

Андрей Колдунов (г. Гродно)

GOODBYE, SCHOTTKY DIODE! ЗДРАВСТВУЙ, ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КОМПАКТНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ!



Новое, расширяющееся семейство контроллеров **MAX15062** и **MAX17501/2** от Maxim Integrated содержит модели как для работы с небольшой нагрузкой (<300 мА), так и более мощные (>1 А). Особенности семейства являются **сверхминиатюрный корпус** и наличие **интегрированных MOSFET**, что позволяет построить недорогой, компактный, высокоэффективный DC/DC с широким входным диапазоном питающих напряжений и **минимумом внешних элементов** – для его работы необходимо всего 3...5 малогабаритных компонентов.

Источники питания (ИП) для промышленной и, особенно, автомобильной аппаратуры, должны быть спроектированы со значительным запасом по напряжению. Дело в том, что в реальных условиях эксплуатации на входные шины ИП воздействуют разнообразные помехи и наводки, а в автомобильной технике еще возможны аварийные ситуации (например, обрыв в цепи аккумулятора), которые не должны приводить к выходу из строя самого ИП и питаемого им устройства.

Требования по обеспечению электромагнитной совместимости в части устойчивости к электромагнитным помехам для устройств, подключаемых к электрическим сетям низкого напряжения, устанавливает стандарт ГОСТ Р 51317.6.1 – 2006 [1] (IEC 61000-6-1:2005). В частности, устройство должно выдерживать на шинах питания:

- Наносекундные импульсные помехи (длительность фронта импульса/длительность импульса 5/50 нс, частота импульсов 5 кГц) амплитудой ±500 В,

- Микросекундные импульсные помехи (длительность фронта импульса/длительность импульса 1/50 мкс) амплитудой ±500 В,

- Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями (частота 0,15...80 МГц, глубина амплитудной модуляции 80%, частота модуляции 1 кГц) напряжением 3 В.

Кроме того, источники питания для модулей промышленного оборудования должны корректно работать при любом входном напряжении в пределах 12...24...36 В, иметь высокий КПД, а также минимальные размеры. Поэтому обычно приходится использовать срав-

нительно высоковольтный преобразователь напряжения (с максимально допустимым входным напряжением от 50 В и выше) и, желательно, синхронный. Правильно спроектированный синхронный преобразователь имеет на 3...10% больший КПД, чем его несинхронные аналоги, и не нуждается в диоде, который обычно является самым большим после дросселя компонентом преобразователя. Размеры синхронного преобразователя зависят, в основном, только от размеров дросселя и конденсаторов фильтра, которые тем меньше, чем выше рабочая частота преобразователя. Поэтому для уменьшения размеров схемы современный преобразователь должен работать на частотах выше 300...500 кГц.

Требования к автомобильной электронике гораздо жестче, их регламентирует стандарт ГОСТ 28751-90 [2] (международные стандарты ISO 7637-2 и ISO 16750-2). В частности, в бортовой сети могут быть кратковременные повышения напряжения и импульсы амплитудой до 25...100 В обих полярностей – при включении/выключении индуктивных нагрузок, прерывании тока катушки зажигания, включении и отключении двигателя и при разнообразных коммутационных процессах. Конечно, в современном автомобиле имеются встроенные модули защиты, однако они не дают 100% гарантии. Поэтому, несмотря на довольно низкое напряжение в бортовой сети (порядка 12...14,4 В для автомобилей с 12 В бортовой сетью), разрабатываемые для автомобильных применений устройства должны выдерживать импульсы амплитудой до 100...110 В.

Для защиты цепей питания от импульсных помех обычно используют

интегрирующие RC- или LC-цепочки с конденсатором значительной емкости, дополняя их элементами активной защиты – варисторами или супрессорами. Для защиты от превышения напряжения можно использовать специализированные микросхемы – например, **MAX6397**/**MAX6398** (защита от повышенного напряжения) или **MAX16126**/**MAX16127** (защита от неправильной полярности и повышенного напряжения).

Многие производители выпускают специализированные микросхемы для работы в широком диапазоне питающих напряжений. Из новинок Maxim Integrated стоит отметить **MAX15062** [3] (максимальный ток нагрузки – до 300 мА), **MAX17501** [4] (до 500 мА), **MAX17502** [5] (до 1 А). Они работоспособны при входном напряжении в пределах 4,5...60 В, что идеально подходит для промышленных и автомобильных преобразователей с напряжением питания 12...36 В. На момент написания статьи эти чипы являлись самыми маленькими buck-конвертерами с интегрированными MOSFET-ключами (размер корпуса – всего 2x2 или 2x3 мм!) и единственными на рынке синхронными преобразователями в столь малом корпусе и со столь широким диапазоном питающего напряжения. Высокая рабочая частота вкупе с пиковым КПД выше 90% и ничтожным потреблением в режиме PFM на малых токах позволяет создать на базе этих чипов высокоэффективный преобразователь минимальных размеров. Микросхемы также могут похвастаться отличной защитой от короткого замыкания выхода – производителем заявлено неограниченное время нахождения в этом состоянии без ограничений по напряжению питания.

MAX17501 и ее более мощный аналог MAX17502 полностью совместимы по подключению внешних компонентов и типу корпуса (TDFN-10, размер корпуса 2x3 мм, рисунок 1), за исключением MAX17502H, выпускающейся только в корпусе TSSOP-14. Структурная схема микросхемы показана на рисунке 2, основные электрические параметры приведены в таблице 1. Из других особенностей микросхем следует отме-

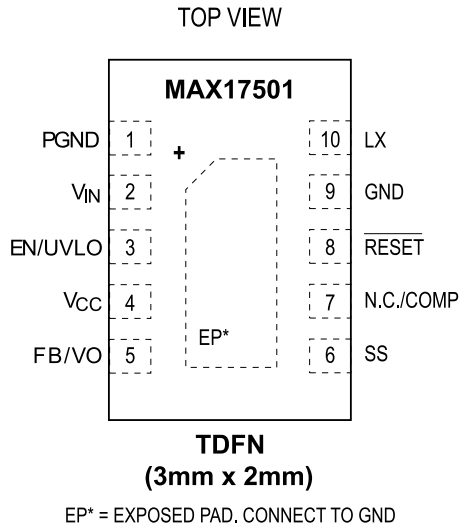


Рис. 1. Корпус MAX1501/MAX17502

тить р-канальный транзистор в верхней части полумоста — это избавило от необходимости использования бутстрепного конденсатора и позволило поднять коэффициент заполнения импульсов до максимума: максимальное выходное напряжение может достигать 92...96,5% от входного. Также у микросхем имеется маломощный линейный регулятор (напряжение 5 В, ток ограничения примерно 40 мА), выход которого подключен к ножке V_{CC}. Однако питать от этого источника внешние нагрузки следует с осторожностью — от него на кристалле запитаны внутренние блоки и драйвер нижнего транзистора, и при превышении тока возможна некорректная работа импульсного преобразователя. При входном напряжении менее 12 В потребляемый от этого источника ток не должен превышать 10 мА, при входном напряжении от 12 до 60 В — 2 мА.

Из других особенностей микросхем — программируемая с помощью одного внешнего конденсатора схема плавного старта soft-start, наличие встроенного супервизора питания с задержкой появления сигнала (выход RESET) и входа включения EN/UVLO с гистерезисом переключения. Микросхема способна корректно включиться, даже если на ее выходе внешним источником установлено ненулевое напряжение — при этом всегда верхний транзистор полумоста открывается первым (на землю выход не замыкается). При выключении преобразователя оба транзистора запираются, не замыкая выход, таким образом, преобразователь теоретически можно использовать для «умощнения» дежурного маломощного источника, не используя развязывающие диоды. Также микросхемы оснащены защитой от перегрева, срабатывающей при температуре 165°C, с гистерезисом переключения примерно 10 градусов.

Типовая схема включения чипов показана на рисунке 3. Схема справед-

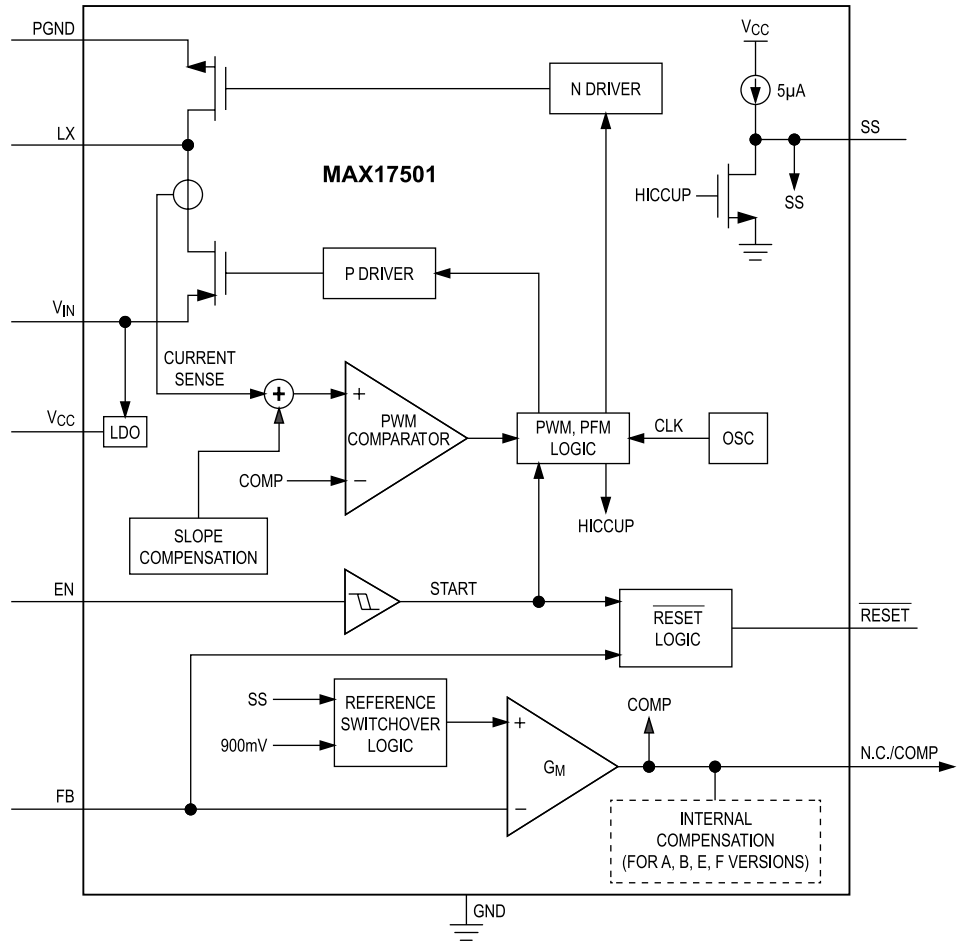


Рис. 2. Структурная схема MAX17501

лива для изделий с регулируемым выходным напряжением (индексы G и H), для остальных (рисунок 4) корректирующая цепочка на входе COMP не нужна — у них внутренняя коррекция, поэтому эту ножку нужно оставить неподключенной, а вход обратной связи FB/VO соединяется непосредственно с выходом преобразователя. Таким образом, для функционирования микросхем с фиксированным выходным напряжением достаточно всего пяти внешних компонентов — C1...C4 и L1 (причем в некоторых случаях C1 можно не устанавливать, об этом — далее), что делает микросхему действительно **простейшим преобразователем**, особенно по сравнению с прямыми конкурентами — им требуется минимум на 3...6 внешних компонентов больше, плюс необходим диод, часто занимающий гораздо больше места, чем сама микросхема. «Долой диоды Шоттки!»

Микросхемы MAX17501A и MAX17501B при величине тока нагрузки менее примерно 62,5 мА работают в режиме PFM («старт-стопный»), при превышении этого тока они автоматически переходят в режим PWM. В PFM максимальный ток через дроссель ограничен значением 125 мА, и генератор работает до тех пор, пока выходное напряжение не повысится до величины 103,3% от номинального значения, по-

сле чего он останавливается, ключи закрываются, и микросхема переходит в спящий режим с крайне малым потреблением. Генерация возобновится после того, как выходное напряжение просядет до величины 101,3% от номинального. Очевидно, что в этом режиме пульсации выходного напряжения чуть выше, чем в режиме PWM, однако режим PFM позволяет снизить потребляемый преобразователем ток в десятки раз, что критично для устройств с автономным питанием.

Минимальное входное напряжение преобразователя зависит от выходных напряжения и тока, сопротивления канала ключа и коэффициента заполнения и определяется по формуле:

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + (I_{OUT(MAX)} \times (R_{DCR} + 0,47))}{D_{MAX}} + (I_{OUT(MAX)} \times 0,73)$$

где $I_{OUT(MAX)}$ — максимальный ток нагрузки, R_{DCR} — активное сопротивление дросселя, D_{MAX} — максимальный коэффициент заполнения (равен 0,965 для микросхем с индексом H и 0,92 — для остальных). Максимальное входное напряжение зависит от выходного, частоты переключения $f_{SW(MAX)}$ (равна 320 кГц для микросхем с индексом H и 640 кГц — для остальных) и минимальной длительности открытого состояния верхнего ключа $t_{ON(MIN)}$ (макси-

Таблица 1. Основные электрические параметры линеек MAX15062, MAX17501/17502

Наименование	Тип корпуса	Выходное напряжение, В	Потребляемый ток, мА	Ток нагрузки (max), А	Рабочая частота, кГц	Режим работы
MAX15062AATA+	8 TDFN	3,3	2,5 (0,095*)	0,3	500	PFM/PWM
MAX15062BATA+	8 TDFN	5	2,5 (0,095*)	0,3	500	PFM/PWM
MAX17501AATB+	10 TDFN	3,3	4,75 (0,09*)	0,5	600	PFM/PWM
MAX17501BATB+	10 TDFN	5	4,75 (0,09*)	0,5	600	PFM/PWM
MAX17501EATB+	10 TDFN	3,3	4,75	0,5	600	PWM
MAX17501FATB+	10 TDFN	5	4,75	0,5	600	PWM
MAX17501GATB+	10 TDFN	Регулируемое**	4,75	0,5	600	PWM
MAX17501HATB+	10 TDFN	Регулируемое***	2,5	0,5	300	PWM
MAX17502EATB+	10 TDFN	3,3	4,75	1	600	PWM
MAX17502FATB+	10 TDFN	5	4,75	1	600	PWM
MAX17502GATB+	10 TDFN	Регулируемое**	4,75	1	600	PWM
MAX17502HATB+	14 TSSOP	Регулируемое***	2,5	1	300	PWM

* – Без нагрузки, в режиме PFM.

** – Диапазон регулирования от 0,9 В до $(0,92 \cdot V_{IN})$ В.

*** – Диапазон регулирования от 0,9 В до $(0,965 \cdot V_{IN})$ В.

мум 120 нс, типовое 75 нс), и не должно превышать, значения рассчитанного по формуле:

$$V_{IN(MAX)} = \frac{V_{OUT}}{f_{SW(MAX)} \times t_{ON(MIN)}},$$

иначе выходное напряжение будет завышено из-за ненулевого времени $t_{ON(MIN)}$.

Защита выхода от перегрузки по току у микросхем двухступенчатая: верхний транзистор отключается при значении протекающего через него тока более 0,76/1,65 А (у MAX17501/MAX17502, соответственно) но при этом работа преобразователя не нарушается, а при токе более 0,78/1,7 А срабатывает триггерная система защиты (*hiccup mode*), и оба ключевых транзистора запираются. Также триггер срабатывает после того, как выходное напряжение по каким-либо причинам просядет ниже 71% от заданного. После срабатывания триггера повторный старт произойдет только через 32768 тактов генератора, то есть примерно через 50...100 мс, и начнется с цикла soft-start.

Продолжительность цикла Soft-start зависит от емкости конденсатора C3, его емкость рассчитывается по формуле:

$$C_{SS} = 5,55 \times t_{SS},$$

где t_{SS} – длительность, мс, и C_{SS} – емкость C3, нф. Для программирования длительности цикла 600 мкс емкость конденсатора должна быть 3300 пф. Длительность цикла Soft-start выбирается такой, чтобы ток при старте ($C_{SEL} \times V_{OUT}/t_{SS}$) был менее 150/300 мА (MAX17501/MAX17502), здесь C_{SEL} – емкость конденсатора C4 и нагрузки преобразователя. Во время старта, пока выходное напряжение не превы-

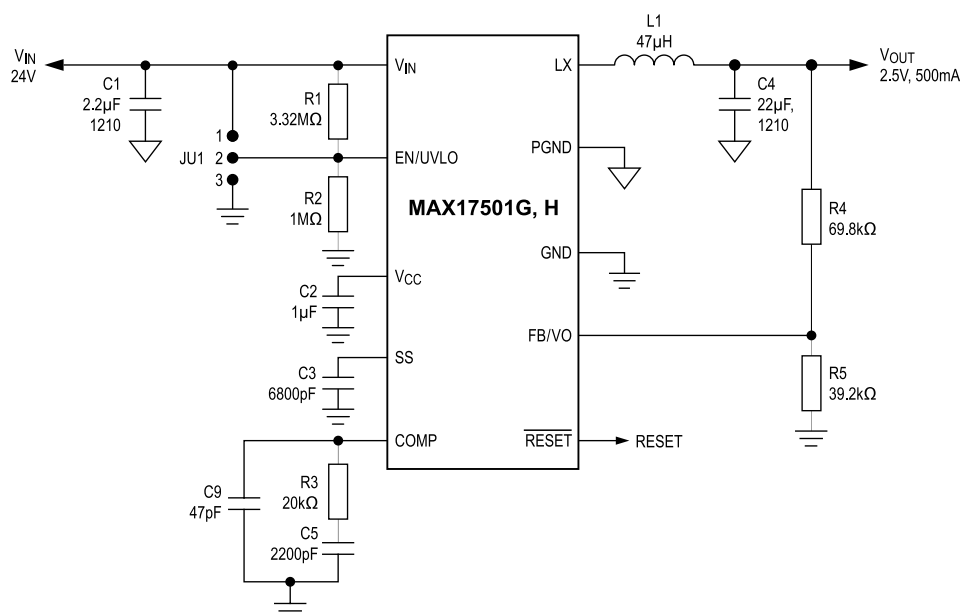


Рис. 3. Типовая схема включения MAX17501(G и H)

сило 71% от номинального, генератор 600 кГц версий (микросхемы с индексом A...G) работает на частоте 300 кГц.

Для расчета выходного напряжения у микросхем с индексами G и H рекомендуется выбрать параллельное сопротивление R_P (оно необходимо только для расчетов) менее 15 кОм (G) или менее 30 кОм (H), затем сопротивление R_4 определяется по формуле:

$$R_4 = \frac{R_p \times V_{OUT}}{0,9},$$

а сопротивление R_5

$$R_5 = \frac{R_4 \times 0,9}{(V_{OUT} - 0,9)}.$$

Выходное напряжение у микросхем с фиксированным напряжением мож-

но увеличить, добавив между выходом преобразователя и входом FB/VO резистор и подобрав его сопротивление, однако при этом могут возникнуть проблемы с внутренней коррекцией.

Вход включения EN/UVLO позволяет с помощью внешнего делителя на двух резисторах задавать любое пороговое напряжение включения преобразователя. Для простого включения вход EN/UVLO можно соединить непосредственно с входом питания преобразователя V_{IN} , или управлять им с помощью внешнего контроллера (напряжение для включения может быть любым в диапазоне от 1,25 В до V_{IN} , ток не более 200 нА). В выключенном состоянии потребляемый микросхемой ток не превышает 1 мкА. Сопротивление резистора R_1 рекомендуется выбрать равным 3,3 МОм, тогда со-

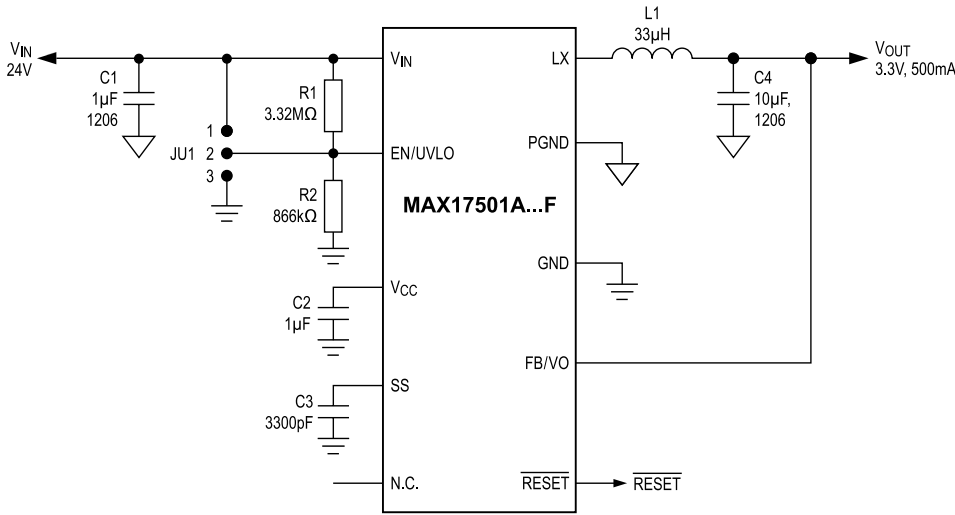


Рис. 4. Типовая схема включения MAX17501 (A...F)

противление R2 рассчитывается по формуле:

$$R_2 = \frac{R_1 \times 1,218}{(V_{INU} - 1,218)},$$

где V_{INU} — минимальное напряжение, при котором должен включаться преобразователь. Для микросхем с регулируемым выходным напряжением, V_{INU} должно быть больше $0,8 \times V_{OUT}$.

Выход RESET выполнен по схеме с открытым коллектором, напряжение на нем не должно превышать 6 В, а ток — 2 мА. Как только выходное напряжение достигнет значения 95,5% от номинального и пройдет 1024 тактов генератора, на этом выходе установится уровень логической единицы. При снижении выходного напряжения до 92,5% от номинального на выходе RESET установится уровень логического нуля, без задержки. Этот выход можно подключать непосредственно ко входу RESET микроконтроллера с инверсной логикой работы, добавив при необходимости «подтягивающий» резистор к шине питания микроконтроллера.

Благодаря высокой рабочей частоте, минимальная емкость входного конденсатора C1 может быть от 2,2 мкФ и больше, а при низком импедансе источника питания и малой длине соединительных проводов его можно вообще не устанавливать. Если длина проводов от источника питания довольно значительная, то рекомендуется зашунтировать C1 электролитическим конденсатором большой емкости. Минимальная емкость выходного конденсатора C4 должна быть от 22 мкФ для напряжения 3,3 В или от 10 мкФ для 5 В. Оба конденсатора C1 и C4 рекомендуется использовать с диэлектриком типа X7R. Индуктивность дросселя L1 должна быть не меньше значения, рассчитанного по формуле:

$$L_1 = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{0,15 \times V_{IN} \times f_{SW}},$$

причем отношение $(V_{OUT}/(L1 \times f_{SW}))$ должно лежать для MAX17501 в диапазоне 150...250 мА, а для MAX17502 — в диапазоне 300...500 мА. Ток насыщения дросселя должен превышать максимальный ток через ключ (0,76/1,65 А для MAX17501/MAX17502).

Микросхемы работают на довольно высокой частоте, поэтому для надежной работы преобразователя при трассировке нужно соблюдать следующие правила:

- Все дорожки, по которым течет пульсирующий ток, должны быть минимальной длины и максимально широкими, по возможности не образуя паразитных петель;
- Земляные выводы конденсаторов C1, C4 и вывод PGND микросхемы должны соединяться в одной точке на минимальных расстояниях друг от друга и от входа/выхода преобразователя. Конденсатор C2 должен быть как можно ближе к выводам VCC и PGND;
- Аналоговая GND и силовая PGND земли должны соединяться в одной точке, где пульсации тока минимальны (оптимально — возле конденсатора C2) и занимать максимальную площадь на нижнем слое двухслойной платы;
- Элементы внешней компенсации и обратной связи, а также дорожки к ним должны быть как можно дальше от дросселя и дорожек, по которым течет пульсирующий ток;
- Для надежного отвода тепла от кристалла микросхемы на нижний слой платы под днищем микросхемы необходимо предусмотреть несколько металлизированных отверстий.

При разработке нового устройства можно воспользоваться онлайн- или оффлайн-калькулятором EE-Sim [6],

для доступа к которому необходимо зарегистрироваться на сайте. Приложение после ввода исходных данных автоматически рассчитывает номиналы внешних компонентов, строит основные графики и подбирает компоненты для заказа. К сожалению, на момент написания статьи в базе приложения была только микросхема MAX15062.

Для быстрого ознакомления с возможностями микросхем MAX15062, MAX17501 или MAX17502 компания Maxim Integrated предлагает отладочные платы на базе любой микросхемы из этих серий (например, плата MAX17501ATEVKIT на базе MAX17501AATB+). Плата представляет собой полностью законченное изделие эталонного дизайна, и для запуска преобразователя достаточно только подключить нагрузку и подать питание. Некоторые платы доступны для заказа со склада КОМПЭЛ.

Литература

1. ГОСТ Р 51317.6.1-2006. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний. <http://standartgost.ru/ГОСТ Р 51317.6.1-2006>
2. ГОСТ 28751-90. Электрооборудование автомобилей. Электромагнитная совместимость. Кондуктивные помехи по цепям питания. Требования и методы испытаний. <http://standartgost.ru/ГОСТ 28751-90>
3. Андрей Самоделов. Средства первой необходимости: защита цепей питания и других элементов схем на базе решений ST//Новости электроники, №2, 2013.
4. Artur Seibt. Отрицательное входное сопротивление и входной ток//ЭК. Силовая электроника, №1, 2013.
5. MAX16126/MAX16127: Load-Dump/Reverse-Voltage Protection Circuits <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/7394>
6. MAX17501: 60V, 500mA, Ultra-Small, High-Efficiency, Synchronous Step-Down DC-DC Converter <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/7554>
7. MAX17502: 60V, 500mA, Ultra-Small, High-Efficiency, Synchronous Step-Down DC-DC Converter <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/7556>

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