

Управление двигателем с помощью новых мощных полупроводниковых приборов

РАСТУЩИЕ ЦЕНЫ НА БЕНЗИН, А ТАКЖЕ ВСЁ БОЛЕЕ СТРОГИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ТОКСИЧНОСТИ В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ ВЕДУТ К НЕПРЕРЫВНОМУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ДВИГАТЕЛЕЙ В НАПРАВЛЕНИИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ, ЭКОНОМИЧНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ АГРЕГАТОВ С МИНИМАЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ.

УДОВЛЕТВОРИТЬ ЭТИ РАСТУЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ МОЖНО ПУТЁМ СОВМЕЩЕНИЯ ПОЛНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ И ПРЯМОГО (ИНЖЕКТОРНОГО) ВПРЫСКА ТОПЛИВА.

НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ТАКИХ GDI-ДВИГАТЕЛЕЙ (GASOLINE DIRECT INJECTION) УСТРОЙСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ БЕНЗИНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НЕ МОГУТ БЫТЬ СОЗДАНЫ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ "РАЗУМНЫХ" ПОЛУПРОВОДНИКОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДРОССЕЛЕМ, ИНЖЕКТОРОМ И ЗАЖИГАНИЕМ.

СОЗДАННЫЕ ФИРМОЙ INFINEON IGBT-МОДУЛИ ЗАЖИГАНИЯ, "ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ" ИС УПРАВЛЕНИЯ ДРОССЕЛЬНЫМ КЛАПАНОМ И СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, В СОЧЕТАНИИ С ТЕХНОЛОГИЕЙ "CHIP-ON-CHIP", ОТКРЫВАЮТ НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.

Многообразие параметров, которое необходимо обработать при реализации алгоритма управления современным двигателем, даёт основание предположить о необходимости современных 32-разрядных микроконтроллеров.

Вместе с программным обеспечением они образуют как бы "мозг", а электроника управления клапаном дросселя, впрыском и зажиганием — "мышцы" (рис. 1). Разумеется, наличие "интеллекта" или "разума" весьма условно.

Ниже с помощью трёх примеров использования современной элементной базы или так называемых "интеллектуальных силовых компонентов" будет показано, как представляется создание такой системы для автомобильных двигателей.

"РАЗУМНОЕ" ЗАЖИГАНИЕ НА IGBT BTS 2145

Прежние контактные или бесконтактные механические системы зажигания уже давно сменились на транзисторные (с катушкой зажигания без прерывателя), являющиеся на сегодняшний день стандартным вариантом.

Однако автоэлектроника не стоит на месте.

Принцип нового направления состоит в оснащении каждого цилиндра двигателя отдельной катушкой с интегрированной оконечной ступенью, состоянием которой контролирует система зажигания, корректируя возможные ошибки блока управления.

Для управления первичной обмоткой катушки зажигания оконечная ступень должна быть устойчивой к воздей-

ствиям внешней среды в автомобиле (электромагнитные излучения, вибрация, высокая температура и так далее).

Модули IGBT-зажигания в этом случае представляют особый интерес, так как имеют весьма привлекательные характеристики: уровень стандартной логики на входе, защиту от пробоя и короткого замыкания, защиту от электромагнитного излучения, небольшое напряжение насыщения и высокую рабочую температуру ($T_{\max} = 175^{\circ}\text{C}$).

В комбинации с высокой надёжностью и возможностью работы на индуктивную нагрузку, они представляют собой почти идеальные элементы для таких применений. Однако, наряду с этими превосходными качествами, современные системы зажигания должны обладать ещё рядом дополнительных функций. Под названием "интеллектуальный"

Block Diagram Engine Management

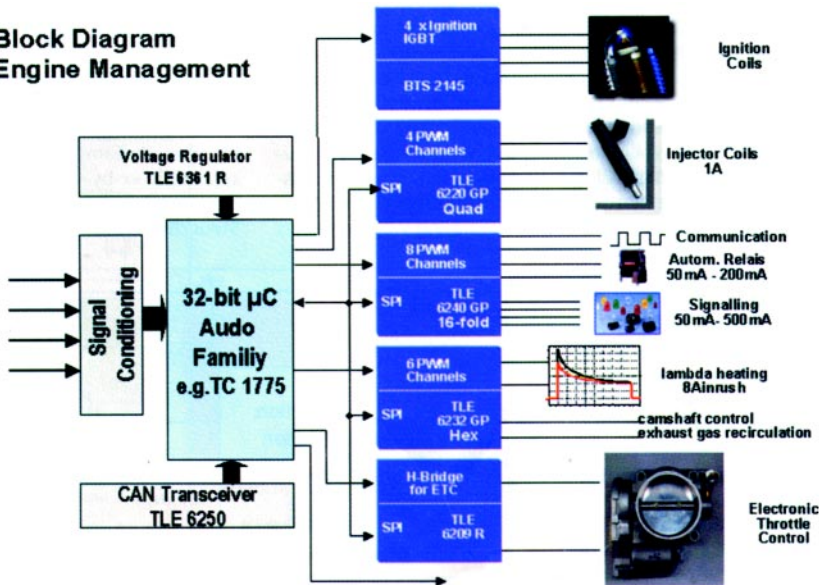


Рисунок 1 Блок-схема электронного управления двигателем

подразумевается полностью защищённый прибор с интегрированными элементами диагностики.

В системах управления ремнями или надувными подушками безопасности эти функции реализуются “разумными” мощными полупроводниками, изготовленными по современной смешанной биполярной, CMOS- и DMOS-технологии (BCD), для которой типовое напряжение пробоя находится в интервале от 55 до 60 В.

В системе зажигания, однако, имеют место большие токи и гораздо более высокие значения напряжения пробоя — вплоть до 500 В, что при монолитном варианте исполнения не может быть достигнуто одновременно для логики и оконечной ступени. Единственным выходом в этом случае является использование двух технологий, одна из которых реализует требования коммутации мощности, а другая — “интеллектуальности”.

На рис. 2 показан вариант *Chip-on-Chip*-решения фирмы INFINEON



Рисунок 2

“Интеллектуальный” модуль IGBT для системы зажигания.
Технология *Chip-on-Chip* (IGBT — базовый чип, SPT4 — Topchip)

TECHNOLOGIES с мощным базовым чипом (IGBT зажигания) и верхним “разумным” чипом, изготовленным по технологии SPT4 (процесс BCD).

Изготавливаемый таким образом модуль IGBT-зажигания BTS 2145 осуществляет дополнительные “умные” функции:

- ограничение тока;
- обратную связь по току и напряжению;
- контроль за превышением рабочей температуры;
- защиту от “переплюсовки”;
- запрет искрообразования при сбоях.

Блок-схема BTS 2145 (рис. 3) показывает разделение функций верхнего и базового чипов. Этот модуль, таким образом, не только соответствует требованиям “разумности”, но и обеспечивает минимальные затраты на производство, так как выпускается в дешёвом корпусе P-DSO 12.

ГОРИЗОНТЫ БУДУЩЕГО — ДИАГНОСТИКА ПОТОКА ИОНОВ

К средствам транспорта предъявляются всё более строгие требования по содержанию вредных веществ в выхлопных газах. На выполнение этого требования и на-

правлены следующие шаги модернизации систем зажигания.

С одной стороны, всё больше оптимизируется процесс горения топлива, что приводит к новым концепциям управления зажиганием, таким как, например, многоточечный поджиг, то есть многократное воспламенение в течение процесса горения. С другой стороны, диагностика неисправностей системы зажигания является обязательной для инженеров-проектировщиков. При этом анализ потока ионов и использование этой информации в разработке оценки состояния системы зажигания является одной из задач будущего.

МОЩНАЯ МОСТОВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКОЙ TLE 6209R

В автомобильной технике устойчиво побеждает технология *x by wire*, то есть замена механических управляющих механизмов электромеханическими исполнительными устройствами с электронным управлением. Аналогичным образом развивается и *drive by wire*, то есть замена дроссельной заслонки, механически соединённой с педалью акселератора, устройством с электронным управлением (*Electronic Throttle Control* — ETC).

На рис. 4 показана типовая дроссельная заслонка, которой управляет электрический двигатель через соответствующий передаточный механизм.

Этот привод поворачивает заслонку в положение, противоположное действию возвратной пружины. Посредством широтно-импульсной модуляции регулируется ток двигателя, а, следовательно, и вращающий момент. Одновременно регистрируются и сопоставляются фактический угол поворота и ток двигателя, то есть работает классиче-

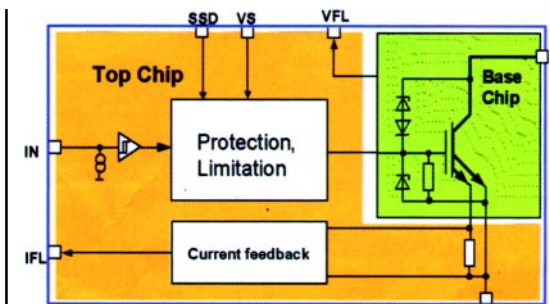


Рисунок 3 Блок-схема модуля IGBT BTS 2145

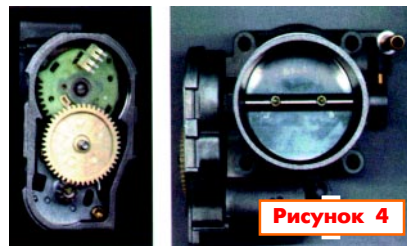


Рисунок 4

Исполнительный механизм дроссельной заслонки

ская система управления с обратной связью.

Дальнейшим развитием аналогичного режима управления станет анализ состава выхлопных газов и соответствующие схемы управления составом горючей смеси, которые улучшат её качество в системах с прямым впрыском.

Стимулом для внедрения такого рода электронных систем являются: сокращение выброса вредных веществ, экономия бензина, комфортные условия работы двигателя и систем безопасности, а также автоматизация движения.

Основным компонентом электронного управления заслонкой является мостовая микросхема TLE 6209. Она представляет собой интегральный Н-мост, предназначенный для решения задачи оптимального управления электродвигателем. На рис. 5 представлена блок-схема этого изделия.

Мощная часть изделия состоит из 4 интегральных N-канальных DMOS-транзисторов, соединённых в схему Н-моста. Все ключи имеют очень маленькое сопротивление $R_{ds(on)}$ — около 150 Ом при комнатной температуре. Специальная схема накачки генерирует напряжение, превышающее напряжение питания, необходимое для работы высоковольтных ключей.

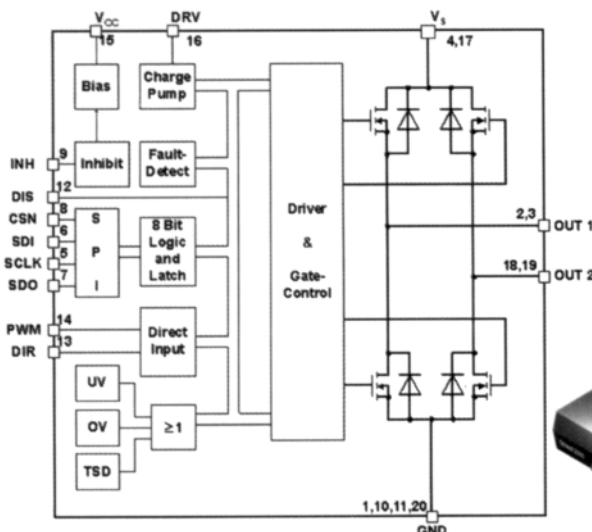


Рисунок 5 Блок-схема TLE 6209R

Оконечная ступень управляется непосредственно сигналами на входах PWM-DIR. В случае необходимости могут быть использованы входы INH и DIS. С их помощью оконечную ступень можно деактивировать. При INH = L изделие переходит в режим работы с малым током потребления — около 20 мкА, что особенно важно при работе системы непосредственно от аккумуляторной батареи. Микросхема выпускается в корпусе P-DSO-20 с отличными тепловыми характеристиками, позволяющими рассеивать мощность в несколько Вт.

Максимальное значение тока, а также частота Шопер-регулирования могут иметь 4 различных значения. Выходы TLE 6209 защищены от всех случаев короткого замыкания, включая короткое замыкание на массу, на напряжение питания и на нагрузку. Тем не менее, защита сама по себе недостаточна, и для надежности об ошибках необходимо сообщать в бортовой компьютер. Для этих целей в микросхему интегрирован 8-рядный SPI-интерфейс, который передаёт информацию о различных ошибках (рис. 7). Дополнительно SPI можно использовать для начальных установок в микросхеме, расширяя область её приме-

РЕГУЛЯТОР ТОКА И ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ SPI-ИНТЕРФЕЙС В ОДНОМ ЧИПЕ

Механическая блокировка электрического двигателя постоянного тока приводит к многократному увеличению тока относительно номинального значения. Это может произойти, например, в случае, если дроссельная заслонка примерзла. Холодный электродвигатель в этом случае будет потреблять большой ток, хотя момент, необходимый для того, чтобы оторвать заслонку, достигается при существенно меньших значениях.

Для уменьшения потерь мощности в этом случае в TLE 6209 предусмотрено прерывистое (Chopper) регулирование тока (рис. 6).

BIT	Diagnostic Register	Status bits	Chip Temperature	TLE 6209R Device State
7	Power Supply Fail	2 1		
6	not used			
5	Short to V _s			
4	Overload / Short to GND	H H	180°C	Temperature Shutdown
3	Open Load	H L	180°C	Temperature Warning
2	Temperature Warning	L H	140°C	Temperature Pre-Warning
1	Temperature Prewarning	L L		Normal Operation
0	Error Flag			

Рисунок 7 SPI-диагностика TLE 6209

BIT	Control Register	Bit 4	Bit 3	Chopper-OFF-Time
7	Status Register Reset			
6	Overvoltage Lockout ON/OFF	0	0	20µs
5	not used	0	1	40µs
4	MSB of 2bit OFF-Time	1	0	60µs
3	LSB of 2bit OFF-Time	1	1	80µs
2	PWM-Mode: Fast/Slow Decay			
1	MSB of 2bit Current Limit	Bit 1	Bit 0	Current Limit
0	LSB of 2bit Current Limit	0	0	4A
		0	1	5A
		1	0	6A
		1	1	7A

Рисунок 8 SPI-управление TLE 6209

Рисунок 6

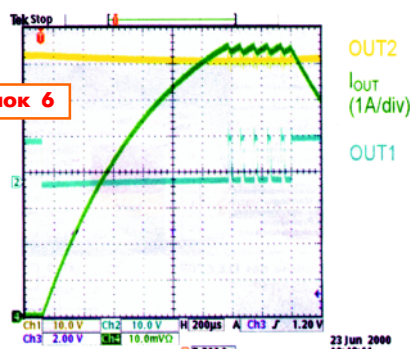
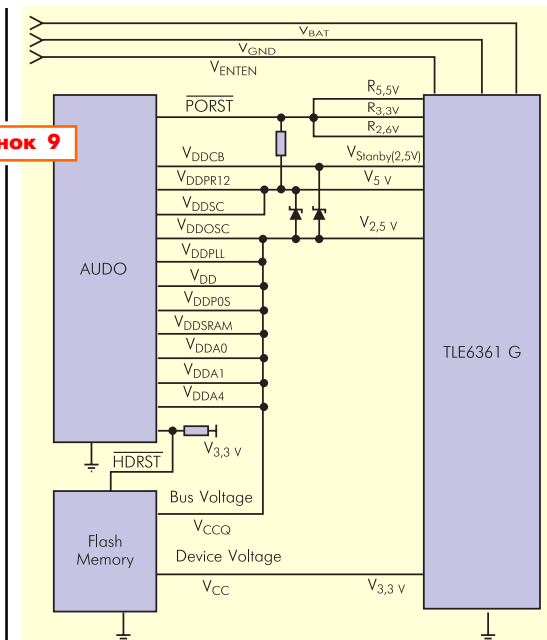


Рис. 6. Внутреннее Шопер-регулирование тока при 7 А. Ch1 = OUT1, Ch2 = OUT2, Ch3 = вход PWM, Ch4 = I out (1 A/div)

Рисунок 9



Питание микроконтроллера и Flash-памяти с помощью TLE 6361

нения. На рис. 8 показана структура разрядов управляющего SPI-регистра.

TLE 6209 выпускается в корпусе Power-SO, и в виде "открытого чипа" для гибридного монтажа. Она удовлетворяет многочисленным специфическим требованиям, предъявляемым к современным системам управления двигателями.

TLE 6361G — МИКРОСХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ДЛЯ 32-РАЗРЯДНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ, DSP И ПЕРИФЕРИИ

Микросхема питания TLE 6361G разработана фирмой INFINEON

TECHNOLOGIES специально для использования в 32-разрядных микроконтроллерных системах электронного управления автомобильными двигателями (рис. 9).

Уровни напряжения питания регулятора — 5, 3,3 и 2,6 В, что позволяет подключать также удалённые от основного блока компоненты, такие как, например, датчики. TLE 6361G может функционировать в 12- и 24-В бортовой сети, а также в 42-В сетях. Кроме этого, предусмотрено управление логикой сброса и дополнительными регистрами.

Высокий уровень потребления микроконтроллера в значительной степени определяет конструкцию элемента. Для минимизации потребляемой мощности напряжение питания от батареи будет поддерживаться на уровне 5,5 В.

Три линейных стабилизатора с малыми потерями формируют из него необходимые напряжения — 5, 3,3 и 2,6 В. В результате потребляемая мощность, по отношению к чисто линейному варианту стабилизатора, сокращается на 80%, то есть исчезает так называемое "горячее место" на печатной плате и гарантируется полное функционирование микросхемы в интервале от -40 до 125°C.

TLE 6361G (рис. 10) изготовлена по технологии (SPT4), которая объединяет биполярную, CMOS- и DMOS-технологии мощных транзисторов, а также допускает значение рабочего напряжения до 60 В.

Схема работает в так называемом режиме стабилизации тока и не требует каких бы то ни было дополнительных внешних элементов компенсации и стабилизации. Габаритные размеры определяются необходимыми пассивными компонентами, используемыми для реализации фильтра с высокой частотой переключения — не менее 330 кГц. Один из них — это катушка с индуктивностью около 22 мкГн, а второй — конденсатор ёмкостью 4,7 мкФ с низким значением ESR для минимизации помех.

Запатентованный метод управления ограничивает электромагнитное излучение на выводах частотами менее 10 МГц, что позволяет осуществлять глубокую фильтрацию посредством недорогих пассивных проходных фильтров.

При небольших входных напряжениях мощный транзистор с сопротивлением $R_{ds(on)} = 150$ мОм постоянно открыт, вследствие чего выходное напряжение формируется также в режиме "Low-Battery" (как, например, при морозе).

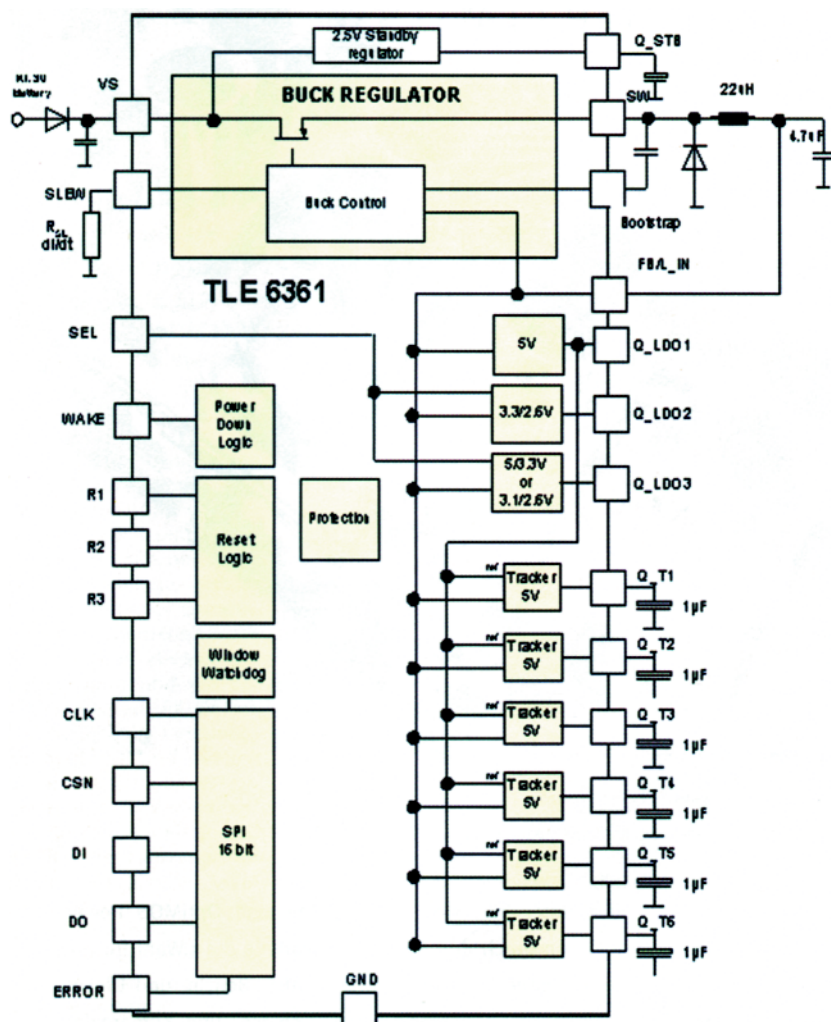


Рисунок 10 Блок-схема TLE 6361

Этим напряжением питаются линейные стабилизаторы, на *p-p-p*-транзисторах.

Для осуществления Low-Drop-преобразования напряжения с использованием *p-p-p*-транзисторов, их базы подключены к схеме накачки с частотой переключения > 1 МГц.

Первый линейный стабилизатор (LDO1) обеспечивает напряжение 5 В при токе 800 мА. LDO2 выдаёт на выбор напряжения 3,3 или 2,6 В при токе 400 мА для питания ядра, а LDO3 обеспечивает альтернативные 5 или 3,3 В при токе до 300 мА.

Во второй версии TLE6361 LDO3 может питать либо внешнюю Flash-память, либо служить для дополнительного питания ядра. В этом случае выходные напряжения составляют 3,1 или 2,6 В при токах нагрузки, как и в первой версии.

LDO3 может использоваться так же, как коммутируемый источник, при этом управление включением/выключением осуществляется через SPI. Последовательность, в которой выдаются отдельные напряжения LDO1, LDO2 и LDO3, так

называемая Power-Sequencing, определяется требованиями применяемых в автомобиле контроллеров, например, семейства AUO фирмы INFINEON.

Для питания внешних датчиков микросхема имеет 6 выходов LDO1 с напряжением 5 В, которое поддерживается с высокой точностью. Максимальный ток этих выходов — около 15 мА. Они могут также активироваться посредством SPI и включаться параллельно при необходимости более высокого значения тока.

Интерфейс SPI служит также для диагностики, формирования временных интервалов, а также задания момента сброса. Для перевода из режима низкого потребления (тока покоя) также используется SPI, через который сигналом Wakeup можно перевести схему в нормальный режим.

Такой набор функций делает TLE 6361 сильным претендентом на первенство среди других аналогичных изделий мировых производителей микросхем питания 32-разрядных микроконтроллеров в системах электронного управления двигателем.

ВЫВОДЫ

Интеллектуальные модули IGBT для систем зажигания, драйверы управления дроссельными заслонками и микросхемы преобразователей напряжения являются конкретными примерами инновационных разработок для различных систем управления двигателем.

В области силовой электроники к этому можно добавить:

- дискретные силовые транзисторы MOSFETS (OptiMOS), например, для управления группой инжекторов;
- полностью защищённые Low-Side коммутаторы на 4/6/8/16/18 каналов;
- полностью защищённые High-Side коммутаторы (семейство PROFET);
- полностью защищённые Low-Side коммутаторы (семейство HITFET);
- трансиверы CAN/LIN и другие;
- линейные стабилизаторы для преобразователей напряжения.

**“Design & Elektronik”,
февраль 2001 г.**