

Александр Калачев (г. Барнаул)

# С НИЗКИМ СТАРТОВЫМ ТОКОМ: КОРРЕКТОРЫ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ОТ КОМПАНИИ STM



На основе универсальных **ККМ-контроллеров** серий **L6562A/L6563S/L6563H/L6564** можно строить источники питания любого диапазона мощности – от малоомощных (менее 100 Вт) до оперирующих киловаттами. При этом величина их стартового тока по сравнению с конкурентами в среднем меньше на 30...50%.

На сегодняшний день существуют два подхода к построению источников питания, дающих на выходе стабильное выходное напряжение или ток – источники питания с параметрической и с импульсной стабилизацией.

В линейных источниках стабилизация выходного параметра осуществляется за счет нелинейного элемента. Импульсные – работают по принципу управления энергией в катушке индуктивности с помощью одного или нескольких коммутирующих ключей.

Преимущество первых – низкий уровень высокочастотных шумов, что важно для аналоговой аппаратуры. За импульсными источниками – более высокие мощности и лучшее соотношение мощности и размеров. Кроме того, они имеют более высокий КПД. Вопросы сложности или простоты схемотехники являются весьма спорными, т.к. современная промышленность предлагает широкий спектр решений, в том числе и однокристальных, для любых приложений.

Но для сети линейные и импульсные источники питания являются нелинейной нагрузкой – форма потребляемого тока будет отличаться от синусоидальной, что приведет к возникновению дополнительных гармоник, а следовательно – к появлению реактивной составляющей мощности, дополнительному нагреву и потерям в линиях электропередач. Кроме того, другим потребителям энергии приходится применять дополнительные меры для защиты от сетевых помех – особенно в случае импульсных блоков высокой мощности, работающих под нагрузкой. Ограничения на допустимые наводки в сети от работающего прибора регламентируются соответствующими международными и государственными стандартами. Можно не сомневается,

что российские стандарты в этой области будут ужесточаться и приближаться к мировым. В итоге именно те компании, которые осваивают техники снижения сетевых помех, получают значительное преимущество над конкурентами.

Для снижения влияния потребителя тока на сеть применяются активные или пассивные корректоры. Пассивные корректоры представляют собой дроссели, чаще всего применяемые в устройствах небольшой мощности и некритичные к габаритным размерам. В остальных случаях целесообразно применение активных высокочастотных корректоров,

часто называемых корректорами коэффициента мощности (ККМ или PFC – Power Factor Correction). К основным задачам ККМ можно отнести:

- Придание потребляемому от сети току синусоидальной формы (снижение коэффициента гармоник);
- Ограничение выходной мощности;
- Защиту от короткого замыкания;
- Защиту от пониженного или повышенного напряжений.

Фактически, ККМ можно рассматривать как некий буферный каскад (схему), снижающий взаимное влияние питающей сети и источника питания.

Типовая структура корректора мощности представлена на рисунке 1.

ККМ может быть реализован не только на дискретных элементах, но и при помощи специализированных микросхем – контроллеров ККМ (PFC-корректоры). К основным произво-

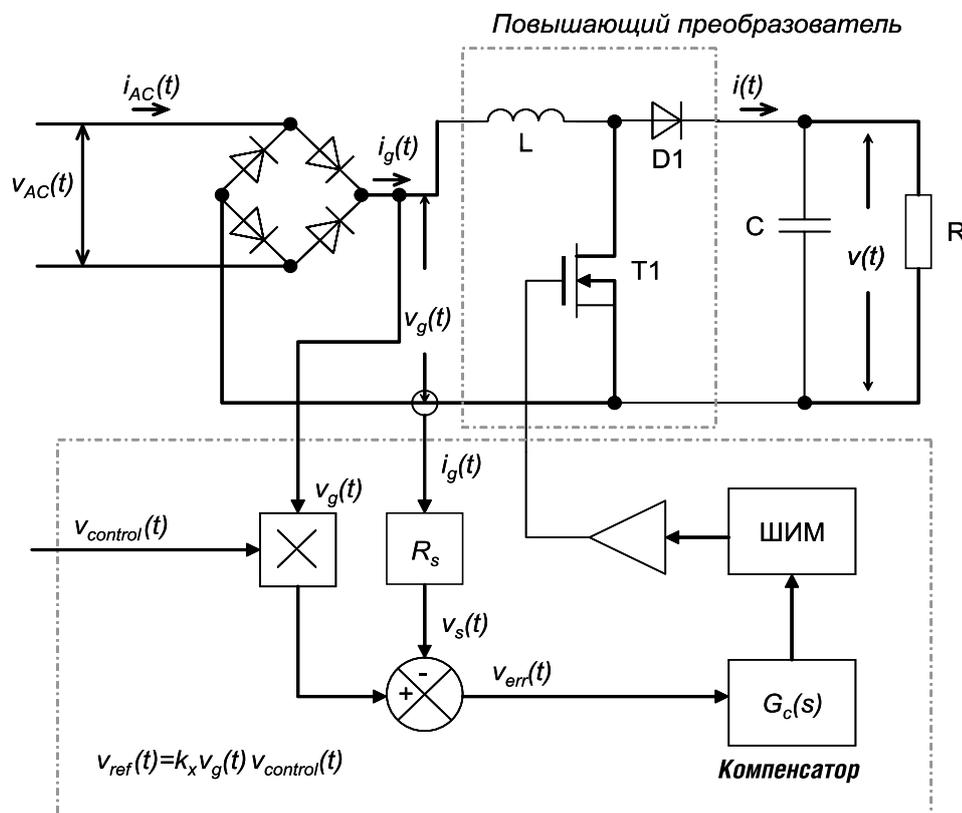


Рис. 1. Типовая схема корректора коэффициента мощности

Таблица 1. Контроллеры корректора коэффициента мощности STMicroelectronics

Микросхема	Корпус	Режим работы	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА активный/стартовый (низкопотребляющий)	Примечание
<b>L4981</b>	PDIP 20; SO-20	CCM	19,5	12/0,3	Мягкий старт; защита от перенапряжения, перегрузки по току
<b>L6561</b>	DIP-8; SO-8	TM	11...18	4/0,05	Защита от перенапряжения
<b>L6562A</b>	DIP-8; SO-8	TM, Fixed-Off-Time	10,5...22,5	3,5/0,03	Защита от перенапряжения
<b>L6562AT</b>	SO-8	TM, Fixed-Off-Time	10,5...22,5	3,5/0,03	Защита от перенапряжения
<b>L6563H</b>	SO-16	TM, tracking boost	10,3...22,5	5/0,09	Высоковольтный старт; защита от перенапряжения, разрыва обратной связи, насыщения индуктора
<b>L6563S</b>	SO-14	TM, tracking boost	10,3...22,5	5/0,09	Высоковольтный старт; защита от перенапряжения, разрыва обратной связи, насыщения индуктора
<b>L6564</b>	SSOP 10	TM, tracking boost	10,3...22,5	5/0,09	Высоковольтный старт; защита от перенапряжения, разрыва обратной связи, насыщения индуктора

дителям контроллеров корректоров коэффициента мощности относятся:

- STMicroelectronics – **L4981, L656x**;
- Texas Instruments – **UCx854, UC28xx**;
- International Rectifier – **IR115x**;
- ON Semiconductor – **MC3x262, MC33368, NCP165x, NCP160x**;
- Fairchild Semiconductor – **FAN48xx, FAN69x, FAN7527**;
- Linear Technology Corporation – **LTC1248**.

### ККМ-контроллеры STMicroelectronics

Компания STMicroelectronics предлагает несколько серий производственных контроллеров ККМ, способных обеспечить различные режимы работы прибора. Дополнительные опции упрощают построение импульсных источников питания, учитывая стандарты энергосбережения и требования к уровню вносимых в питающую сеть искажений.

Микросхема контроллера корректора мощности **L4981** позволяет построить высокоэффективные блоки питания с синусоидальным током потребления. Коэффициент мощности может достигать величины 0,99 при низком уровне гармоник. Сама микросхема реализована по технологии VCD 60П и работает по принципу контроля среднего тока (CCM), поддерживая синусоидальность потребляемого тока.

L4981 может быть использована в системах с питающими напряжениями 85...265 В без внешнего драйвера силового ключа. Серия «А» для ШИМ-контроллера использует фиксированную частоту; серия «В» для оптимизации входного фильтра дополнительно использует частотную модуляцию.

Также в состав микросхемы входят: прецизионный источник опорного напряжения, усилитель рассогласования, схема блокировки работы при критическом падении напряжения, датчик тока, схема мягкого старта и защита от пере-

напряжения и перегрузки по току. Уровень срабатывания защиты по току для **L4981A** задается при помощи внешнего резистора; для повышения точности в серии **L4981B** используется внешний делитель напряжения.

Ключевые особенности:

- Boost-ШИМ с коэффициентом мощности до 0,99;
- Искажение тока не более 5%;
- Универсальный вход;
- Мощный выходной каскад (биполярные и МОП-транзисторы);
- Защита от просадки напряжения с гистерезисом и программируемым порогом включения;
- Встроенный источник опорного напряжения с точностью 2% (доступен извне);
- Низкий ток запуска (~0,3 мА);
- Система мягкого включения.

Серия **L6561** является улучшенной версией PFC-контроллера **L6560** (полностью с ним совместима). Основные новшества:

- Улучшенный аналоговый множитель, позволяющий устройству работать в широком диапазоне входных напряжений (от 85 до 265 В) с превосходными показателями коэффициента гармоник (THD);
- Стартовый ток уменьшен до нескольких миллиампер (~4 мА);
- Добавлен вывод разрешения работы, гарантирующий низкое энергопотребление в режиме ожидания (*stand by*).

Ключевые возможности, воплощенные в смешанной технологии VCD:

- Ультранизкий стартовый ток (~50 мкА);
- 1% встроенный источник опорного напряжения;
- Программируемая защита от перенапряжения;
- Точковый датчик без внешнего фильтра низких частот;
- Малый ток покоя.

Выходной каскад способен управлять силовыми МОП- или IGBT-ключами

с токами управления до 400 мА. Микросхема работает в переходном режиме работы корректоров коэффициента мощности – Transition Mode (TM) – промежуточный режим между непрерывным (CCM) и прерывистым (DCM). L6561 оптимизирована для балластных схем питания газоразрядных ламп, сетевых адаптеров, импульсных источников питания.

Контроллер ККМ **L6562A/L6562AT** также работает в переходном режиме (TM) и совместим выводов с предшественниками L6561 и L6562. Его высоколинейный множитель имеет специальную схему, уменьшающую рассогласование входного переменного тока, что позволяет оперировать в широком диапазоне входных напряжений с низким коэффициентом гармоник при различных нагрузках. Выходное напряжение контролируется операционным усилителем с высокоточным источником опорного напряжения (до 1% точности).

L6562A/L6562AT в режиме покоя имеет потребление порядка 60 мкА и рабочий ток всего 5 мА. Наличие входа управления включением/выключением облегчает создание конечных устройств, отвечающих требованиям стандартов Blue Angel, EnergyStar, Energy2000 и ряда других.

Эффективная двухуровневая система защиты от перенапряжения срабатывает даже в случае возникновения перегрузки в момент запуска корректора или же в случае отрыва нагрузки при работе.

Выходной каскад способен обеспечить выходной ток до 600 мА и входной до 800 мА, что является достаточным для управления мощными силовыми MOSFETs или IGBT-ключами. В дополнение к указанным выше возможностям L6562A может оперировать в проприетарном режиме фиксированного времени выключения (*Fixed-Off-Time*) – рисунок 2.

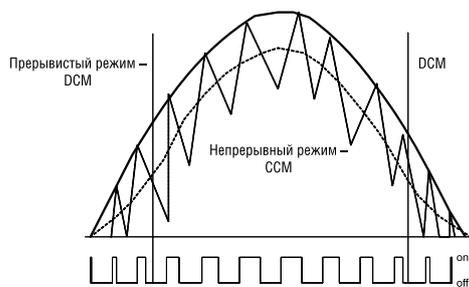


Рис. 2. Временные диаграммы работы ККМ-контроллера в режиме Fixed-Off-Time

Серии ККМ-контроллеров **L6563**, **L6563S**, **L6563H**, **L6564** построены по схеме типового корректора коэффициента мощности, работающего в режиме ТМ с рядом дополнительных возможностей.

L6563, L6563S имеют режим работы Tracking boost, двунаправленный вход предупреждения напряжения, вход разрешения работы, прецизионный источник опорного напряжения (точность при 25°C в пределах 1...1,5%). Кроме того, в микросхему интегрированы: схемы защиты от перенапряжения с настраиваемым порогом, разрыва контура обратной связи (выключение микросхемы), насыщения индуктора (выключение микросхемы); программируемый детектор критического падения переменного напряжения. Максимальный ток потребления **L6563x** составляет не более 6 мА в активном режиме, стартовый ток менее 100 мкА.

**Микросхема контроллера корректора коэффициента мощности L6562A**

Сферы применения ККМ-контроллера включают в себя:

- Импульсные блоки питания, отвечающие требованиям стандартов IEC61000-3-2 (телевизоры, мониторы, компьютеры, игровые консоли);

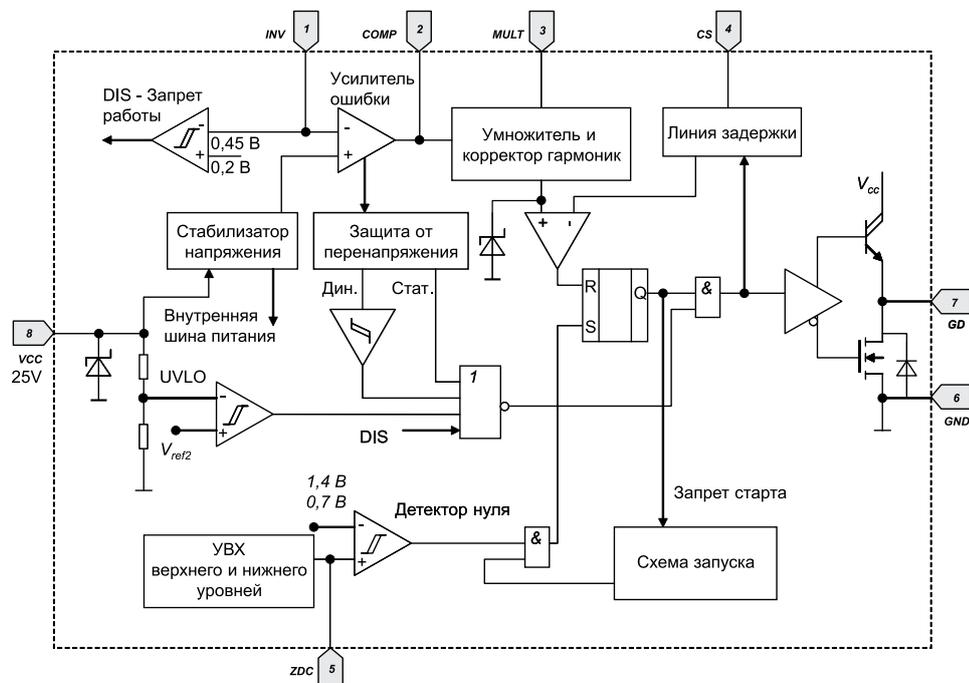


Рис. 3. Структурная схема ККМ-контроллера L6562A

- AC/DC-преобразователи/зарядные устройства с мощностью до 400 Вт;
- Электронный балласт;
- Входной уровень серверов и веб-серверов.

Ключевыми особенностями L6562A являются:

- Проприетарное решение умножителя;
- Настраиваемые уровни защиты от перенапряжения;
- Ультранизкий стартовый ток – 30 мкА;
- Низкий ток покоя – 2,5 мА;
- Мощный выходной каскад для управления силовыми ключами – 600, 800 мА.

Микросхемы выпускаются в компактных восьмивыводных корпусах DIP-8 и

SO-8. Структурная схема L6562A показана на рисунке 3.

Инверсный вход усилителя ошибки разделяет функции вывода разрешения работы микросхемы. При напряжении на нем ниже 0,2 В он выключает микросхему, тем самым понижая ее энергопотребление, а при превышении порога в 0,45 В микросхема переходит в активный режим. Основное назначение данной функции – управление ККМ-контроллером, например, он может управлять следующим за ним ШИМ-контроллером преобразователя напряжения. Дополнительной возможностью, предоставляемой функцией выключения, является автоматическое отключение в случае замыкания на землю напряжения низкоомного резистора вы-

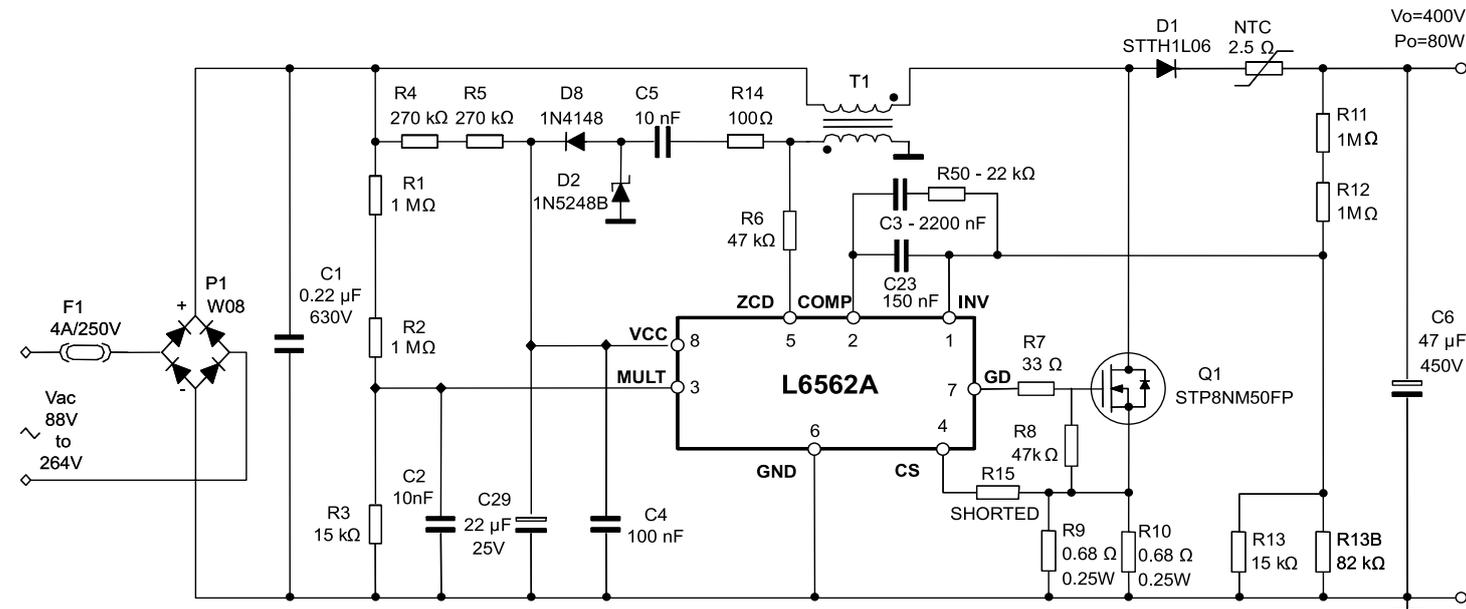


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема широкодиапазонного сетевого источника питания (оценочная плата EVL6562A-TM-80W)

Таблица 2. Основные эксплуатационные параметры L6562A

Параметр	Значение
Пороги включения/выключения, В	12,5/10
Разброс значений порога выключения (макс), В	± 0,5
Ток микросхемы перед запуском (макс), мкА	60
Усиление умножителя	0,38
Значение опорного напряжения, В	1,08
Время реакции на изменение тока, нс	175
Динамический ток переключения схемы OVP, мкА	27
Пороги детектора нуля, выключения/срабатывания/удержания, В	1,4/0,7/0
Пороги включения/выключения микросхемы, В	0,45/0,2
Падение напряжения на внутреннем драйвере ключа, В	2,2
Задержка относительно фронта импульса в датчике тока, нс	200

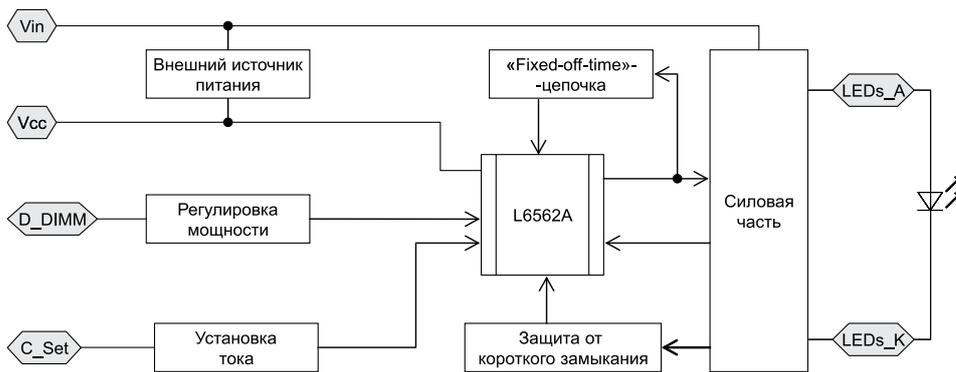


Рис. 5. Структурная схема источника питания для светодиодных светильников (отладочная плата EVL6562A-LED)

ходного делителя или обрыва цепи делителя.

Выходной сигнал усилителя ошибки поступает на его инверсный вход через компенсирующие цепи обратной связи. Фактически, работа данных цепей определяет стабильность выходного напряжения, высокий коэффициент мощности и низкий уровень гармоник.

После выпрямителя основное питающее напряжение поступает на вход умножителя через делитель напряжения и служит источником опорного синусоидального сигнала для токовой петли.

Напряжение с измерительного резистора в цепи силового ключа поступает на вход компаратора ШИМ, где сравнивается с опорным синусоидальным сигналом для определения момента замыкания ключа. Для снижения влияния импульсных помех аппаратно реализована задержка в 200 нс от фронта импульса. По отрицательному фронту импульса размагничивание индуктора происходит замыкание силового ключа.

Примером схемы включения L6562A может служить повышающий источник напряжения на 400 В (рисунок 4).

Вторым примером может служить применение L6562A в составе источника питания для светодиодных светильников (рисунок 5).

L6562A имеет специализированную схему, снижающую влияние переходных

процессов в районе нулевого переменного входного напряжения, когда диоды в выпрямительном мосту еще закрыты, и ток через мост равен нулю. Для борьбы с данным эффектом встроенная схема заставляет ККМ-контроллер перекачивать больше энергии в момент пересечения нуля сетевым напряжением (увеличивается промежуток времени нахождения силового ключа в открытом состоянии). В результате уменьшается промежуток времени, в течение которого потребление энергии (тока) схемой недостаточно, и полностью разряжается фильтрующий конденсатор, стоящий после моста. Низкое значение опорного напряжения позволяет использовать более низкоомный резистор для измерения тока в цепи силового ключа, соответственно снижается и рассеиваемая на нем мощность (меньше рассеиваемой мощности → меньше нагрев → ниже требования к системе охлаждения и вентиляции). Низкие входные токи динамической защиты от перенапряжения допускают применение высокоомного верхнего резистора в делителе напряжения цепи обратной связи по напряжению без увеличения влияния шума. В итоге снижается ток потребления схемы в режиме ожидания (важно в связи с требованиями стандартов энергосбережения). В таблице 2 приведены основные параметры ККМ-контроллера L6562A.

Все это делает L6562A прекрасным недорогим решением для ИБП мощностью до 350 Вт, совместимых с требованиями стандартов EN61000-3-2.

Варианты применения и методика расчета типовых узлов для схем на основе L6562A/AT приводятся в руководствах по применению; список основных документов приведен ниже.

AN3159: STEVAL-ILH005V2: 150 W HID electronic ballast – встраиваемый блок электронного балласта мощностью до 150 Вт.

AN2761: Solution for designing a transition mode PFC preregulator with the L6562A – примеры построения предварительного регулятора с ККМ в транзитивном режиме на основе L6562A.

AN2782: Solution for designing a 400 W fixed-off-time controlled PFC preregulator with the L6562A – Пример разработки 400-ваттного предварительного регулятора с ККМ на базе L6552A в режиме фиксированного времени во выключенном состоянии.

AN2928: Modified buck converter for LED applications – Модифицированный понижающий преобразователь для светодиодного освещения.

AN3256: Low-cost LED driver for an A19 lamp – Светодиодный драйвер для ламп A19 по низкой цене.

AN2983: Constant current inverse buck LED driver using L6562A – Светодиодный драйвер постоянного тока на L6562A.

AN2835: 70 W HID lamp ballast based on the L6569, L6385E and L6562A – Схема электронного балласта для газоразрядных ламп.

AN2755: 400 W FOT-controlled PFC pre-regulator with the L6562A – 400-ваттный предварительный регулятор на базе L6562A в режиме fixed-off-time.

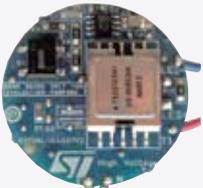
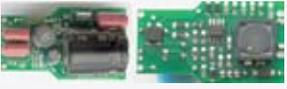
AN2838: 35 W wide-range high power factor flyback converter demonstration board using the L6562A – Демонстрационная плата 35-ваттного широкодиапазонного конвертера с высоким коэффициентом мощности на основе L6562A.

AN3111: 18 W single-stage offline LED driver – Автономный одноуровневый 18-ваттный светодиодный драйвер.

AN2711: 120 VAC input-Triac dimmable LED driver based on the L6562A – Тиристорный регулируемый светодиодный драйвер на L6562A мощностью 120 Вт.

Демонстрационные платы, предлагаемые STMicroelectronics, позволяют быстро разобраться с различными режимами работы микросхем, а также посмотреть, как поведут себя устройства в разных условиях эксплуатации. Кроме того, отладочные средства служат прототипами устройств. На момент написания статьи для ознакомления с L6562A предлагается следующий набор отладочных средств – таблица 3.

Таблица 3. Отладочные средства для L6562A

Плата	Внешний вид	Описание
STEVAL-ILL027V2		18-ваттный автономный светодиодный драйвер
EVL6562A-TM-80W		Оценочная плата 80-ваттного корректора коэффициента мощности работающего в режиме ТМ
STEVAL-ILL013V1		Регулируемый автономный ККМ и светодиодный драйвер с регулировкой мощности на базе L6562A
EVL6562A-LED		Демонстрационная плата светодиодного драйвера постоянного тока на L6562A
STEVAL-ILL016V2		Тиристорный автономный светодиодный драйвер на L6562AD и TSM1052
STEVAL-ILL019V1		35-ваттный автономный светодиодный драйвер для четырехканальных светодиодных источников типа HB RRGB
STEVAL-ILL034V1		Светодиодный драйвер для ламп типа A19 на базе L6562A (ориентировано на американский рынок)
EVL6562A-400W L6562A		Предварительный регулятор напряжения с корректором коэффициента мощности в режиме fixed-off-time

**ККМ-контроллеры STMicroelectronics серий L6563S/H**

Помимо стандартных функций и возможностей контроллеры коэффициента мощности серии L6563S/H (рис. 5) имеют ряд опций, улучшающих характеристики конечных устройств, работающих на их основе.

Среди отличительных особенностей:

- Возможность работы в режиме tracking boost;

- $1/V^2$ -коррекция;
- Защита от перенапряжения, разрыва цепи обратной связи, насыщения индуктора.

Высоколинейный множитель с коррекцией ступенчатых искажений основного тока позволяет микросхемам работать в широком диапазоне входного переменного напряжения при минимальном уровне нелинейных искажений даже при больших нагрузках.

Выходное напряжение контролируется усилителем ошибки и прецизионным источником напряжения (1% при 25°C). Стабильность контура обратной связи отслеживается упреждающей связью по напряжению ( $1/V^2$ -коррекция), которая в данной микросхеме использует уникальную проприетарную технику, позволяющую существенно улучшить переходные процессы на линии при падениях или скачках сетевого напря-

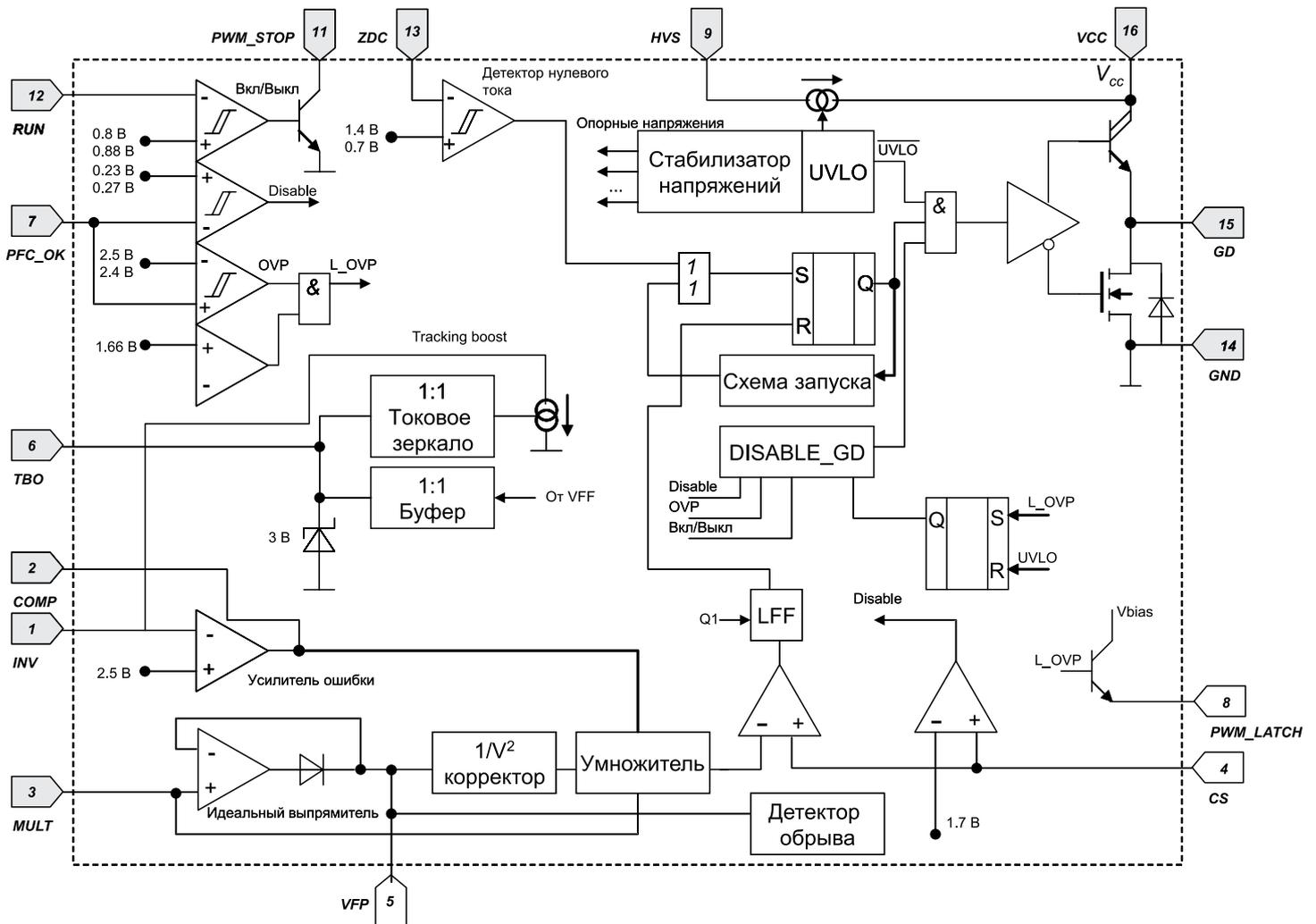


Рис. 6. Структурная схема ККМ-контроллера L6563S

жения (т.н. двунаправленная связь – «bidirectional»).

ККМ-контроллер L6563H имеет тот же набор функций, что и L6563/L6563S, с добавлением высоковольтного источника запуска. Эта возможность востребована в приложениях с жесткими требованиями по энергосбережению, а также в тех случаях, когда контроллер ККМ работает в режиме мастера.

Дополнительно L6563H имеет возможность работы в режиме отслеживания повышения (*tracking boost operation*) – выходное напряжение изменяется, реагируя на изменения сетевого напряжения.

L6563H может быть использован в составе блоков питания мощностью до 400 Вт при соответствии требованиям стандартов EN61000-3-2, JEITA-MITI.

Микросхема L6564 является более компактной версией L6563S в корпусе SSOP-10 – имеет тот же драйвер, источник опорного напряжения и систему управления. В серии L6563A отсутствует защита от насыщения индуктора.

Так же, как и L6562A, ККМ-контроллеры L6263x могут работать в режиме фиксированного времени выключения (*Fixed-Off-Time*). Кроме

того, выводы состояния контроллера позволяют управлять ШИМ-контроллером DC/DC-преобразователя, питаемого предварительным регулятором ККМ-контроллера при нештатных ситуациях (разрыв обратной связи, насыщение индуктора, перегрузка). С другой стороны, возможно отключение ККМ-контроллера в том случае, если DC/DC-конвертер работает на малую нагрузку. В отличие от серий L6562x имеются отдельные входы управления контроллером, что делает управление достаточно гибким.

В рекомендациях по применению описываются различные аспекты применения L6563A/H, типовые схемы включения, расчет типовых цепей и узлов.

*AN3142: Solution for designing a 400 W fixed-off-time controlled PFC preregulator with the L6563S and L6563H* – 400-ваттный ККМ-регулятор на L6563S и L6563H в режиме fixed-off-time.

*AN3027: How to design a transition-mode PFC pre-regulator with the L6563S and L6563H* – Разработка ТМ ККМ-контроллера с помощью L6563S and L6563H.

*AN3203: EVL250W-ATX80PL: 250W ATX SMPS demonstration*

*board* – Демонстрационная плата ATX блока питания на 250 Вт.

*AN3180: A 200 W ripple-free input current PFC pre-regulator with the L6563S 1* – Корректор коэффициента мощности на L6563L свободный от шума входного тока.

*AN2994: 400 W FOT-controlled PFC pre-regulator with the L6563S* – 400-ваттный ККМ-контроллер на L6563S в режиме fixed-off-time.

*AN3119: 250 W transition-mode PFC pre-regulator with the new L6563S* – 250-ваттный ККМ-контроллер на L6563S в режиме transition-mode.

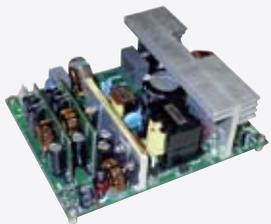
*AN2941: 19 V – 75 W SMPS compliant with latest ENERGY STARR criteria using the L6563S and the L6566A* – Импульсный блок питания с выходным напряжением 19 В мощностью 75 Вт совместимый с требованиями новейшего стандарта Energy Starr.

*AN3065: 100 W transition-mode PFC pre-regulator with the L6563S* – 100-ваттный ККМ-контроллер на L6563S в режиме transition-mode.

Демонстрационные платы для L6563S/L6564 показаны в таблице 4.

Дополнительно по запросу разработчика могут быть предоставлены про-

Таблица 4. Отладочные средства для L6563S/ L6564

Наименование	Внешний вид	Описание
EVL250W-ATX80PL		Плата ATX блока питания на 250 Вт
EVL6563S-250W		250-ваттный предварительный регулятор с ККМ на базе L6563S в режиме ТМ
EVL6563S-100W		100-ваттный предварительный регулятор с ККМ на базе L6563S в режиме ТМ
EVL6563S-200ZRC		Корректор коэффициента мощности на L6563S свободный от шума входного тока (200 Вт)
EVL185W-LEDTV		Блок питания мощностью 185 Вт для LED-телевизоров с корректором коэффициента мощности, режимом ожидания на базе L6564, L6599A, и VIPER27L

граммные продукты для автоматизации разработки и расчета схем на L6563S, L6564 в режимах ТМ и fixed-off-time.

**Рекомендации по выбору компонентов для ККМ-контроллера**

Для корректной работы микросхем ККМ-контроллеров, стабильной работы прибора и его соответствия требованиям стандартов необходимо выбрать подходящий режим работы.

Как правило, для мощностей меньше 200 Вт ККМ-контроллеры L6562A/3S/3H/4 включаются в режиме ТМ. Для приборов, оперирующих мощностями более 200 Вт, применяется микросхема L4981 (ее режим работы ССМ). Возможно также применение серий L6562A/3S/3H/4 в режимах Fixed-Off-Time или ReepIe-Steering.

Силовой MOSFET-ключ и выпрямительный диод для силовой части корректора мощности или источника пита-

ния можно легко выбрать из продукции STMicroelectronics.

Для устройств малой мощности (до 100 Вт) подходят силовые ключи семейства SuperMesh3, например, серии STx10N62K3. Для средней мощности (100...1000 Вт) – семейство MDMesh2 серии STx25NM50M. И для мощных источников, работающих с мощностями более 1 кВт – семейство MDMesh5 серии STP42N65M5.

В качестве выпрямительных рекомендуются: диоды на карбиде кремния, обладающие наименьшей емкостью перехода (серии STPSCxx06); диоды семейства Turbo 2, например, STTHxxR06; а также тандемные диоды серии STTH806DTI.

**Заключение**

Несмотря на сравнительно небольшой по количеству серий ассортимент предлагаемых ККМ-контроллеров,

продукция STMicroelectronics, благодаря ряду удачных схемотехнических решений и разнообразию возможных режимов работы, перекрывает практически весь спектр приложений импульсных преобразователей энергии – повышающие/понижающие блоки питания, драйверы светодиодных светильников, корректоры коэффициента мощности.

Кроме того, для всего спектра приложений осуществляется информационная и техническая поддержка разработчика – от рекомендаций по применению и программ для расчета блоков и узлов до отладочных и демонстрационных плат.

**Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: mcu.vesti@compel.ru**