

Цифровые источники питания: исторический очерк

Патрик ЛЕФЕВР (Patrick Le Fèvre)
patrick.le-fevre@ericsson.com
Перевод: Алексей ПАНКРАШКИН
Alexey.Pankrashkin@macrogroup.ru

На протяжении последних нескольких лет интерес к цифровым источникам питания растет, и на рынке уже предлагаются серийные изделия, в основе которых лежит цифровая технология. Но если в отдельных областях применения, таких как ИБП, компьютеры или мобильные устройства, цифровые источники питания не являются чем-то новым, то в других сферах (например, компоненты, монтируемые на плате) внедрение данной технологии еще только начинается. В этой связи рассмотрим историю цифровых источников питания, а конкретно — факторы, которые могли бы сегодня обеспечить им огромные преимущества в масштабах электронной отрасли и за ее пределами.

Первопроходцы

Прежде чем обращаться к современности, важно вспомнить, с чего начиналась история создания цифровых источников питания и как, начиная с ранних исследовательских работ, которые выполнили в середине 1970-х годов Трэй Бёрнс (Trey Burns), Н.Р. Миллер (N. R. Miller) и другие, этот тип источников питания постепенно занял свою нишу в отрасли и достиг того уровня, при котором для конструктора имеет смысл использовать данную технологию.

В 1970-х годах, когда отрасль переходила с линейных источников питания на импульсные, Трэй Бёрнс изучал применение закона управления состояниями в повышающих преобразователях и сравнил два метода реализации — с помощью цифрового процессора и аналоговых вычислительных цепей. Результаты его работы излагались на различных конференциях, но точкой отсчета исследова-

ний, посвященных цифровым методам контроля и управления преобразователями постоянного тока, принято считать конференцию PESC 1977. Среди прочих на ней выступили инженеры Bell Labs: Норман Ричардс Миллер (Norman Richards Miller) представил новаторский подход к цифровому управлению импульсным стабилизатором, а Виктор Б. Борос (Victor B. Boros) — оригинальную последовательную цифровую реализацию цепей регулирования с обратной связью для аппаратуры управления параметрами электропитания.

Любопытная историческая деталь: экспериментальное устройство, построенное тогда Бёрнсом, представляло собой повышающий преобразователь, работающий на частоте переключения 100 Гц. На первый взгляд, это, конечно, медленно, но такая медлительность была вынужденной, поскольку выполнение цифровой программы занимало до 450 мкс на одну выборку.

В роли цифрового контроллера выступал мини-компьютер PDP-11/45, а повышающий преобразователь был построен на основе катушки с разрезным П-образным сердечником (очень громоздким и тяжелым) индуктивностью 10 мГн и конденсатора емкостью $\approx 13\,000$ мкФ. Исследовательская группа прикатила устройство к компьютеру на тележке.

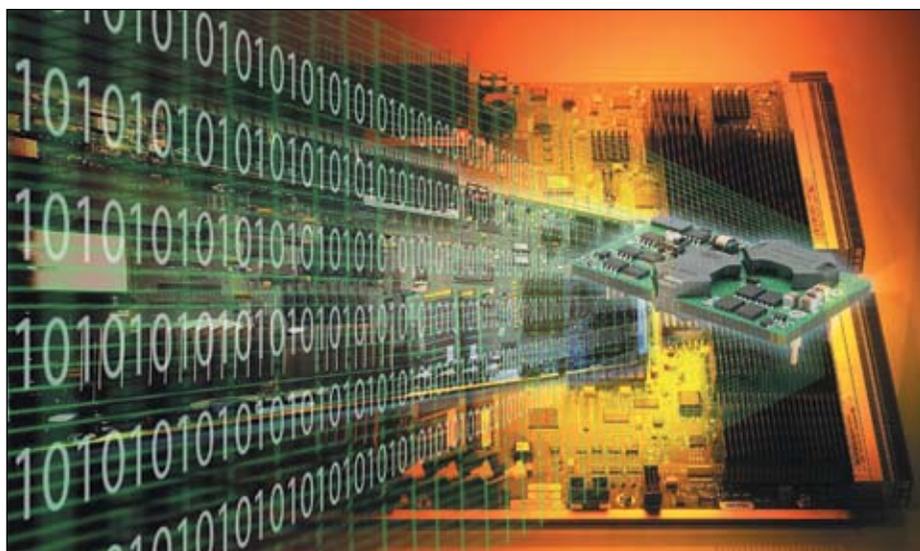
Что касается PESC 1977, интересно вспомнить вступительную часть статьи, которую представил на этой конференции Виктор Борос: «Сегодня применение цифровых контроллеров экономически и технически обосновано. Функционально рассматриваемая схема управления не сложнее тех, что встречаются в карманных калькуляторах, и сравнима с ними по стоимости реализации в виде БИС».

Технологический импульс

Сейчас цифровые технологии распространены повсеместно, но не нужно забывать, что Трэй Бёрнс для реализации и управления своей моделью использовал ЭВМ PDP-11/45, а самые передовые на тот момент микропроцессоры были 8-разрядными — как, например, микропроцессор 8080, созданный корпорацией Intel, где тогда главным конструктором был Федерико Фэггин (Federico Faggin) (рис. 1). Нет сомнений, что стремительное развитие микропроцессоров дало мощный толчок исследованиям в области цифровых методов управления питанием.

Начиная с PESC 1977, год за годом материалы, представлявшие на различных конференциях, подтверждали растущий интерес научного сообщества к применению цифровых технологий в системах питания.

Прогресс в исследованиях был стремительным, хотя только в середине 1980-х годов по итогам громадной исследовательской работы, занявшей почти десять лет, стала оче-



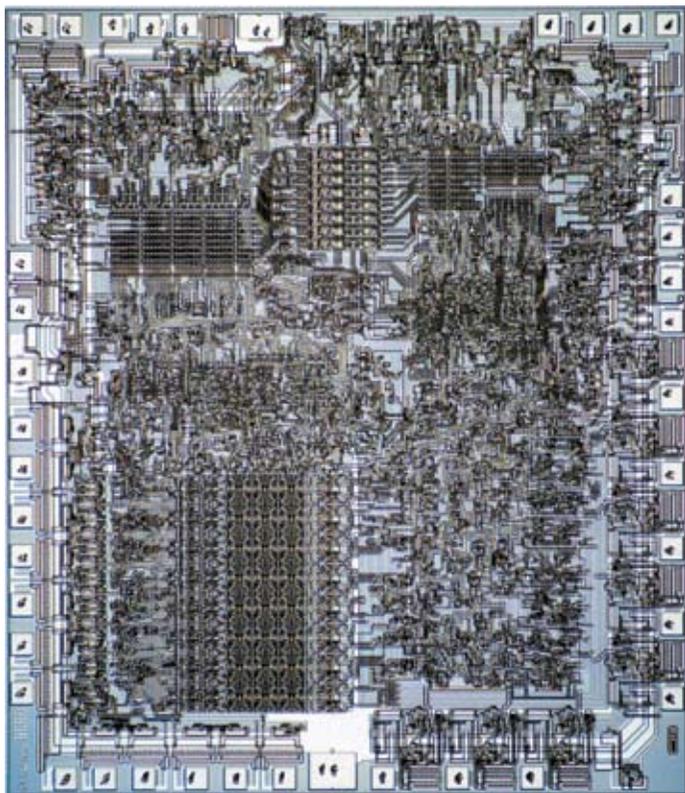


Рис. 1. Вид микропроцессора семейства 8080

Это был первый из длинной серии экспериментов, нацеленных на оптимизацию цифрового управления в источниках питания и расширяющих горизонт возможностей для применения цифровой обработки сигналов.

Одновременно производители источников питания для телекоммуникационной аппаратуры (в частности, Ericsson Energy Systems) реализовали коммуникационные функции на базе последовательного канала связи (например, шины I²C, разработанной компанией Philips), которые позволили операторам контролировать энергоснабжение и управлять им на уровне отдельных площадок.

Новая веха — рубеж тысячелетий

Благодаря важным фундаментальным исследованиям, выполненным первопроходцами, и стремительному появлению новых компонентов на базе микропроцессорных технологий (например, специализированных цифровых сигнальных процессоров для управления питанием) конструкторы источников питания получили в свое распоряжение контроллеры и топологии, упрощающие переход от аналоговых схем к цифровым.

На тот момент, помимо беспокойства по поводу пресловутой «ошибки тысячелетия», производители компьютеров начали осознавать, что управлять питанием «прожорливых» современных процессоров будет невозможно без изменения способа распределения питания и его подачи на основные подсистемы.

В свете этих проблем в октябре 2001 года компании Intersil и Primarion учредили альянс DPMA (Digital Power Management Alliance), задачей которого стала совместная разработка цифровых решений для управления памятью, ориентированных на мощные настольные ПК, серверы и ноутбуки.

Рассмотрим некоторые из важнейших шагов, предпринятых в период с 2001 до 2004 г., по переходу от исследований в области цифровых источников питания к их практическому применению (табл. 1).

Прогресс в новом тысячелетии

Начиная с 2001 г. число представляемых на различных конференциях статей с демонстрацией преимуществ цифрового управления питанием резко возросло. А в 2006 г. компания Ericsson Power Modules начала публиковать результаты своих перспективных лабораторных исследований, нацеленных на разработку будущих решений для управ-

видной перспектива коммерческого применения этих технологий.

Если принять PESC 1977 за точку отсчета эпохи исследований в области цифровых источников питания, то второй вехой в истории этой технологии следует считать 1984–1985 годы.

В качестве одного из примеров можно привести работу Криса Хенце (Chris Henze) над кандидатской диссертацией в Миннесотском университете под руководством Нэда Моуэна (Ned Mohan). Крис опубликовал некоторые представляющие интерес фрагменты своей работы на конференции PESC, проходившей в 1985 году в Тулузе. В этой работе Крис использовал микропроцессор и схему с частотой переключения, приемлемой для неизолированного преобразователя постоянного тока того времени. В своей статье он обозначил ряд проблем, в том числе проблемы квантования и необходимость сглаживания для получения адекватного разрешения ШИМ.

Алгоритм цифрового управления, описанный в представленной на PESC 1985 статье, был реализован аппаратно на TTL-микросхемах серии 7400 F. Сборка производилась вручную с монтажом накруткой, а размеры контроллера составляли 20×20 см. Все компоненты (по большей части микросхемы в 14- или 16-контактных DIP-корпусах) устанавливались на монтажные панели. Тактовые импульсы поступали от кварцевого генератора частотой 20 МГц.

Крис Хенце изготовил полупромышленный вариант цифрового контроллера, в котором вся логика была реализована на одной вентиляционной матрице, а позднее сконструировал источник питания с входным напряжением 270 В постоянного тока, основным выходным напряжением 5 В и вспомогательным выходным напряжением ±12 В — для применения в авионике.

Работа Криса Хенце по трансформации результатов ранних исследований в потенциальные коммерческие приложения — один из многочисленных примеров конца 1980-х — начала 1990-х годов, когда конструкторы стали всерьез рассматривать возможность использования микропроцессора в источниках питания.

1990-е годы: первые примеры коммерческого применения

В конце 1990-х годов компания Texas Instruments, создав цифровой сигнальный процессор C2000, внесла свой вклад в разработку первого источника бесперебойного питания (ИБП) с цифровым управлением.

Таблица 1. Этапы развития цифровых источников питания (2001–2004 гг.)

Октябрь 2001 г.	Компании Intersil и Primarion учреждают альянс DPMA (Digital Power Management Alliance) в целях совместной разработки цифровых решений для управления питанием, ориентированных на мощные настольные ПК, серверы и ноутбуки
Декабрь 2002 г.	Компания Texas Instruments выпустила первый в отрасли комплект разработчика схем цифровой обработки сигналов (DSP) MDS3P701235DPS, специально предназначенный для разработки источников питания
Март 2004 г.	Создав архитектуру Z-One Digital IBA, компания Power-One объявила об интеграции схем силового преобразования, управления и коммуникации в локализованных к нагрузке блоках питания
Сентябрь 2004 г.	Компания Darnell организовала первый форум, посвященный цифровым источникам питания, — Digital Power Forum

Таблица 2. Этапы развития цифрового управления питанием

Digital Power Forum 2006	Рекомендации по повышению рабочих характеристик для конструкторов OEM-систем
Digital Power Europe 2007	От цифровой небрежности к цифровому будущему
Digital Power Europe 2007	Монтируемые на плате источники питания с цифровым управлением: практические рекомендации для конструкторов аппаратуры
Digital Power Europe 2007	Цифровое управление в системе питания MicroTCA
Digital Power Europe 2007	Критерии выбора и проверки цифровых источников питания
Digital Power Europe 2007	Интеллектуальное управление энергопотреблением для повышения КПД
Advanced TCA Summit Europe 2007	Факторы рабочих характеристик, себестоимости и надежности в системе питания MicroTCA
PCIM China 2007	Методы цифрового управления, позволяющие повысить плотность мощности и реализовать функции управления питанием
APEC 2007	Следствия применения цифрового управления в высокоэффективном изолированном преобразователе постоянного тока
PCIM China 2008	Есть ли прогресс в области цифровых источников питания?

ления питанием, которые позволят снизить энергопотребление (табл. 2).

Производители полупроводниковых компонентов объявляли о создании новых продуктов, которые должны были упростить разработку цифровых схем управления питанием до уровня аналоговых схем, и некоторые из таких готовых к применению продуктов начали появляться на рынке.

К сожалению, отсутствие стандартизации и появление множества различных коммуникационных протоколов создавало дополнительные трудности для конструкторов, задумывавшихся об использовании данной технологии.

Easy-Bus — язык взаимопонимания

Как и в других отраслях, разработка новой технологии всегда порождает новые потребности, диктуя необходимость в выработке новых способов организации работы и стандартизации.

Среди новых технологий, внедренных за последнее десятилетие, можно упомянуть технологию ближней радиосвязи Bluetooth: эта технология за 10 лет прошла путь от лабораторных исследований до успешного коммерческого применения.

Все началось в 1994 г., когда производители аппаратуры мобильной связи организовали исследование, предметом которого была возможность реализации маломощного недорогого радиочастотного интерфейса для связи между мобильными телефонами и сопутствующими устройствами. В феврале 1998 г. пять компаний — Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba и Intel — учредили специальную группу по интересам (SIG). Десятью годами позже во всем мире в пользовании находится 1,5 миллиарда устройств с интерфейсом Bluetooth.

Пример Bluetooth может показаться нехарактерным, хотя он доказывает эффектив-

ность такого способа организации работы, при котором компании трудятся над разработкой новых технологий, создавая условия для появления совместимых устройств за счет стандартизации.

С появлением этих новых возможностей и упрощением встраивания цифровых схем управления в источники питания обнаружилось отсутствие эффективных коммуникационных протоколов, ориентированных на эту новую область применения.

Протокол Inter-IC-BUS (I²C), разработанный компанией Philips в начале 1980-х годов, применялся в отрасли наряду с RS-232, RS-485, SMBus, SPI Bus, CAN Bus и многими другими проприетарными протоколами и форматами.

В условиях такого многообразия производителей компонентов, ведущие игроки рынка источников питания и конечные пользователи начали задумываться над разработкой и стандартизацией общей аппаратной базы и пакета вспомогательных инструкций к этой новой технологии.

Аналогично тому, как это происходило с Bluetooth, в мае 2004 г. компании Artesyn Technologies и Astec Power совместно с группой поставщиков полупроводниковых компонентов (Texas Instruments, Volterra Semiconductors, Microchip Technology, Summit Microelectronics и Zilker Labs) создали коалицию для разработ-

ки открытого стандарта на коммуникационный аппарат и протокол, специально предназначенные для систем питания. Так появился стандарт под названием PMBus (рис. 2).

По состоянию на конец 2007 г. в состав организации PMBus Implementers Forum (PMBus-IF) входило свыше 30 организаций, ставящих перед собой задачу обеспечивать поддержку этой технологии и способствовать ее внедрению.

Вперед, к цифре!

С 2004 г. одновременно с разработкой стандарта PMBus компании начали постепенно выводить на рынок новые продукты и решения, облегчающие переход от аналоговых технологий к цифровым (табл. 3).

Производители оборудования не слишком склонны делиться подробной информацией о его «начинке», но известно, что в ряде массово выпускаемых изделий уже используются цифровые технологии управления питанием. Для пользователей этой технологии ее преимущества очевидны: помимо возможности управлять распределением энергии в сложных системах в процессе эксплуатации, это также возможность профилировать встроенную систему питания с помощью графического пользовательского интерфейса на стадии разработки, которая, по мнению разработчиков, значительно сокращает время вывода изделия на рынок.

Цифровые источники питания могли бы пригодиться во многих современных информационно-коммуникационных системах. Примером системы, в которой цифровые методы управления питанием будут играть в дальнейшем важную роль, может служить базовая станция мобильной радиосвязи.

Энергопотребление в системах мобильной радиосвязи зависит главным образом от трафика, и, сочетая управление трафиком и интеллек-

Таблица 3. Этапы перехода от аналоговых технологий к цифровым

Июль 2005 г.	Компании Atmel, C&D Technologies и Power-One объявляют о запуске веб-сайта z-alliance.org. Компания Roal анонсировала источник питания мощностью 2 кВт с цифровым управлением (модель PS194)
Сентябрь 2005 г.	Компания Artesyn анонсировала свой первый локализованный к нагрузке цифровой источник питания (серия DPL20C). Компания Astec первой применила двунаправленную шину PMBus в преобразователе постоянного тока (серия DTX)
Март 2006 г.	Компания Linear Technology выпустила ИС цифрового преобразователя постоянного тока с интерфейсом PMBus
Июль 2006 г.	Компания Zilker Labs выпустила ИС контроллера на номинальный ток 3 А с цифровой схемой управления питанием и интерфейсом PMBus. Компания Maxim объявила о выпуске цифрового контроллера источника питания, использующего интерфейс PMBus
Март 2007 г.	Компания Intersil анонсировала ШИМ-контроллер с поддержкой интерфейса PMBus (модель ISL8601)
Апрель 2007 г.	Компания Texas Instruments выпустила первый «контроллер цифровой системы питания» (модель UCD9240). Компания Primarion выпустила первый в отрасли двухканальный цифровой синхронный преобразователь постоянного тока (двухфазная модель PX7522)
Май 2007 г.	Компания TI выпустила новый концептуальный продукт PowerTrain, сочетающий в себе ИС UCD9240 и оконечный модуль PID08A010W. Такая комбинация управляющей ИС и модулей «полуфабрикатов» представляет собой уникальный подход, рассматриваемый некоторыми как срединный путь между чисто дискретным и модульным решением
Август 2007 г.	Компания Power-One выпустила локализованный к нагрузке цифровой источник питания на номинальный ток 60 А (модель ZY8160)
Сентябрь 2007 г.	Компания Primarion анонсировала образец разработки с использованием PMBus-совместимой ИС PX7522
Октябрь-ноябрь 2007 г.	Различные форумы, проходящие в США и Европе, подтверждают положительные тенденции в сфере применения цифровых источников питания, подкрепляя тезис о том, что стандартизация, как и в других отраслях, станет для конечных потребителей стратегическим фактором принятия решений о переходе с аналоговых технологий на цифровые
Январь 2008 г.	Компания Eltek Valere, широко применяющая в своей продукции цифровые источники питания, выпустила новый выпрямитель для телекоммуникационной аппаратуры с КПД 96%. Производители ИС расширяют ассортимент продукции и совершенствуют средства разработки, в том числе с графическим пользовательским интерфейсом
Февраль 2008 г.	Компания Zilker Labs выпускает новое поколение цифровых контроллеров, использующих новые алгоритмы. Компания Primarion расширяет ассортимент своей продукции для цифровых контроллеров. Компания Analog Devices выпустила цифровые выпрямители и преобразователи постоянного тока, а также средство разработки с графическим пользовательским интерфейсом



Рис. 2. Логотип стандарта PMBus

туальное управление питанием, можно будет питать только ту часть системы, которая необходима в данный момент, а неактивные части держать в режиме ожидания. Кроме того, с увеличением трафика контроллер управления им может включать дополнительные функции.

Например, такая подсистема может управлять количеством работающих усилителей мощности и включать либо отключать их по мере увеличения или уменьшения трафика, а также настраивать напряжение поляризации для получения наиболее эффективного профиля на данный момент.

На уровне аппаратного шкафа можно будет отключать определенные платы, выполняющие смешанные функции, которые необходимы только в конкретные моменты, а также настраивать важнейшие параметры этих плат

и с высокой точностью контролировать их работу, чтобы контроллер управления трафиком в реальном времени сообщал менеджеру площадки различные параметры системы.

Также важно управлять питанием с детализацией до нескольких жизненно важных элементов, чтобы сократить фиксированную потребляемую мощность в рабочем режиме, в особенности энергопотребление подсистем кондиционирования и вентиляции.

При реализации цифрового управления питанием отдельных плат с использованием PMBus станет проще управлять охлаждением и вентиляцией, оптимизировать условия эксплуатации в расчете на определенные параметры трафика и статистически профилировать необходимую мощность для передачи его следующей волной.

Если рассматривать возможность применения этой технологии с самого начала реализации проекта, топологию того же типа можно распространить и на другие информационно-коммуникационные системы (например, центры обработки данных), уменьшив тем самым их энергопотребление и эмиссию парниковых газов.

Заключение

В свете растущей во всем мире и в информационно-телекоммуникационной индустрии значимости вопросов экономии энергии и сокращения выбросов парниковых газов производители источников питания все больше инициируют проекты, призванные снизить неблагоприятное воздействие на окружающую среду. ■