действия по передаче данных и завершению контрольной транзакции модуль USB выполнит аппаратно.

Теперь можем добавить необходимый код в проект.

Файл *var.asm*. Согласно таблице 1 зададим константы распределения полей пакета SETUP в буфере SETUPDAT:

bRT	EQU	0	;	смещение для bmRequestType
bR	EQU	1	;	смещение для bRequest
wVL	EQU	2	;	смещение для wValueL
wVH	EQU	3	;	смещение для wValueH
wIL	EQU	4	;	смещение для wIndexL
wIH	EQU	5	;	смещение для wIndexH
wLL	EQU	6	;	смещение для wLengthL
wLH	EQU	7	;	смещение для wLengthH

Регистры r0 и r1 (из банка 0) оставим для общего использования, а начиная с адреса 2, будем объявлять системные переменные:

_ptrDest	EQU	r0
; указатель на приёмник данных		



**Таблица 1. Распределение полей пакета SETUP в буфере SETUPDAT**

Смещение	Поле	Назначение
0	bmRequestType	Тип требования
1	bRequest	Номер требования
2	wValueL	Младший байт поля «значение»
3	wValueH	Старший байт поля «значение»
4	wIndexL	Младший байт поля «индекс»
5	wIndexH	Старший байт поля «индекс»
6	wLengthL	Младший байт поля «длина»
7	wLengthH	Старший байт поля «длина»

```
_ptrSrc EQU r1 ; указатель на
источник данных
DSEG AT 2
usbBufSetup: DS 8 ; локальный
буфер для SETUP пакета
```

В области переменных общего назначения (с адреса 30h) объявим счётчик:

```
cntTmp: DS 1 ; счетчик общего
назначения
```

В битовой области объявляем флаги:

```
BSEG AT 0
flagStallEp0: DBIT 1 ; требо-
вание установки STALL для EP0
flagGetDesc: DBIT 1
; признак передачи дескриптора
```

*Файл system.asm.* В функцию *initSystem* добавляем разрешение прерывания SUDAV:

```
mov a,#1
mov dptr,#USBIE
movx @dptr,a
; разрешаем прерывание SUDAV
```

Включаем систему передачи дескрипторов SDP:

```
mov a,#1
mov dptr,#SUDPTRCTL
movx @dptr,a ; разрешаем автома-
тическую передачу дескрипторов
```

Для быстрого обращения к массивам данных во внешнем ОЗУ включаем дополнительную функцию МК – автоинкремент указателей на данные:

```
mov autoPtrSetup,#7 ; разрешаем
систему авт. инкремента
```

*Файл util.asm.* Для копирования данных из буфера SETUPDAT (внешнее ОЗУ) в локальный буфер *usbBufSetup* (внутреннее ОЗУ) напишем простую подпрограмму *movExt2Into*.

*Файл intusb.asm.* В обработчик прерывания SUDAV добавляем код, реализующий алгоритм, представленный на рис. 7. Подпрограммы обслуживания требований, вызываемые из обработчика, создадим в виде «заглушек» в файле *ep0sr.asm*.

*(Продолжение следует)*

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Чекунов Д. EZ-USB FX2LP – универсальное USB-решение. Современная электроника. 2005. № 4.
2. CY7C68013A/CY7C68015A EZ-USB FX2LP USB Microcontroller High-Speed USB Peripheral Controller. www.cypress.com.
3. EZ-USB FX2 Technical Reference Manual. www.cypress.com.
4. Чекунов Д. Стандартные требования USB. Современная электроника. 2004. № 2.



**MOBILE & WIRELESS**

**БЕСПРОВОДНЫЕ и МОБИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КОМПОНЕНТОВ  
ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**22 - 24 ноября 2005**  
РОССИЯ, МОСКВА, ИНФОПРОСТРАНСТВО  
[www.inconex.ru](http://www.inconex.ru)

Организаторы:  
**INCONEX**  
International Conferences & Exhibition

INCONEX  
Тел.: (095) 102-59-13  
Факс: (095) 739-55-09  
e-mail: [electronica@list.ru](mailto:electronica@list.ru)



# Программирование микроконтроллеров LPC9xx фирмы Philips

Андрей Сошкин (Московская обл.), Андрей Мамонтов (Москва)

В статье приведён сравнительный анализ микроконтроллеров семейства LPC9xx, рассмотрены различные способы их программирования. Представлены варианты фрагментов программы и полученные в результате hex-файлы для программирования разработанного устройства. Приведена принципиальная электрическая схема программатора, работающего в режимах ICP и ISP.

За последние годы в связи с использованием для хранения исполняемых кодов команд флэш-памяти стал меняться подход к вопросу программирования микроконтроллеров (МК). Теперь многие вновь разработанные семейства МК оснащены аппаратными средствами внутрисхемного программирования. Это новое качество представляется особенно важным на этапе разработки прибора, когда отлаживаемая программа многократно «перепрошивается» в МК. Да и на этапе эксплуатации возможность обновления ПО представляется большим конкурентным преимуществом прибора, спроектированного на базе перепрограммируемого МК.

Микроконтроллеры семейства P89LPC9xx фирмы Philips допускают пять способов программирования [1]:

- внутрисистемное, последовательное программирование через UART-порт (ISP);
- последовательное внутрисхемное программирование (ICP);
- традиционное параллельное программирование;
- программирование из пользовательской программы с помощью встроенного аппаратно-программного загрузчика (IAP);
- IAP-Lite программирование.

Каждый способ имеет субъективные преимущества и недостатки, поэтому выбор того или иного способа диктуют разнообразные обстоятельства. Следует иметь в виду, что каждый МК может поддерживать несколько способов программирования,

но поспешный выбор в пользу одного из них может лишить вас возможности в дальнейшем пользоваться другими способами. Например, в программаторе TRITON используется только один способ программирования – ICP. При этом он затирает ISP-загрузчик, который расположен в верхней области памяти программ МК, что делает невозможным применение в дальнейшем ISP-способа программирования. А так как, например, МК типа LPC932 не поддерживает способ программирования ICP, то и запрограммировать его на данном программаторе невозможно.

Разработанный авторами программно-аппаратный комплекс требует минимальных материальных затрат при сохранении максимально возможной функциональности. Он позволяет последовательно реализовать все возможные способы программирования, используя в качестве управляющей бесплатную, свободно распространяемую программу Flash Magic [2].

Рассмотрим реализацию указанных выше способов программирования по шагам.

## Первый шаг

Рассматриваем ISP-способ программирования.

Для того чтобы МК начал работать, в него необходимо записать какую-либо программу. Для этого в верхние 512 байт памяти всех МК, начиная с LPC920, фирма-изготовитель помещает код загрузчика.

Для записи в МК пользовательской программы необходимо лишь орга-

низовать его связь через RS-232 с персональным компьютером. Но сначала рассмотрим сам алгоритм программирования [3].

Возможны три способа входа в режим ISP:

- 1) по анализу состояния статус-бита и загрузочного вектора;
- 2) передачей по последовательному порту символа сброса;
- 3) подачей трёх импульсов на вывод Reset после подачи напряжения питания.

Алгоритм реализации возможных путей входа в режим ISP показан на рисунке 1.

Программа Flash Magic поддерживает аппаратный вход в режим ISP (п. 3). Вход в этот режим осуществляется независимо от пользовательской программы и состояния статус-бита. Переход осуществляется по содержанию загрузочного вектора (Boot Vector); для МК с объёмом памяти программ 2 Кб он равен 0600h, 4 Кб – 0E00h, 8 Кб – 1E00h. Как указано выше, переход в ISP-режим осуществляется подачей трёх положительных импульсов на вывод Reset после подачи напряжения питания.

Вариант схемы программатора, использующего ISP-способ, изображён на рисунке 2.

В качестве разъёма X1 в схеме используется стандартный соединитель DB-9F, соединители X2 и X3 могут быть любыми.

Это лишь часть схемы программатора, однако она вполне автономна и полностью выполняет функцию программирования всех микроконтроллеров семейства LPC9xx, начиная с LPC920, ISP-методом.

Функции отдельных элементов схемы таковы. Микросхема ST3232 обеспечивает формирование уровня сигнала RS-232. Транзистор КТ3107 предназначен для обеспечения необходимой мощности (тока) на линии  $V_{dd}$  (питание программируемой микросхемы). Резистивные де-



лители на входах микросхемы 74HC02 предназначены для преобразования сигналов RS-232 к уровню, допустимому на входах микросхемы D2. Данная микросхема обеспечивает формирование стартовых сигналов для входа в режим программирования ISP (формирования трёх импульсов по входу Reset).

Несколько слов о программной поддержке. Авторы рекомендуют воспользоваться фирменным программным обеспечением. Речь идёт о программе Flash Magic (свободно распространяемой), которая доступна на сайте Embedded Systems Academy [2]. Рассмотрим здесь лишь некоторые её функции. Главное окно программы показано на рисунке 3. Большими цифрами 1...5 показана последовательность шагов, которые необходимо выполнить для программирования МК. Остановимся на каждой из секций 1...5 основного окна программы подробнее.

Первая секция посвящена настройке/согласованию режимов работы компьютера и программируемого МК. С помощью стрелок, расположенных с правой стороны окошек, выбираются:

1. Порт компьютера, к которому подключен программатор МК с помощью модемного кабеля. В нашем случае – COM 1.
2. Скорость передачи последовательного порта. В нашем случае – 7200 бит/с. При использовании ISP-способа программирования может быть задана любая скорость, т.к. встроенный ISP-загрузчик синхронизирует (а вернее –

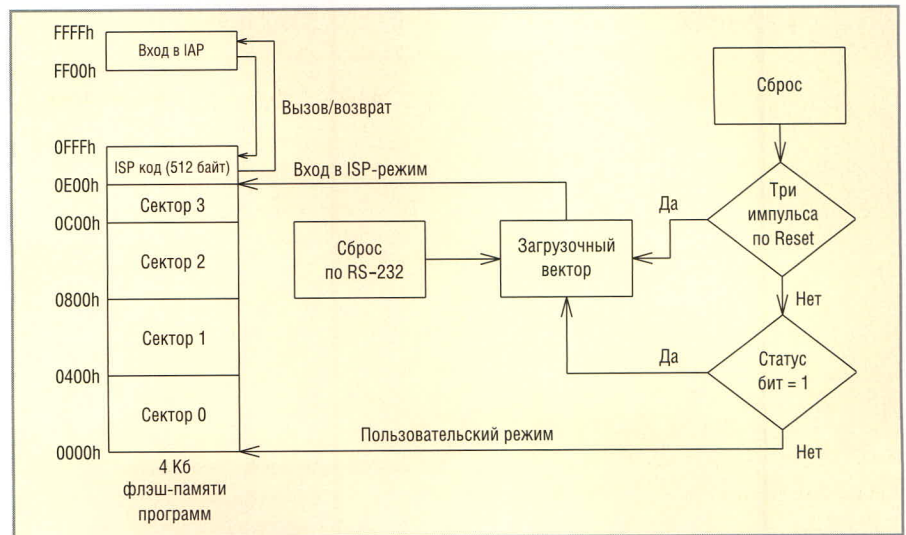


Рис. 1. Диаграмма входа в ISP-режим

подстраивает) частоту приёма/передачи МК с частотой компьютера. Так как эта операция выполняется с некоторой погрешностью, частоту передачи рекомендуется устанавливать не выше 9600 бит/с. Небольшая модификация этой программы, выполненная авторами, позволила устойчиво работать на скорости до 38 400 бит/с. Если используется ICP-способ программирования, то необходимо выбрать скорость 9600 бит/с, так как программа Bridge\_ISP\_ICP в штатном режиме работает с заданной фиксированной скоростью.

3. Выбор программируемого МК. Здесь перечислены все МК семейства P89LPC9xx, поддерживаемые данной версией Flash Magic.
4. В этой строке предлагается установить частоту генератора МК.

Во второй секции необходимо установить один из способов стирания флэш-памяти программ. Возможны три варианта стирания: всей памяти; только области, необходимой для записи нового hex-файла; только указанных блоков.

В третьей секции предлагается выбрать hex-файл, который будет «прочит» в МК. Здесь можно воспользоваться кнопкой Browse или вручную указать путь.

Четвертая секция посвящена установке секретных битов. Авторы полагают, что когда читателям потребуются воспользоваться этим сервисом, они смогут разобраться в этом самостоятельно. Сейчас лишь следует проследить, чтобы ни в одном из окошек данной секции не стояло галочек.

Пятая секция состоит из единственной кнопки – начала программирования, этапы которого индициру-

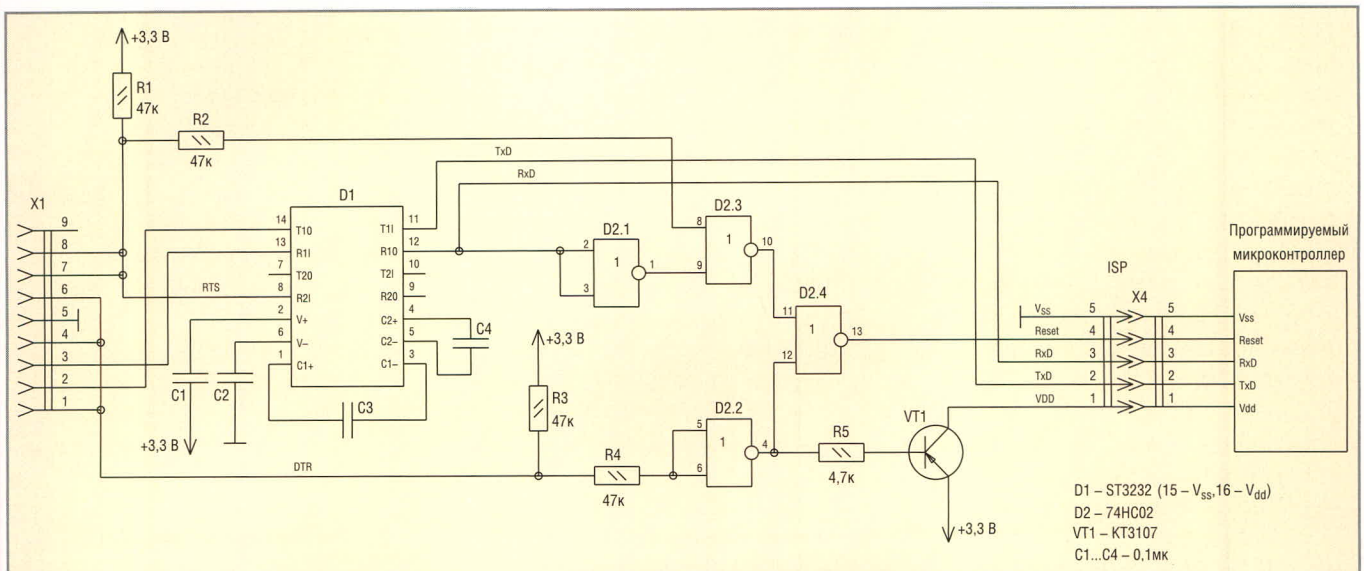


Рис. 2. ISP-программатор



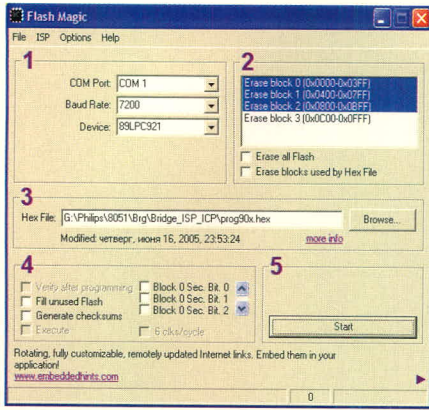


Рис. 3. Главное окно программы Flash Magic

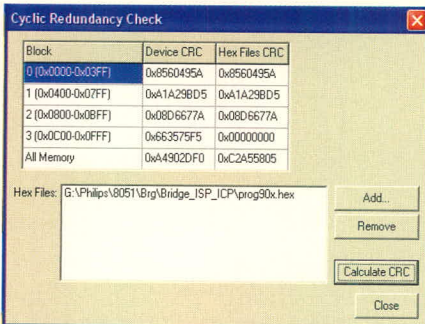


Рис. 4. Окно вычисления контрольных сумм

ются в самой нижней строке основного окна Flash Magic.

В левом верхнем углу расположены четыре группы меню. Основной интерес для нас представляют две из них: ISP и Options.

В меню Options необходимо зайти только один раз после установки Flash Magic на компьютере. Выбирается подменю Advanced Options, и далее:

1. В пункте Hardware Config устанавливается галочка в окошке Use DTR and RTS to enter ISP mode, а в окошке Hardware выбирается Keil MCV900.
2. В пункте Security устанавливаем галочку рядом со строкой Protect ISP Code.

Меню ISP будет использоваться часто:

1. Для того чтобы убедиться в наличии связи с программируемым МК, можно использовать подменю Read Device Signature (чтение сигнатуры устройства). Таблицу сигнатур можно найти в приложении AN10258 [4].
2. На рисунке 4 показано окно Cyclic Redundancy Check (вычисление контрольной суммы), использование которого позволяет вычислять по блокам контрольные суммы информации, прошитой в МК, и контрольную сумму исходного hex-

файла. Естественно, они должны совпадать. Вычисление контрольной суммы hex-файла будет произведено после нажатия на кнопку Calculate CRC.

В заключение этого краткого описания Flash Magic хотим предостеречь пользователей относительно опции Erase all Flash в секции 2 (в фирменном руководстве по PAV90x V1.1 [5] её рекомендуют включать). Так как ISP-загрузчик расположен в верхних 512 байтах Flash-памяти МК, то он будет уничтожен во время первой же прошивки, если эта опция окажется включенной.

### ВТОРОЙ ШАГ

Для реализации ICP-способа программирования потребуются дополнительные программные и аппаратные средства. К программным средствам относится программа Bridge (мост), транслирующая коды, поступающие из программы Flash Magic через последовательный порт RS-232 в программируемый МК. К аппаратным относится дополнительный МК (в нашем случае LPC921) с прошитой в него программой Bridge и ключ, обеспечивающий переход МК в режим ICP. В качестве программы для моста можно воспользоваться фирменной программой Bridge (файл prog90x.hex) [6]. Если применять эту программу без изменений, то необходимо использовать МК LPC932 с 28 выводами, так как в качестве управляющего используется вывод порта P2.3. Однако и здесь можно сэкономить без ущерба для качества, если применить МК LPC921. При этом потребуются изменение исходного кода программы Bridge [7]. Ниже приведены модифицированные фрагменты программы Bridge\_ISP\_ICP:

```
void init(void)
{
// порт P0 в режиме ввода
P0M1 = 0xFF;
P0M2 = 0x00;
// порт P1 в режиме ввода,
// кроме TxD, Vdd & Reset
P1M1 = 0x3E;
P1M2 = 0x00;
// P2M1 = 0xF7;
// P2M2 = 0x00;
// вывод Vdd установлен в 0
VDD = 0;
// вывод Reset установлен в 0
RESET = 0;
```

```
// настраиваем UART
SCON = 0x52;
// устанавливаем скорость передачи
// 9600 бит/с при использовании
// внутреннего RC-генератора
BRGR0 = 0xE0;
BRGR1 = 0x02;
BRGCON = 0x03;
}
void enter_icp(void)
{
char pulses = 0;
int delay = 0;
P0 = 0;
P1 = 0;
// P2 = 0;
P3 = 0;
// устанавливаем Vdd в 0
VDD = 0;
// устанавливаем Reset в 0
RESET = 0;
for(delay = 0; delay < 5000;
delay++);
// устанавливаем Vdd в 1
VDD = 1;
P0 = 0xCF;
P1 = 0xBF;
// P2 = 0xFF;
P3 = 0xFF;
for(delay = 0; delay < 2000;
delay++);
// формируем семь импульсов по Reset
for(pulses = 0; pulses < 7; pulses++)
{
// устанавливаем Reset в 1
RESET = 1;
// формируем задержку (15мкс)
for(delay = 0; delay < 5; delay++);
// устанавливаем Reset в 0
RESET = 0;
// формируем задержку (15мкс)
for(delay = 0; delay < 5;
delay++);
}
RESET = 1;
}
```

Файл prog90x.hex модифицированной программы Bridge\_ISP\_ICP доступен на сайте журнала [8]. В этой программе управляющим стал вывод P1.7.

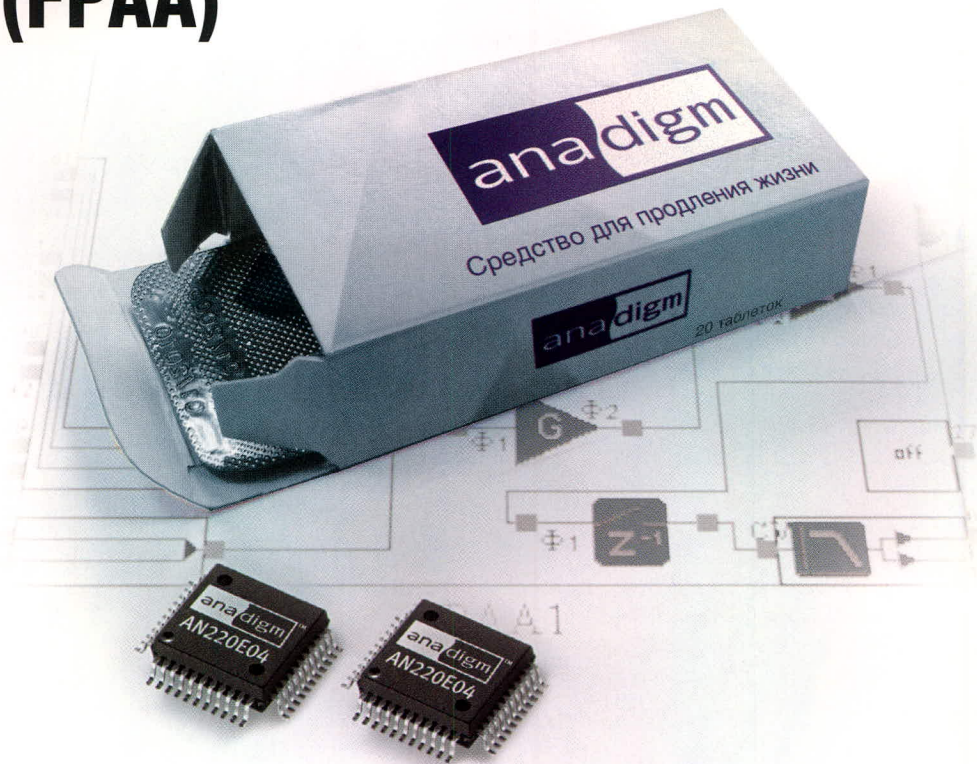
Полная схема программатора для ISP-программирования приведена на рисунке 5, а схема программатора для режима ICP показана на рисунке 6.

После проверки правильности монтажа последовательность действий по подготовке программатора к работе будет следующей:



# Программируемые аналоговые интегральные схемы (FPAА)

ana digm™



## На одном кристалле FPAА содержится:

- Дифференциальные компараторы
- Операционные и инструментальные усилители
- Инструментальные усилители
- Фильтры
- Источники образцового напряжения
- Усилители-ограничители
- Мультиплексор
- Выпрямители с ФНЧ
- Генераторы синусоидального сигнала
- Генераторы периодических сигналов специальной формы
- АЦП последовательного приближения
- Программируемые усилители

## Области применения

- Системы сбора данных
- Медицинское оборудование
- Автоэлектроника
- Промышленная автоматика
- Аудиотехника
- Прецизионные измерительные системы и т.п.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ FPAА

- Продление жизненного цикла изделия
- Упрощение настройки и регулировки
- Повышение надёжности
- Снижение стоимости
- Статическая и динамическая конфигурация структуры
- Однокристалльные системы аналоговой обработки
- Программное изменение характеристик системы
- Автоматически перестраиваемые и адаптируемые схемы

## Основные достоинства Anadigm Designer 2

- Удобная среда разработки, интуитивно понятная разработчику
- Отладка схемы в реальном времени
- Цифровой осциллограф, вольтметр, частотомер
- Быстрое программирование ИС через стандартный порт RS232 непосредственно из среды разработки
- Тестирование прошивки непосредственно на кристалле или в системе
- Динамическое перепрограммирование структуры

**ANADIGM — ПРОДЛЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВАШИХ ИЗДЕЛИЙ!**

Узнайте подробности в компании ПРОСОФТ

Телефон: (095) 234-0636 • Web: [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)



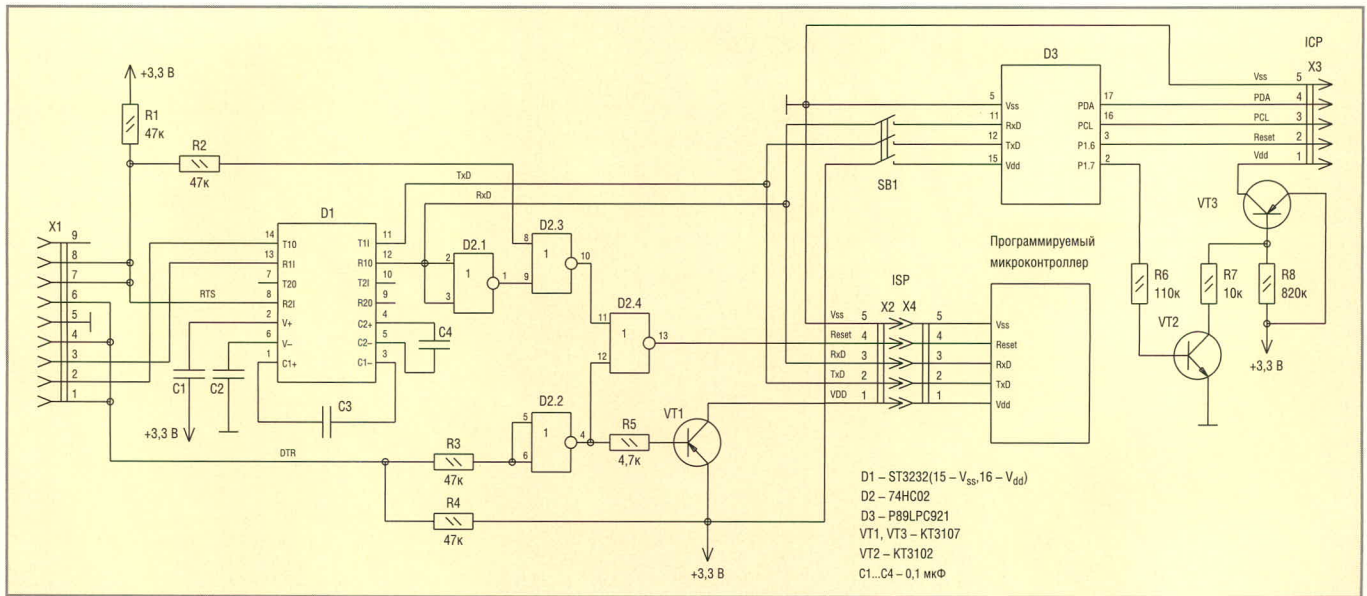


Рис. 5. Схема программатора (режим ISP)

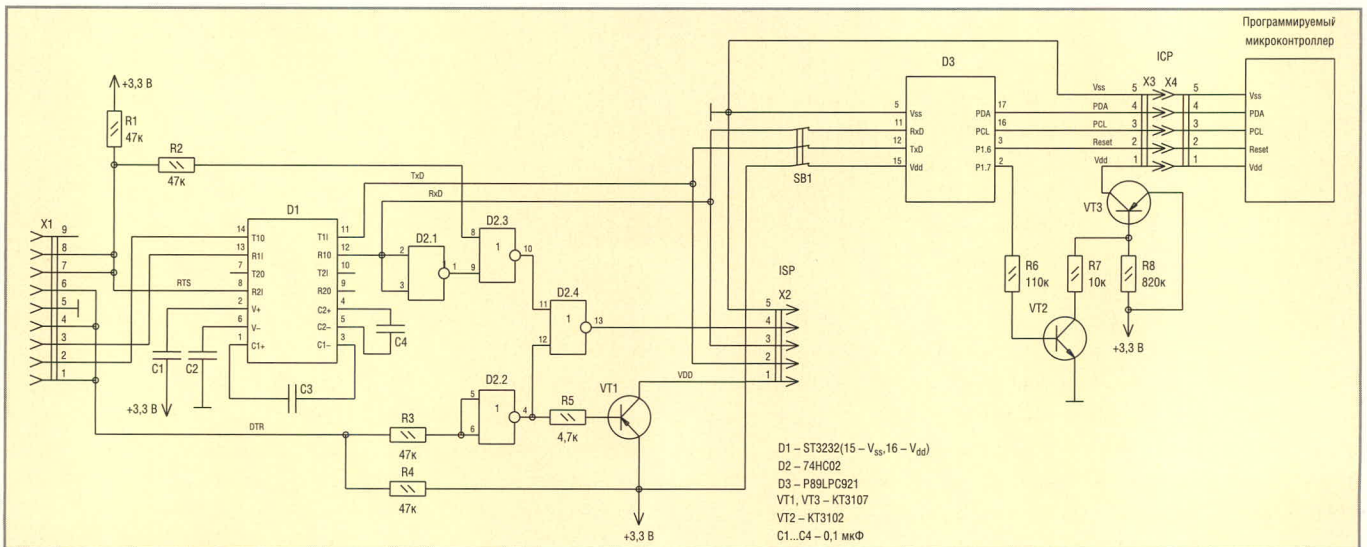


Рис. 6. Схема программатора (режим ICP)

1. Записать программу Bridge\_ISP\_ICP в МК LPC921 (см. рис. 2, 5).
2. Запустить программу Flash Magic (см. рис. 3).
3. Убедиться в наличии связи, прочитав сигнатуру для LPC921 – 15h DD 0Bh.
4. Установить в секции 2 стираемыми блоки 1, 2, 3.
5. Записать hex-файл prog90x.hex программы Bridge\_ISP\_ICP в МК LPC921.
6. Считать контрольную сумму, записанную в МК, и сравнить её с контрольной суммой исходной программы (см. рис. 4).

Итак, как показано на рисунках 5 и 6, в зависимости от положения переключателя SB1, предложенный программатор может работать в режиме ISP или ICP.

Таким образом, как это, наверное, заметил внимательный читатель,

мы использовали первую версию программатора для построения следующей – более полной и функциональной.

Остановимся теперь на различиях режимов ISP и ICP с точки зрения пользователя. Для МК LPC901...908 выбор режима программирования отсутствует. Эти МК программируются только ICP-способом. Для остальных МК этого семейства возможен выбор. Главным фактором здесь выступает предполагаемая схемная реализация проектируемого устройства и наличие возможности программирования (перепрограммирования) МК. Для уверенного программирования необходим автономный доступ к выводам PDA (P0.4), PCL (P0.5), RESET (P1.6) и V<sub>dd</sub> в случае ICP-режима и к выводам TxD (P1.0), RxD (P1.1), RESET (P1.5) и V<sub>dd</sub> – в слу-

чае режима ISP. Разработчик может выбирать режим исходя из того, где в схеме удобнее ввести необходимые переключатели. Надо отметить, что при использовании ISP-способа программируемый МК синхронизирует частоту передачи и приёма с RS-232 (в загрузчике имеется соответствующая подпрограмма) и, благодаря этому (отмечено авторами), программирование менее подвержено воздействию внешних факторов в виде помех (сеть, сотовые телефоны и т.п.). Для минимизации риска воздействия помех программатор желательно заэкранировать, например, поместив его в заземлённый экран из лужёной жести.

### ТРЕТИЙ ШАГ

Для реализации параллельного программирования потребуются до-



полнительные программные и аппаратные средства. Программа Bridge\_ISP\_PP, разработанная авторами, совместно с описанной выше программой Flash Magic позволяет осуществить данный режим программирования. К аппаратным относится дополнительный микроконтроллер (в нашем случае LPC935) с прошитой в него программой Bridge\_ISP\_PP. Изложение этого материала выходит за рамки данной статьи.

#### ЧЕТВЕРТЫЙ И ПЯТЫЙ ШАГИ

Два последних способа программирования – IAP и IAP-Lite – требуют

лишь написания программ для МК. Их основное назначение – работа с памятью программ, возможность стирания и записи кодов программы. Способ программирования IAP-Lite подробно описан в статье авторов «LPC: семейство “маленьких” микроконтроллеров фирмы Philips». Способ программирования IAP имеет ряд дополнительных функциональных возможностей относительно IAP-Lite.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.standardics.philips.com/support/techdocs/microcontrollers/pdf/user\\_manual\\_P89lpc933\\_934\\_935\\_936.pdf](http://www.standardics.philips.com/support/techdocs/microcontrollers/pdf/user_manual_P89lpc933_934_935_936.pdf).

2. <http://www.esacademy.com/software/flashmagic/FlashMagic.exe>.
3. <http://www.standardics.philips.com/support/appnotes/microcontrollers/pdf/an10221.pdf>.
4. <http://www.standardics.philips.com/support/appnotes/microcontrollers/pdf/an10258.pdf>.
5. [http://www.standardics.philips.com/support/techdocs/microcontrollers/pdf/getting\\_started\\_pab90x-1.pdf](http://www.standardics.philips.com/support/techdocs/microcontrollers/pdf/getting_started_pab90x-1.pdf).
6. <http://www.esacademy.com/software/flashmagic/resources/prog90x.zip>.
7. [http://www.promax.se/download/data/Semi/Philips/Micro\\_controller/lpc90x](http://www.promax.se/download/data/Semi/Philips/Micro_controller/lpc90x).
8. <http://www.soel.ru>.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Компьютерные вирусы добрались до цифровых аудиоплееров

Одна из партий портативных плееров Creative Zen оказалась заражённой Windows-червем. Компания Creative Technology подтвердила информацию о том, что 4 тысячи. MP3-плееров Zen Neop, отправленные в Японию в конце июля, содержали код вируса Wullik.b – почтового Windows-червя, появившегося ещё в 2003 г.

По заявлению Creative, при подключении к ПК червь не проявляет себя до тех пор, пока пользователь сам не запустит инфицированный файл.

Компания уже опубликовала список дефектных проигрывателей на японской версии своего веб-сайта. Пока выясняются причины заражения плееров, поставки 5-гигабайтных моделей Zen Neop временно приостановлены.

*itware.com.ua*

### Гуру Linux отказались от совместного проекта с Microsoft

Организация Open Source Development Labs (OSDL) не поддержала идею совместного с Microsoft финансирования сравнения операционных систем Windows и Linux. Встреча между главой OSDL Стюартом Кохеном (Stuart Cohen) и генеральным менеджером Microsoft по развитию платформ Мартином Тэйлором (Martin Taylor) относительно совместного финансирования независимых исследований по сравнению ОС Windows и Linux состоялась. Однако предложение, сделанное Microsoft на прошлой неделе, не заинтересовало участников открытого сообщества.

По словам Кохена, OSDL не видит смысла принимать участие в проекте, предложенном софтверным гигантом. Такое сравнение, независимо от его результатов, может быть использовано Microsoft во вред Linux, добавил глава OSDL.

*itware.com.ua*

### Linux на 40% дешевле Windows?

Специалисты IBM утверждают: переход на ОС Linux обходится компаниям дешевле по сравнению с Windows и Solaris, кроме того, эта система чрезвычайно популярна среди ИТ-персонала.

Согласно исследованиям, проведённым по заказу корпорации IBM, совокупная стоимость владения (TCO) ОС Linux обходится компаниям на 40% дешевле, чем при выборе ОС Windows, и на 56% дешевле по сравнению с ОС Solaris. Напомним, что показатель TCO включает в себя стоимость приобретения, расходы на внедрение и обслуживание операционной системы. Эти данные противоречат цифрам, приводимым Microsoft в рамках кампании Get the Facts, согласно которым Windows обходится дешевле Linux.

В течение более чем трёх лет компания IBM проводила сравнение Linux, Windows x86 и Solaris. Согласно отчёту, совокупная стоимость владения Linux за этот период равнялась 40 149 долл., Windows – 67 559 долл.; Solaris – 86 478 долл. В отчёте, помимо TCO, учитывались также расходы, связанные с обучением администраторов, переносом на другие аппаратные платформы и количеством разработчиков на рынке.

Кроме стоимостной категории, среди рассматриваемых ОС исследование вы-

явило и другие преимущества Linux, а именно «гибкую модель предоставления лицензий, широкий круг совместимых аппаратных платформ, свободу в выборе служб поддержки и быстрое обучение администраторов, ранее работавших на других Unix-платформах».




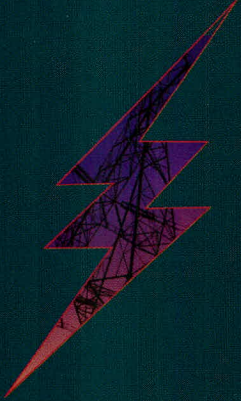
Во втором отчёте IBM рассматриваются преимущества «второго уровня» при использовании Linux – вне стоимостных характеристик. К ним относятся привлекательность и продолжительность использования ИТ-персоналом. Как написано в отчете, «Linux невероятно популярен среди ИТ-персонала, как среди тех, кто только начинает свою карьеру, так и среди “гуру” и преподавателей в сфере ИТ в университетах и технических образовательных учреждениях по всему миру. Это сыграло большую роль в росте популярности Linux при выборе ОС».

Компания IBM оказывала значительную поддержку Linux в течение нескольких прошедших лет. В 2001 г. компания вложила в Linux 1 млрд. долл. и до сих пор поддерживает ОС на серверах предыдущих версий.

Спор о преимуществах Linux и Windows ведётся давно и вызывает немало разногласий. Многие группы аналитиков публиковали отчёты по этой теме, некоторые из которых подвергают сомнению утверждение о том, что обслуживание Linux обходится дешевле. В апреле Yankee Group опубликовала исследование, согласно которому совокупная стоимость владения Windows сравнима или даже ниже, чем у Linux. Тем не менее, выводы данного исследования подверглись многосторонней критике.

[www.cnews.ru/news/top/](http://www.cnews.ru/news/top/)





# POWER ELECTRONICS

## МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

### 9-11 ноября 2005

РОССИЯ, МОСКВА, ЦМТ

Организаторы:

**ПРИМЭ СПО**



Тел.: +7(812)380 6007  
380 6003, 380 6000  
Факс: +7(812)380 6001  
E-mail: [electron@primexpo.ru](mailto:electron@primexpo.ru)



"Благодарный партнер"  
Специальный приз конкурса  
"Сделано в Петербурге"



Россия

ЧЛЕН  
МЕЖДУНАРОДНОГО  
СОЮЗА ВЫСТАВОК  
И ЯРМАРОК

[www.primexpo.ru/power](http://www.primexpo.ru/power)



# Е•Х•Р•О ELECTRONICA

 ufi  
Approved  
Event

9-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

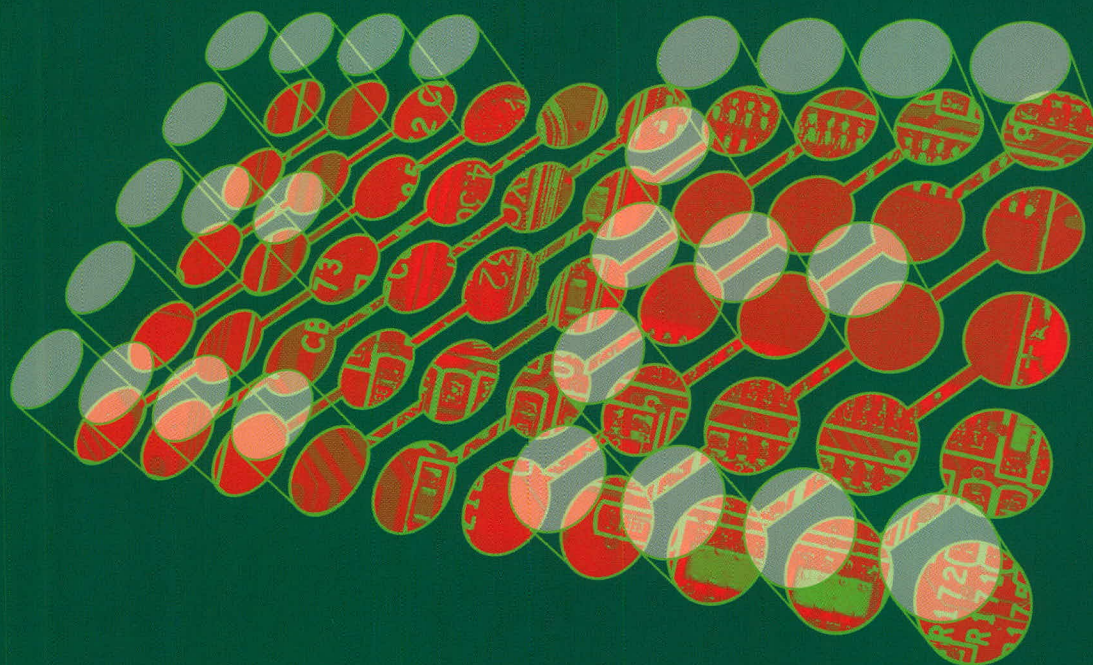
Совместно с:

**Electrontech** **expo**

4-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ  
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## 25-28 АПРЕЛЯ 2006

РОССИЯ, МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО



Организаторы;

 ПРИМЭ СПО



Электронторг-с

Тел.: +7(812)380-6007/03/00

Факс: +7(812)380-6001

E-mail: [electron@primexpo.ru](mailto:electron@primexpo.ru)



"Специальный партнер"  
Специальный приз конкурса



ЧЛЕН  
МЕЖДУНАРОДНОГО  
СОЮЗА ВЫСТАВОК  
И БИРЖ

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

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

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



# Маски, подчёркивающие достоинства!



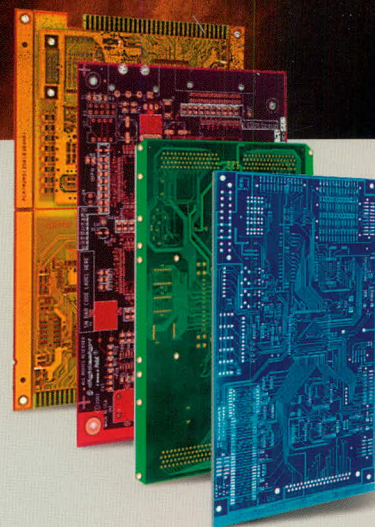
## Печатные платы заводов SEP — это мировой уровень, отвечающий всем необходимым параметрам

### Сервис

- оперативное решение ваших запросов в течение 24 часов
- своевременная доставка от шести дней
- адаптация топологии под автоматический монтаж
- техническая поддержка

### Технологии

- односторонние и двусторонние платы
- многослойные платы
- гибкие и гибко-жесткие печатные платы
- платы с контролем импеданса
- платы с глухими и скрытыми переходными отверстиями
- платы с серебряными переходными отверстиями
- платы с лазерной сверловкой
- платы с металлическим основанием
- СВЧ-платы (фторопласт, тефлон)
- платы большой толщины



Телефон: (095) 234-0639  
Факс: (095) 232-1654  
E-mail: [pcb@fastwel.ru](mailto:pcb@fastwel.ru)

Компания Фаствел – Генеральный поставщик продукции заводов SEP (Южная Корея) на территории России и стран СНГ



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



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