

# Многофункциональный контроллер

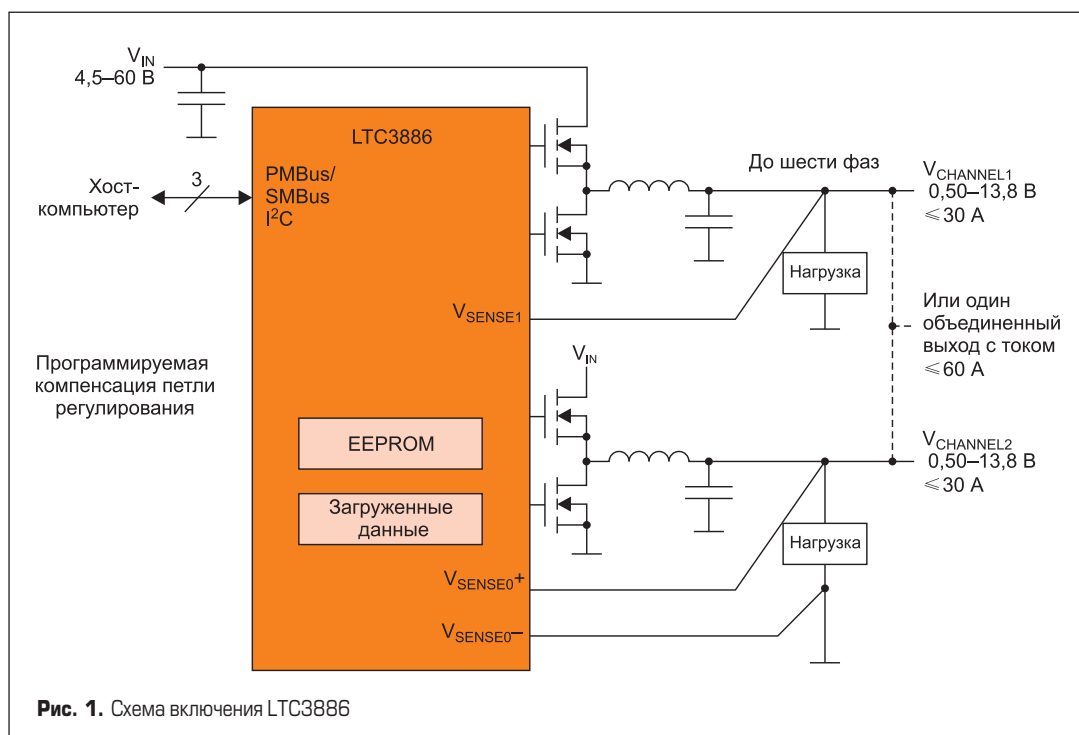
## для высоковольтных цифровых систем управления питанием

**В статье рассматриваются характеристики, функционал, программирование и применение микросхемы контроллера LTC3886 от компании Linear Technology. Данное устройство оптимально подойдет для создания промышленных приложений, требующих разработки универсальной системы питания, сочетающей в себе управление, контроль, программирование и точность.**

**Хельмут Витт  
(Hellmuth Witte)**

Микросхема контроллера LTC3886 может работать при входном напряжении до 60 В и формировать на своих двух выходах напряжения 0,5–13,8 В, что позволяет использовать ее в качестве промежуточного элемента системы питания или как элемент системы распределенного питания, размещенный в непосредственной близости к нагрузке POL (point-of-load). Имеющиеся в настоящее время контроллеры с аналогичным широким диапазоном входного/выходного напряжений не могут в полной мере соответствовать тем широким возможностям

цифрового управления, которые доступны в микросхеме контроллера LTC3886. Ее последовательный интерфейс основан на шине I<sup>2</sup>C и совместим с PMBus (последовательным протоколом обмена данными для устройств питания). Микросхема является универсальной и гибкой: она имеет широкие допустимые диапазоны входного и выходного напряжений, и они легко настраиваются с помощью PMBus. Точная телеметрия доступна по цифровой шине управления. Все функции можно конфигурировать и контролировать с помощью среды проектирования LTpowerPlay. При этом внесение



каких-либо изменений в печатную плату не требуется, так как все функциональные возможности и оптимизированные настройки (включая компенсацию петли регулирования) могут быть всегда и легко изменены при помощи программного обеспечения.

Построенный по технологии PolyPhase двухканальный синхронный контроллер понижающего DC/DC импульсного стабилизатора, выполненного в архитектуре токового управления с постоянной частотой преобразования, имеет встроенное измерение входного и выходного токов, а также программируемую компенсацию петли регулирования следящей обратной связи. Он доступен в 52-выводном (7×8 мм) корпусе типа QFN. Точное измерение напряжения и тока, регулируемая компенсация и выход флага PGOOD делают LTC3886 отличным выбором для промышленных применений, серверов и систем питания автомобилей.

На рис. 1 показана упрощенная схема включения LTC3886. Возможность выбора рабочей частоты переключения с ШИМ 100–750 кГц, в сочетании со встроенными, отличающимися низким значением собственного сопротивления в открытом состоянии  $R_{DS(ON)}$  драйверами затворов  $N$ -канальных МОП-транзисторов, обеспечивают поддержку большого числа внешних ключей. Это увеличивает возможности организации питания и позволяет оптимизировать системные затраты. Благодаря наличию гибкого программирования необходимого набора функций, которое требует каждое конкретное решение, микросхему LTC3886 можно легко приспособить под самый широкий спектр промышленных и медицинских приложений, а также систем распределенного питания типа POL (point-of-load).

### Основные функциональные возможности и управление ими

Через интерфейс I<sup>2</sup>C/SMBus можно настраивать и сохранять во внутренней EEPROM следующие конфигурируемые параметры LTC3886:

- величина выходного напряжения, уровень ограничения по максимальному и минимальному предельно допустимому уровню выходного рабочего напряжения и предельному значению выходного тока;
- включение/выключение подачи входного напряжения, предупреждение о недопустимом уровне входного напряжения и перегрузке по входному току;
- цифровой мягкий старт/стоп, очередность включения, задание допусков (маржирование);
- компенсация контура управления;
- рабочая частота и фазирование ШИМ;
- ответная реакция на аварийную ситуацию и задержка реагирования по выводам сигнализации об аварии;
- адрес устройства.

Рабочая частота преобразователя, фазировка устройства и выходное напряжение также программируются с помощью внеш-

них конфигурирующих резисторов. Кроме того, все 128 возможных адресов могут быть установлены внешним резистивным делителем.

### Флаг POWER GOOD, задание последовательности включения и программирование ответной реакции на аварийные ситуации

Выделенный для флага POWER GOOD (PGOOD) отдельный для каждого канала выход упрощает разделение последовательности реакции на события между несколькими контроллерами LTC3886 и другими микросхемами управления системой питания. LTC3886 также поддерживает и временное разделение включения каналов. Чтобы включить подачу выходного напряжения, после заданного времени ожидания TON\_DELAY выход RUN переходит в высокое логическое состояние, после чего включается команда PMBus и разрешается включение или выполняется ожидание того, пока напряжение на входе  $V_{IN}$  не достигнет предварительно запрограммированного уровня.

Последовательность по времени отключения питания обрабатывается таким же образом. Для обеспечения правильного времени на основе заданной последовательности достаточно соединить все выводы SHARE\_CLK вместе и подключить вместе выводы RUN всех микросхем системы управления питанием. Выводы сигнализации об аварийной ситуации LTC3886 в части времени реакции на неисправность и уровень максимального пикового тока настраиваются для индикации самых различных возможных ситуаций, включая: перенапряжение (OV), недопустимо пониженное напряжение (UV), перегрузку по току (OC), внутренний перегрев кристалла (OT). Кроме того, выводы сигнализации об аварии могут быть подняты до уровня напряжения внешних источников, что дает возможность передавать информацию о неисправности какой-либо другой части системы. В LTC3886 конфигурируются и доступны следующие варианты реакции на аварийную ситуацию или неисправность:

- игнорирование (Ignore);
- немедленное отключение — защелка выключена (Shut Down Immediately — latchoff);
- немедленное отключение — повторить попытку через временной интервал, заданный в команде *MFR\_RETRY\_DELAY*.

### Регистрация аварий и телеметрия

Микросхема LTC3886 поддерживает ведение журнала регистрации аварий, который сохраняет в постоянно обновляемой буферной оперативной памяти данные телеметрии и описания аварий и неисправностей. После того как происходит аварийная ситуация, состояние буфера копируется из ОЗУ в EEPROM, и таким образом создается журнал аварий, данные из которого могут быть позже прочитаны и проанализированы с це-

лью определить, чем была вызвана конкретная неисправность.

### Использование выхода EXTV<sub>CC</sub> для максимизации КПД

Выход EXTV<sub>CC</sub> предназначен для снижения потерь мощности схемы преобразователя. Он обеспечивает напряжение в диапазоне 5–14 В, что дает возможность конечному решению работать с максимальным КПД и минимальной температурой кристалла, а также позволяет контроллеру LTC3886 эффективно использовать свое собственное питание и не быть зависимым от уровня выходного напряжения.

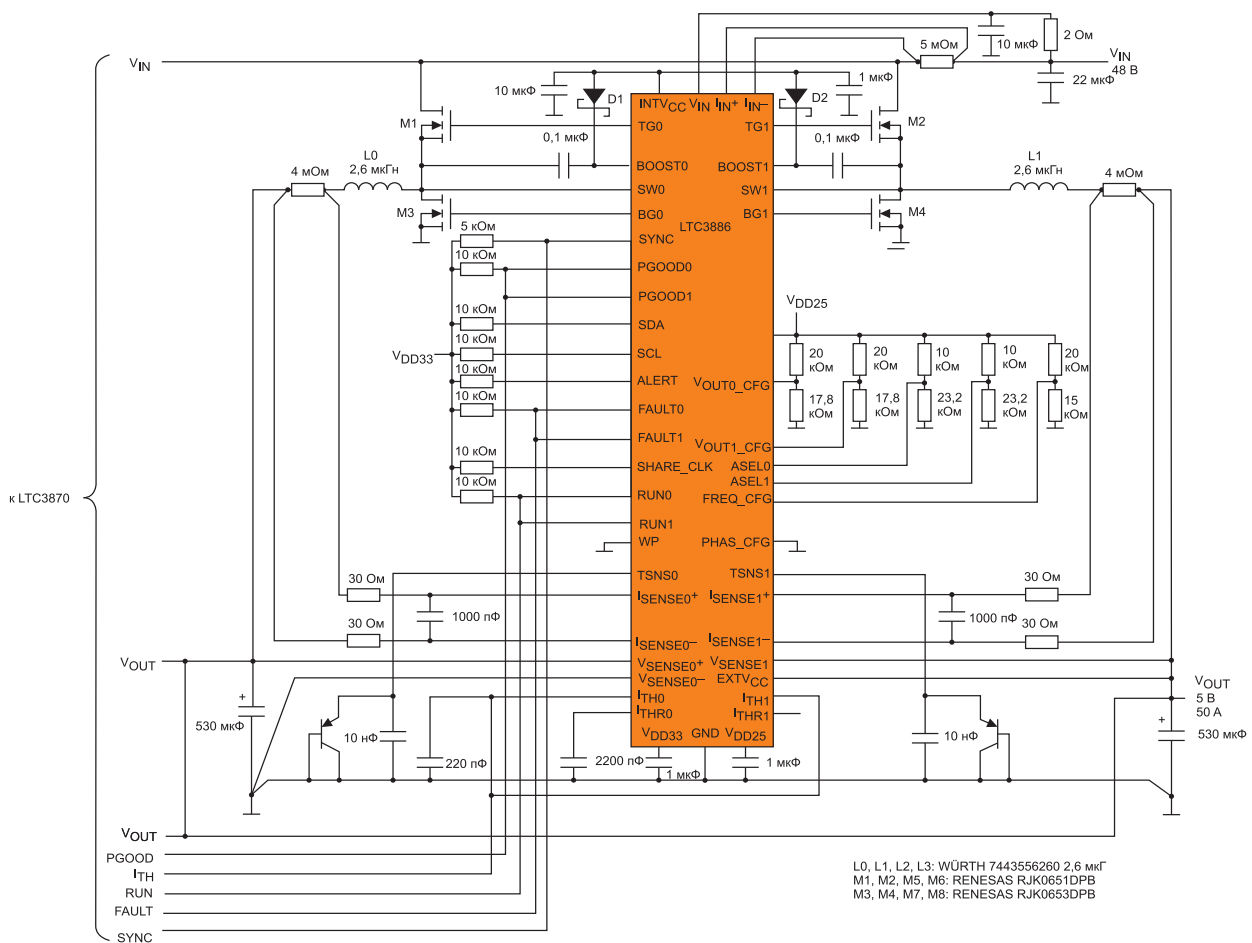
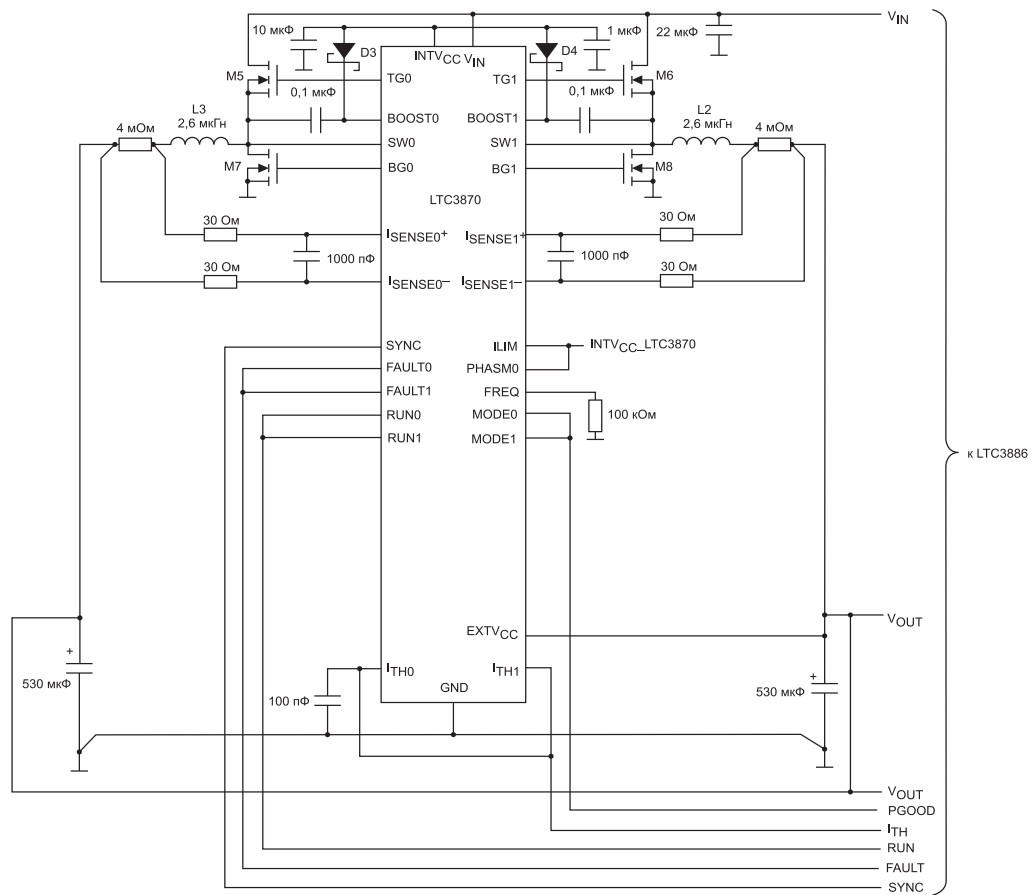
### Погрешности и прецизионность

Современные приложения требуют стабилизации напряжения питания и его контроль с жесткими допусками. Эти требования выполняются при помощи высокоскоростного аналогового контура управления и встроенных 16-разрядного АЦП и 12-разрядного ЦАП. Точность выходного напряжения LTC3886 во всем диапазоне рабочих температур гарантируется с погрешностью не более ±0,5%. Кроме того, компараторы, следящие за минимальным и максимальным уровнями напряжения, обеспечивают поддержание выходного напряжения с погрешностью, не превышающей ±2% во всем диапазоне рабочих температур. Точность стабилизации напряжения и его контроль, реализованный в LTC3886, отвечают жестким требованиям в отношении входного напряжения питаемых им микросхем. При этом удалось снизить общие системные затраты благодаря использованию меньшего количества меньших по емкости выходных конденсаторов.

Уникальный входной 60-В усилитель датчика тока по высокой стороне измеряет входной ток с точностью не хуже ±1,2%. Измерение выходного тока во всем диапазоне рабочих температур гарантируется с погрешностью не более ±1,5%. Внутреннее измерение температуры кристалла LTC3886 гарантируется с точностью до 0,25 °C, а измерение системной телеметрии наружной температуры дает ошибку, не превышающую ±1 °C.

### Возможности расширения

Современные системы управления питанием требуют все большей мощности и управляемости, но при этом они должны вписываться во все уменьшающееся пространство, доступное на печатной плате. При необходимости обеспечения высоких мощностей самым лучшим решением является применение параллельного многофазного питания. Такое решение позволяет обеспечить и высокую мощность, и эффективную расширяемость устройств. Благодаря технологии PolyPhase поддерживается точное распределение тока между несколькими контроллерами LTC3886 с расширением до шести фаз. Это позволяет



L0, L1, L2, L3: WÜRTH 744356260 2.6 мкГ  
 M1, M2, M5, M6: RENESAS RJK0651DPB  
 M3, M4, M7, M8: RENESAS RJK0653DPB

**Рис. 2.** Высокоэффективный понижающий преобразователь на базе фазового расширителя LTC3870 с контроллером LTC3886 (425-кГц четырехфазный, с входным напряжением 48 В и выходным 5 В, 50 А)

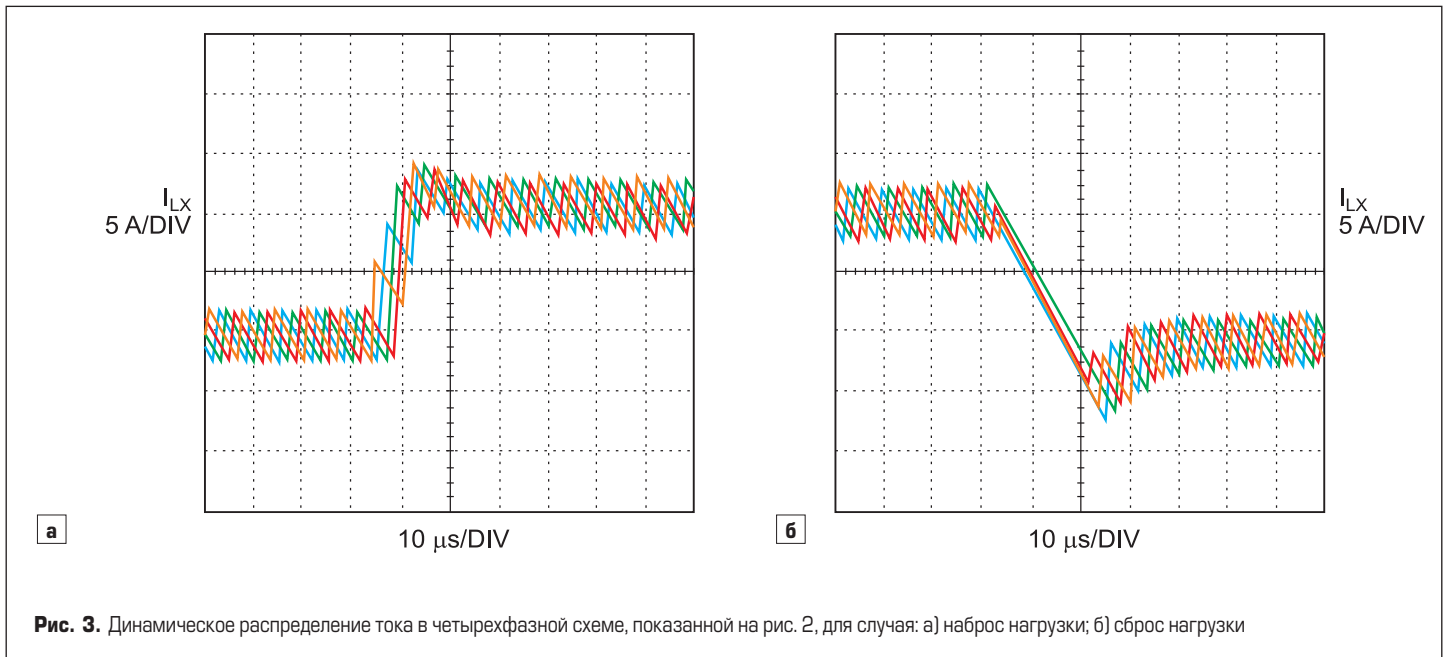


Рис. 3. Динамическое распределение тока в четырехфазной схеме, показанной на рис. 2, для случая: а) наброс нагрузки; б) сброс нагрузки

разработчикам добавлять ступени питания по мере возникновения такой необходимости. Кроме того, недорогую шестифазную систему шины питания позволяет легко реализовать микросхема двухфазного PolyPhase расширителя LTC3870 совместно с LTC3886. В качестве примера на рис. 2 показано четырехфазное решение такой системы, а ее динамическое распределение тока между фазами показано на рис. 3.

В таком решении контроллер LTC3870 не требует каких-либо дополнительных I<sup>2</sup>C-адресов, он поддерживает все программируемые функции, а также защиту от коротких замыканий. При конфигурировании для функционирования в многофазном режиме с несколькими контроллерами LTC3886/LTC3870, достаточно объединить контакты SYNC, I<sub>TH</sub>, SHARE\_CLK, FAULTn, PGOODn и ALERT всех каналов, подключенных к выходной шине питания. Фазы всех каналов должны быть установлены так, чтобы обеспечить между ними равномерное распределение тока. Режим питания с распределением фаз обеспечивает самый низкий уровень пикового входного тока, уменьшает пульсации выходного напряжения, а также снижает требования к емкости входных и выходных конденсаторов.

Для удовлетворения функциональных требований и экономии места на печатной плате разработчики часто вынуждены разбивать систему питания на отдельные части. В этом случае многофазная технология PolyPhase с использованием микросхем LTC3886/LTC3870 упрощает эту процедуру путем разделения компонентов питания и управления, что позволяет им быть легко размещенными в доступных частях платы. Разделение на отдельные части также дает возможность сосредоточить тепло, выделяемое системным питанием на печатной плате. Это упрощает общее удаление тепла с платы и уменьшает зоны ее нагрева.

### Дополнительные возможности для проектирования

На рис. 4 показано изображение экрана графического интерфейса среды проектирования LTpowerPlay. Она представляет собой мощный, базирующийся на ОС Windows программный инструмент для разработки с графическим пользовательским интерфейсом (GUI), который полностью поддерживает все функциональные возможности контроллера LTC3886. Возможности использования инструмента LTpowerPlay повышаются при его подключении к отладочным демонстрационным платам и непосредственно к аппаратным средствам приложения. LTpowerPlay обеспечивает высокое качество разработки, диагностики и отладки функций. Телеметрия, аварийные состояния и неисправности системы и значения команд PMBus — все это легко доступно через графический интерфейс этого программного инструмента. При использовании среды разработки LTpowerPlay контрол-

лер LTC3886 и другие микросхемы управления системным питанием могут быть легко сконфигурированы под конкретное применение. Полная информация доступна на сайте компании-разработчика.

### Настраиваемая компенсация петли регулирования

Для того чтобы гарантировать стабильность петли регулирования и оптимизацию переходных характеристик контроллера без дополнительных изменений компонентов в схеме, в LTC3886 предусмотрена возможность программирования параметров цепи компенсации петли регулирования. С помощью программного инструмента LTpowerPlay контур управления может быть настроен точно и быстро, причем, без каких-либо замен компонентов или их вариаций. Это дает возможность разработчикам «выжать» максимальную производительность из своих систем путем удаления излишних



Рис. 4. Среда проектирования LTpowerPlay

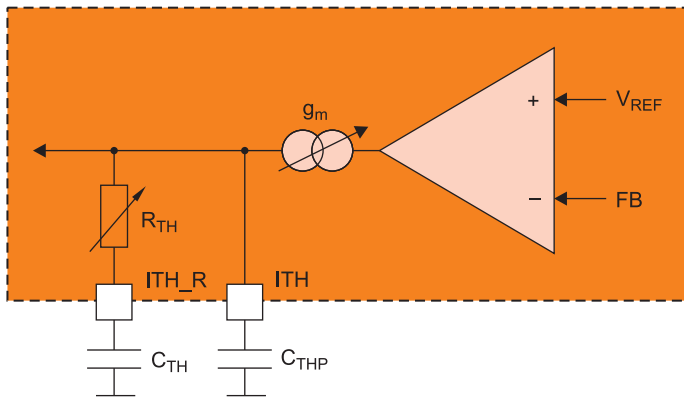


Рис. 5. Программируемая компенсация петли регулирования

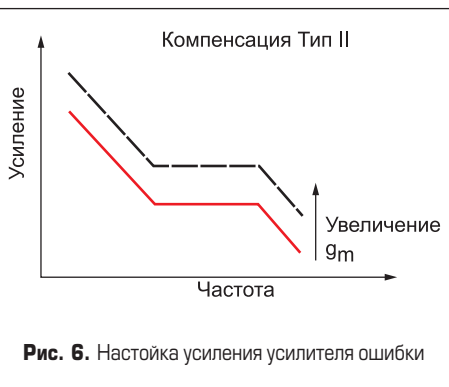


Рис. 6. Настойка усиления усилителя ошибки

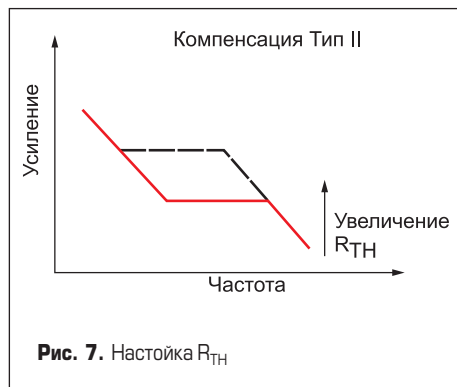


Рис. 7. Настойка R<sub>TH</sub>

выходных конденсаторов, экономя место на печатной плате и, в конечном итоге, уменьшая себестоимость решения.

Процесс программирования компенсации петли регулирования обобщенно показан на рис. 5–7. Усилитель ошибки (рис. 5) программируется в диапазоне 1–5,73 мкСм. Для программирования используется параметр  $g_m$ ,

описывающий коэффициент усиления. Компенсационный собственный внутренний резистор  $R_{TH}$  контроллера LTC3886 программируется в диапазоне 0–62 кОм (биты [4:0] из команды *MFR\_PWM\_COMP*). Для завершения схемы компенсации необходимы всего лишь два внешних конденсатора  $C_{TH}$  и  $C_{THP}$ . Типичное соотношение между

номиналами этих конденсаторов выбирается равным 10.

Для оптимизации петли регулирования в широком диапазоне номиналов выходных конденсаторов, а также возможных допусков элементов цепи компенсации, необходимые параметры цепи компенсации типа II контроллера LTC3886 достигаются только регулированием усиления  $g_m$  и установкой значения  $R_{TH}$ . Регулировка усиления  $g_m$  усилителя ошибки пропорционально изменяет коэффициент усиления контура компенсации по всему диапазону частот без перемещения полюса и не меняя установки нуля, как это показано на рис. 6. Регулировка номинала резистора  $R_{TH}$  меняет установку полюса и нуля, как показано на рис. 7. После того как для контроллера LTC3886 определены рабочие диапазоны напряжения и тока, изменения выходного напряжения или тока в пределах этих диапазонов уже не влияют на коэффициент усиления контура. Когда выходное напряжение стабилизатора изменяется в результате подачи команды на его изменение либо изменением маржирования, переходная характеристика контура регулирования остается постоянной.

**Точная телеметрия для оптимизации системного КПД при использовании промежуточной шины питания**

Контроллер LTC3886 отличается широким диапазоном входного напряжения 4,5–60 В, а диапазон его выходного напряжения лежит в пределах 0,5–13,8 В, что делает его отличным выбором для эффективной стабилизации высокого входного напряжения питания на уровне напряжения на промежуточной шине. От этой промежуточной шины осуществляется питание расположенных в непосредственной близости от своих нагрузок POL-преобразователей.

При использовании LTC3886 в качестве промежуточного преобразователя шины системного управления питанием для питания POL-преобразователей, можно оптимизировать уровень напряжения на промежуточной шине для достижения максимального КПД. Значения напряжения и тока, которые выдаются телеметрией контроллера LTC3886 и микросхемами управления питанием, настолько точны, что на их базе можно производить точные измерения системного КПД в реальном масштабе времени. Это, в свою очередь, позволяет создать программу оптимизации, в которой микроконтроллер определяет оптимальное напряжение промежуточной шины для самых различных условий функционирования приложения.

Чтобы продемонстрировать работу системы в варианте использования промежуточного напряжения питания в диапазоне 9–13 В, была построена демонстрационная схема, сконфигурированная в восьмифазный режим в виде POL-преобразователей, выполненных на микросхемах LTM4676

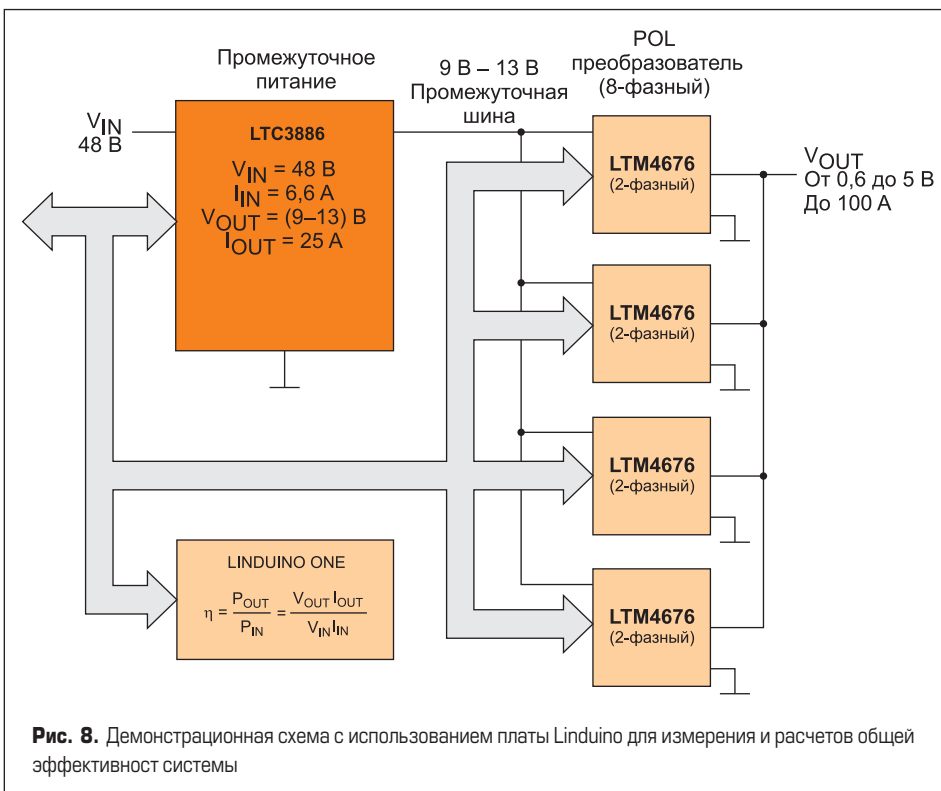
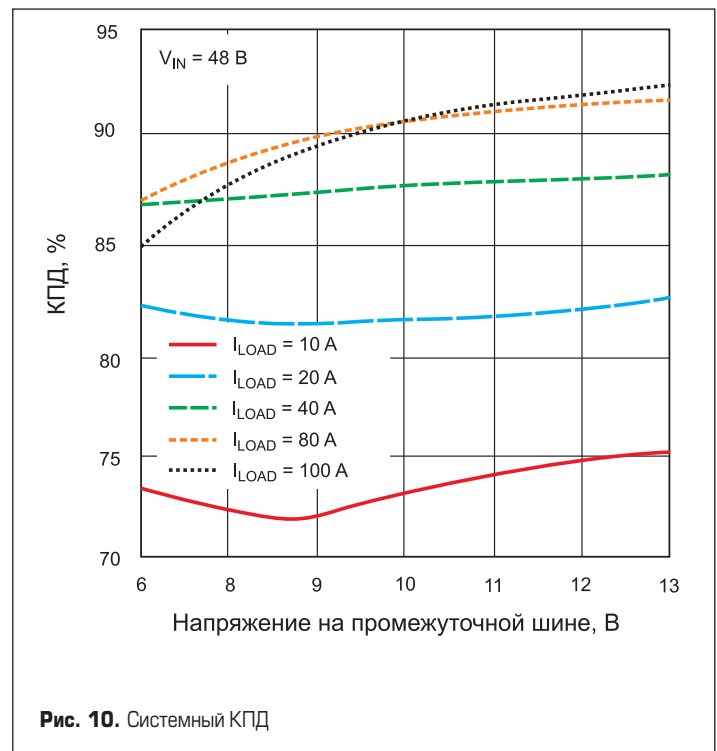
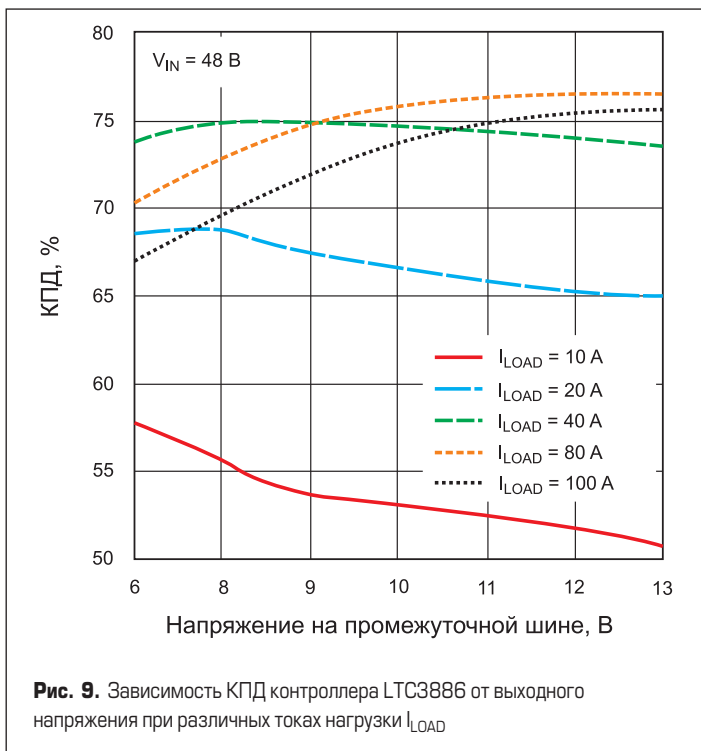


Рис. 8. Демонстрационная схема с использованием платы Linduino для измерения и расчетов общей эффективности системы





(рис. 8). Контроллер LTC3886 используется в качестве формирователя напряжения промежуточной шины для управления питанием микросхем POL-преобразователей. Телеметрия от источника промежуточного питания LTC3886 и микросхем POL-преобразователей используется демонстрационной платой Linduino One компании Linear Technology для оптимизации эффективности системы путем регулирования напряжения на промежуточной шине во время изменения ее токовой нагрузки. Плата Linduino без вмешательства пользователя измеряла общий КПД системы при нескольких напряжениях на промежуточной шине, а также, для достижения самой низкой входной мощности, изменяла ее напряжение, чем и достигалась максимальная эффективность системы в целом.

Зависимость КПД контроллера LTC3886 от значения напряжения на промежуточной шине представлена на рис. 9. График, иллюстрирующий зависимость общей эффективности системы от напряжения на промежуточной шине, показан на рис. 10. Приведенные графики представляют собой токи 10, 20, 40, 80 и 100 А, непосредственно у нагрузки. Чтобы функционировать с максимальной эффективностью, более высокие токи нагрузки требуют более высокого значения напряжения на промежуточной шине. Установка на промежуточной шине некоторого фиксированного напряжения чересчур сильно снижает общую эффективность системы при низких токах нагрузки. По сравнению с использованием стандартного, фиксированного в 12 В напряжения на промежуточной шине, напряжение, оптимизированное с помощью функциональных возможностей контроллера LTC3886, повышает КПД при токе нагрузки 10 А на 6,2%, при 20 А — на 3,5%, при 40 А — на 1%. Этот подход позволяет оптимизировать эффективность системы

питания во всем диапазоне ее рабочей нагрузки.

**Заключение**

Микросхема контроллера LTC3886 расширяет линейку контроллеров управления системами энергопитания компании Linear Technology в сегменте устройств с высоким входным напряжением. Широкий диапазон выходного напряжения 0,5–13,8 В, наряду с точным измерением напряжения и тока, регулируемой компенсацией, а также выделенными выходами флагов PGOOD, дает пользователям LTC3886 максимальную гибкость для проектирования и высокую производительность их конечных решений. Контроллер LTC3886 оптимально подходит для промышленных приложений, требующих универсального решения системы питания, управления, контроля, программирования и высокой точности (таблица).

**Таблица.** Сводная таблица контроллеров систем управления питанием компании Linear Technology и стабилизаторов напряжения типа  $\mu$ Module со встроенной системой управления питанием (PSM)

Модель	Стабилизаторы напряжения типа $\mu$ Module			Контроллеры					
	LTM4675	LTM4676A	LTM4677	LTC3880	LTC3882	LTC3883	LTC3884	LTC3886	LTC3887
Диапазон $V_{OUT}$ , В	0,5–5,5			ch0: 0,5–4,0; ch1: 0,5–5,4	0,5–5,3	0,5–5,4	0,5–5,4	0,5–13,2	0,5–5,5
Диапазон $V_{IN}$ , В	4,5–17			4,5–24	3,0–38	4,5–24	4,5–38	4,5–60	4,5–24
Погрешность $V_{OUT}$ , %	0,5			0,5					
Датчик входного тока	Калибровка			Предполагается	Есть				Предполагается
$I_{OUT}$ макс., А	2×9 или 1×18	2×13 или 1×26	2×18 или 1×36	30/число фаз <sup>1</sup>	40/число фаз <sup>1</sup>	30/число фаз <sup>1</sup>			
Датчик тока на сопротивлении дросселя (DSR)	-			Низкий	Ультранизкий	Низкий	Очень низкий	Низкий	Низкий
Цифровая настройка компенсации петли регулирования						Есть			

Примечание: <sup>1</sup> — Максимальный выходной ток контроллера зависит от внешних компонентов.