

## НОВЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С НИЗКИМ УРОВНЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ КОМПАНИИ ANALOG DEVICES

**В** статье приведена краткая информация о микросхемах DC/DC-преобразователей, выпуск которых компания Analog Devices освоила во втором квартале 2019 года. Преобразователи предназначены для построения мощных источников питания и драйверов светодиодов в таких областях техники, где предъявляются повышенные требования к уровню электромагнитных помех, создаваемых при работе преобразователей. Показана эффективность использования технологии расширения спектра для снижения уровня электромагнитных помех, создаваемых преобразователями.

*В. Макаренко*

Компания Analog Devices выпускает множество модификаций ИМС DC/DC-преобразователей с низким уровнем электромагнитных помех (ЭМП), предназначенных для использования в различных устройствах, в том числе и в качестве драйверов светодиодов. Причем номенклатура продукции постоянно расширяется. Во втором квартале 2019 года на рынок было выпущено несколько новых ИМС DC/DC-преобразователей для источников питания различного назначения. Рассмотрим кратко характеристики этих преобразователей.

Для обеспечения электромагнитной совместимости и бесперебойной работы электронных систем приняты международные законодательные акты и стандарты, которые ограничивают уровни генерации и излучения различных видов электромагнитных помех. Допустимые уровни излучаемых и генерируемых помех регламентируются несколькими стандартами. Наиболее важными международными стандартами в области электромагнитной совместимости являются стандарт Федеральной комиссии по связи США (Federal Communications Commission – FCC), глава 15 и стандарт Международного специального комитета по борьбе с радиопомехами (International Special Committee on Radio Interference – CISPR) CISPR 25 – совместимость технических средств электромагнитная для транспортных средств, моторных лодок и устройств с двигателями

### NEW DC/DC CONVERTERS WITH LOW ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE FROM ANALOG DEVICES

**Abstract –** The article provides a summary of the DC/DC Converter chips, the production of which the company Analog Devices mastered in the second quarter of 2019. Converters are designed to build powerful power supplies and led drivers in such areas of technology, where there are increased requirements for the level of electromagnetic interference generated during operation of converters. The efficiency of using the technology of expanding the spectrum to reduce the level of electromagnetic interference generated by converters is shown.

*V. Makarenko*

внутреннего сгорания (характеристики промышленных радиопомех).

Для удовлетворения требованиям этих стандартов в преобразователях Analog Devices использована технология расширения спектра (Spread Spectrum), которая позволяет снизить уровень ЭМП, создаваемых преобразователями, примерно на 16 дБ, не снижая при этом КПД преобразователя.

В режиме Spread Spectrum frequency modulation (SSFM) несущее колебание ШИМ-модулятора дополнительно подвергается частотной модуляции. В результате число составляющих в спектре ЭМП (как кондуктивных, так и индуктивных) значительно возрастает, но их уровень становится меньше.

### LT8210 – синхронный контроллер понижающего/повышающего преобразователя (Buck-Boost converter) постоянного напряжения

Кроме Buck-Boost используется и название SEPIC-преобразователь. Такие преобразователи находят применение в автомобильных, промышленных, телекоммуникационных системах, в авионике, системах для экстренных вызовов, устройствах, соответствующих стандартам ISO 7637, ISO 16750, MIL-1275, DO-160.

Например, в автомобилях конвертеры постоянного тока в постоянный ток используются для

полностью контролируемой зарядки дополнительного аккумулятора или блока аккумуляторов. Их использование является необходимым в случае автомобилей с интеллектуальным управлением генератором для общей защиты системы, использующих литиевые аккумуляторы.

Напряжение, формируемое генераторами двигателей, управляемых бортовой электроникой и соответствующих требованиям Евро 5 и 6, часто недостаточно для заряда аккумуляторов даже при работающем двигателе. Как следствие, для зарядки аккумуляторов необходим повышающий преобразователь. В случае использования литиевых аккумуляторов генератор должен быть защищен от перегрузки, которая приводит к перегреву, возникающему из-за того, что системы контроля генератора не могут обеспечить работу с литиевыми аккумуляторами из-за их очень низкого внутреннего сопротивления. ИМС LT8210 позволяет реализовать все требуемые функции.

Основные параметры LT8210 [1]:

- выбираемый коммутацией напряжения на выходах режим работы:
  - ◆ непрерывного тока (CCM – Continuous Conduction Mode)
  - ◆ прерывистого тока (DCM – Discontinuous Conduction Mode)
  - ◆ пакетный режим работы (Burst Mode Operation)
- программируемое окно входных напряжений в режиме прямой передачи (Pass-Through Mode)
  - в режиме прямой передачи ток потребления не более 18 мкА, КПД не менее 99.9%
  - диапазон входных напряжений от 2.8 до 100 В (4.5 В для запуска)
  - диапазон выходных напряжений от 1 до 100 В
  - защита от обратного напряжения на входе до –40 В
  - погрешность поддержания выходного напряжения не хуже  $\pm 1,25\%$  в диапазоне температур от –40 до 125 °С
  - погрешность измерения выходного тока не более  $\pm 3\%$
  - погрешность регулировки тока не более  $\pm 5\%$
  - встроенный 4-канальный драйвер затворов N-канальных МОП-транзисторов
  - возможность работы на фиксированной частоте в диапазоне 80...400 кГц
  - возможность работы с внешней синхронизацией
  - возможность работы в режиме с частотной модуляцией сигнала управления ключами (Spread

Spectrum Frequency Modulation) для обеспечения низкого уровня ЭМП

- формирование сигнала Power Good системой защиты от перенапряжения и от короткого замыкания на выходе
- диапазон рабочих температур –40...125 °С
- корпус TSSOP-38.

ИМС LT8210 – контроллер, который может работать в режиме прямой передачи (Pass-Through Mode). В этом режиме работы на выход передается входное напряжение напрямую, если его значение находится в диапазоне, запрограммированном пользователем. В режиме прямой передачи отсутствуют потери на переключение силовых ключей, отсутствуют электромагнитные помехи (ЭМП) и достигается максимальное значение КПД. Для входных напряжений выше или ниже, заданного для режима прямой передачи окна, цепи регулирования поддерживают либо верхнее значение напряжения, заданного для окна, либо нижнее.

Максимальное напряжение питания драйверов GATEVcc может быть установлено равным 10.6 В, что позволяет использовать стандартные МОП-транзисторы.

На рис. 1 приведена типовая схема включения ИМС LT8210 в резервном источнике питания с использованием режима прямой передачи.

Ток, потребляемый по входу от источника питания (при VIN = 12 В), не превышает 55 мкА при отключенной от выхода VOUT нагрузке. Выходной ток не превышает 1.9 мкА при отключенном входе или выключенном (DISABLED) преобразователе.

Режим работы LT8210 задается изменением уровня напряжения на управляющих входах MODE1 и MODE2 в соответствии с табл. 1.

**Таблица 1. Режимы работы LT8210**

Уровень напр. на входах		Режим работы
MODE2	MODE1	
Низкий	Низкий	Continuous Conduction Mode (CCM)
Низкий	Высокий	Discontinuous Conduction Mode (DCM)
Высокий	Низкий	Burst Mode Operation
Высокий	Высокий	Pass-Through Mode

Эффективность работы преобразователя иллюстрирует рис. 2, на котором приведены графики за-

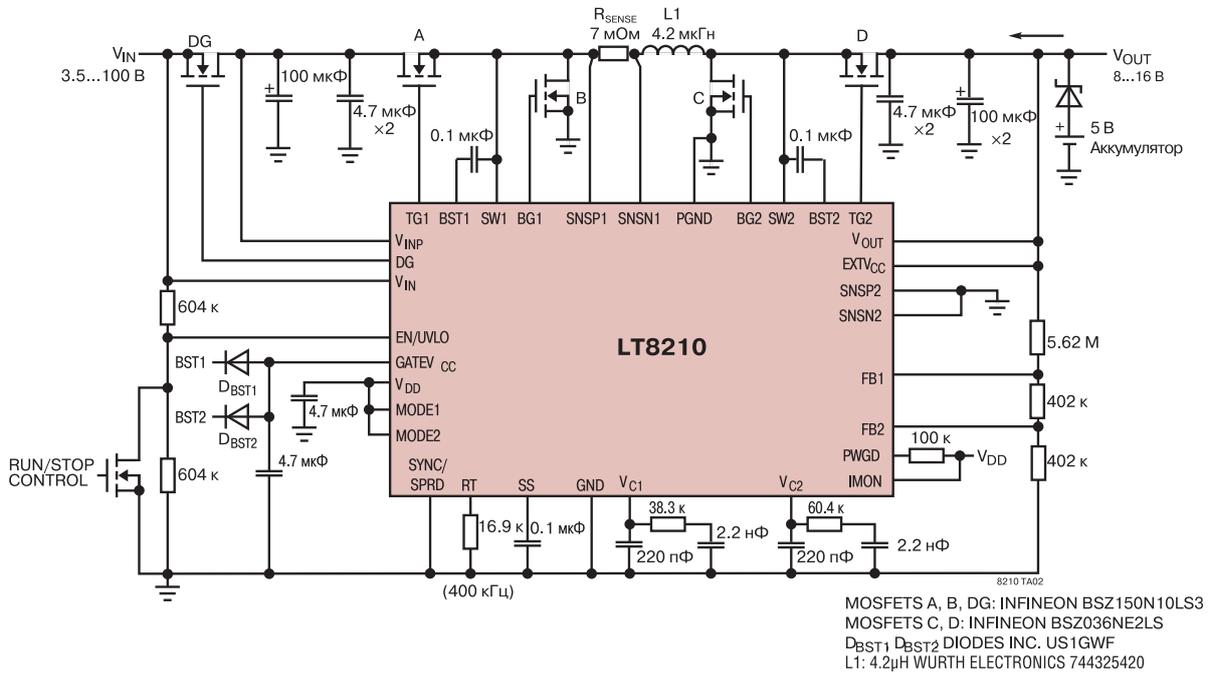


Рис. 1. Принципиальная схема резервного источника питания с низким током покоя, использующим режим прямой передачи

висимостей КПД преобразователя от тока нагрузки и режима работы при входном напряжении 20 В. Зависимости при других входных напряжениях приведены в [1].

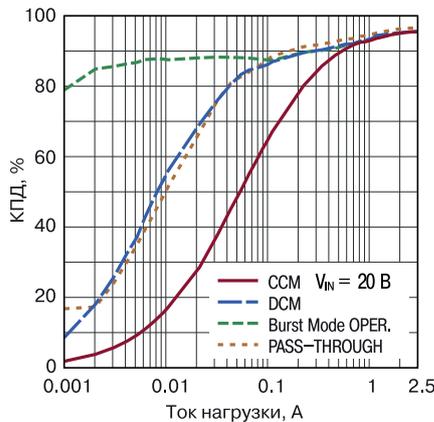


Рис. 2. Графики зависимостей КПД преобразователя LT8210 от тока нагрузки и режима работы

Напряжение на выходе в режиме прямой передачи можно рассчитать по формулам, приведенным на рис. 3. Делителями напряжения (R1, R2) задается ширина окна режима прямой передачи.

Частота коммутации ключей задается резистором, включенным между выводом RT и общим проводом, и может изменяться в диапазоне от 80 до 400 кГц. Рассчитать частоту коммутации можно по формуле

$$f_{sw(OPTIMAL)} = [(260 + (5.5 \cdot V_{OUT})) \cdot R_{SENSE}] / L_1,$$

где  $R_{SENSE}$  – сопротивление датчика тока,  $L_1$  – индуктивность дросселя.

В [1] приведены рекомендации по выбору и расчету индуктивности катушки и таблица значений сопротивления резистора для формирования различных значений частоты коммутации.

Для синхронизации работы с внешним генера-

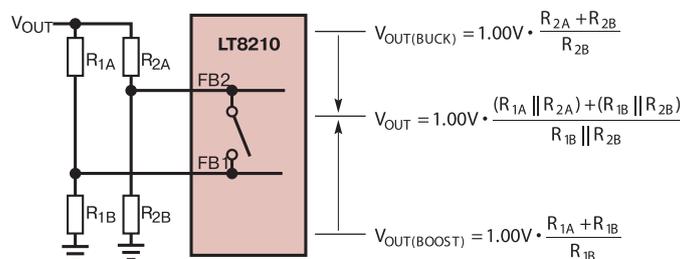


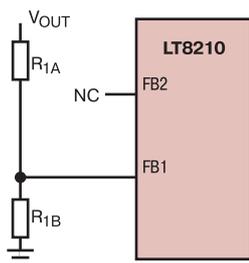
Рис. 3. Работа LT8210 в режиме прямой передачи

тором необходимо на вход SYNC/SPRD подать импульсы, длительность которых может находиться в пределах от 10 до 90% величины периода сигнала синхронизации, а уровень логической единицы – в диапазоне 1.8...5 В.

Чтобы перевести ИМС в режим работы с расширением спектра для уменьшения уровня ЭМП, необходимо на вход SYNC/SPRD подать напряжение с вывода  $V_{DD}$ . В этом режиме частота коммутации будет изменяться от номинального значения  $f_{sw}$  до  $1.125 f_{sw}$ .

В режимах работы CCM, DCM и BURST MODE выходное напряжение задается делителем напряжения, подключенным к выводу FB1 (рис. 4) и рассчитывается по формуле

$$V_{OUT} (B) = (R_{1A} + R_{1B})/R_{1B} \cdot V_{FB1}$$



**Рис. 4. Схема управления выходным напряжением LT8210 в режимах CCM, DCM и BURST MODE**

В [1] приведены рекомендации и расчетные соотношения для выбора всех элементов преобразователя, большое число типовых схем включения, иллюстрирующих работу преобразователя в различных режимах.

### Драйвер светодиодов LT3952A

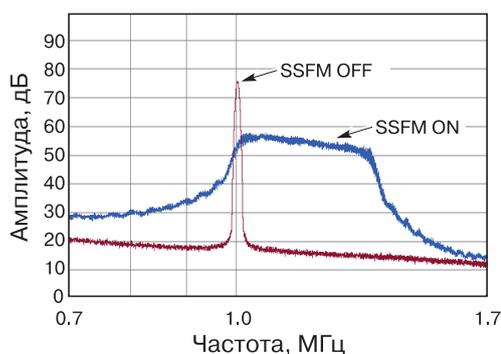
Преобразователь имеет высокий КПД, защиту от коротких замыканий на выходе, предусмотрена возможность регулировки яркости свечения светодиодов (диммирования) в широком диапазоне внутренней схемой управления. Такие характеристики ИМС позволяют использовать ее в автомобильной и авиационной промышленности, системах машинного зрения и подсветки дисплеев, сканерах и других приложениях с высокими требованиями к уровню ЭМП [2].

Основные параметры LT3952A [3]:

- диапазон входного напряжения 3...42 В
- частота преобразования 0.2...3 МГц

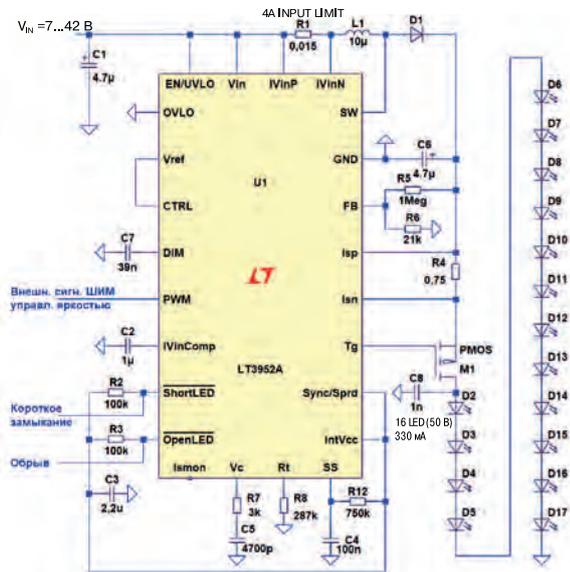
- возможность синхронизации работы от внешнего генератора
- максимальный ток встроенного ключа 4А
- частотная модуляция с расширением спектра (SSFM)
  - выход управления затвором силового ключа
  - встроенная система регулировки яркости светодиодов (Dimming)
    - диапазон регулировки яркости свечения светодиодов 4000:1 с помощью ШИМ-сигнала
    - диапазон регулировки яркости свечения светодиодов 10:1 изменением напряжения на управляющем входе
  - программируемая система защиты от перенапряжения и пониженного напряжения на входе
    - защита от короткого замыкания на выходе
    - система контроля и ограничения входного тока
    - габаритные размеры 9.6×4.4 мм
    - тип корпуса TSSOP-28.

На рис. 5 приведены спектры кондуктивных помех, создаваемых преобразователем LT3952A при включенном и отключенном режиме SSFM, измеренные в узком диапазоне частот. Частотная модуляция осуществляется по треугольному закону. Из рис. 5 следует, что снижение уровня ЭМП составляет не менее 16 дБ, что является весьма существенным результатом. Следует учесть, что спектры, приведенные на рис. 5, измерены без применения дополнительных помехоподавляющих фильтров. Измерения в широком диапазоне частот дают очень похожую картину. Уровень спектральных составляющих вокруг гармоник сигнала с частотой коммутации ключей снижается не менее, чем на 14 дБ [4] благодаря расширению спектра.



**Рис. 5. Спектры кондуктивных ЭМП при включенном (синий) и выключенном режиме расширения спектра (SSFM)**

На рис. 6 приведена типовая схема включения ИМС LT3952A, работающей в режиме расширения спектра [3] и обеспечивающей максимальную



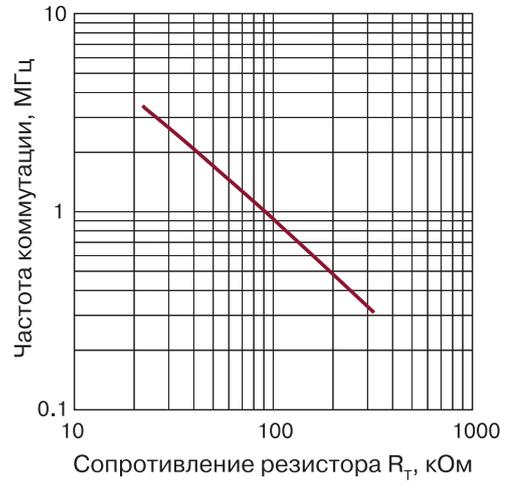
**Рис. 6. Типовая схема включения ИМС LT3952A, работающей в режиме расширения спектра**

яркость свечения светодиодов.

В приведенной на рис. 6 схеме режим SSFM включается путем подачи напряжения с выхода встроенного источника 3 В (IntVcc) на вывод SYNC/SPRD. Вывод SYNC/SPRD предназначен для подачи на него сигнала внешней синхронизации и включения режима SSFM. При низком уровне напряжения на этом входе преобразователь работает с фиксированной внутренней частотой. Если используется режим работы с внешней синхронизацией сопротивление резистора, подключенного ко входу RT (R8 на рис. 6), должно быть выбрано таким, чтобы частота внутреннего генератора ИМС была примерно на 20% ниже чем частота сигнала синхронизации. Определить величину сопротивления этого резистора можно с помощью графика, приведенного на рис. 7. Режим синхронизации включается через 50 нс после подачи на вход SYNC/SPRD фронта импульса внешнего сигнала синхронизации.

Вывод DIM предназначен для регулировки скважности сигнала ШИМ. При изменении напряжения на этом входе от 0.2 до 1.2 В скважность меняется от 0 до 100%. Следует учесть, что ко входу DIM подключен внутренний источник тока 20 мкА. Если регулировка яркости не нужна, то следует либо подключить этот вывод к источнику IntVcc или подключить между выводом DIM и общим проводом конденсатор небольшой емкости.

Для регулировки выходного напряжения на вы-



**Рис. 7. Зависимость частоты коммутации ИМС LT3952A от сопротивления резистора RT**

вод FB подается часть выходного напряжения через делитель (R5, R6 на рис. 6). Выходное напряжение можно рассчитать по формуле

$$V_{OUT} (B) = 1.2(1 + R_5/R_6).$$

Вывод SS предназначен для обеспечения плавного пуска преобразователя. Для этого к нему подключается конденсатор и резистор, вторым выводом подключенный к источнику питания IntVcc.

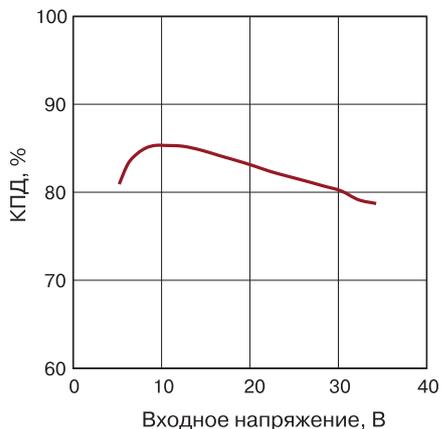
Вывод PWM предназначен для включения/выключения преобразователя. При подключении вывода к общему проводу преобразователь выключается. К этому выводу внутри подключено два источника тока ±10 мкА для формирования треугольного напряжения в формирователе ШИМ-сигнала. Для этого к выводу PWM подключается внешний конденсатор.

На выводе SHORTLED (открытый сток полевого транзистора) формируется низкий уровень или в случае короткого замыкания, или при превышении значения максимального тока нагрузки.

На выводе OPENLED (открытый сток полевого транзистора) формируется низкий уровень при снижении тока нагрузки более чем на 10% от номинального значения.

Выходной ток выводов SHORTLED и OPENLED не должен превышать 2 мА.

На рис. 8 приведена зависимость КПД преобразователя LT3952A от величины входного напряжения. Более подробную информацию о режимах работы, расчету параметров элементов схемы и типовых схемах включения можно найти в [3].



**Рис. 8. Зависимость КПД преобразователя LTC3376 от величины входного напряжения**

**LTC3376 – 4-канальный понижающий преобразователь с 8-ю конфигурируемыми мощными каскадами**

Преобразователь предназначен для применения в телекоммуникационном и промышленном оборудовании с напряжением питания 12 В.

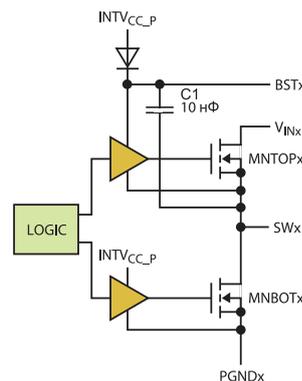
Основные параметры LTC3376 [5]:

- диапазон входных напряжений 3...20 В
- диапазон выходных напряжений  $(0.4...0.83) \times V_{IN}$
- 8 мощных каскадов с выходным током по 1.5 А
- 15 вариантов конфигурации выходов с током нагрузки от 1.5 до 12 А на канал
  - внутренние конденсаторы вольтодобавки (C1 на рис. 9), позволяющие уменьшить площадь печатной платы
  - ток потребления при отключенной нагрузке и активным преобразователем одного канала – 27 мкА, при всех включенных преобразователях – 42 мкА
  - погрешность поддержания выходного напряжения не хуже 1%
  - контроль максимального тока в режимах работы пакетный/принудительно и непрерывный (Burst Mode®/Operation/Forced Continuous)
  - отдельные выходы сигналов PGOOD для каждого канала
  - раздельное управление каждым из четырех каналов преобразователя
  - частота коммутации от 1 до 3 МГц, задаваемая либо резистором RT, либо синхронизируемой системой ФАПЧ, либо от встроенного генератора частотой 2 МГц
  - формирование на выводе TEMP напряжения пропорционального температуре кристалла

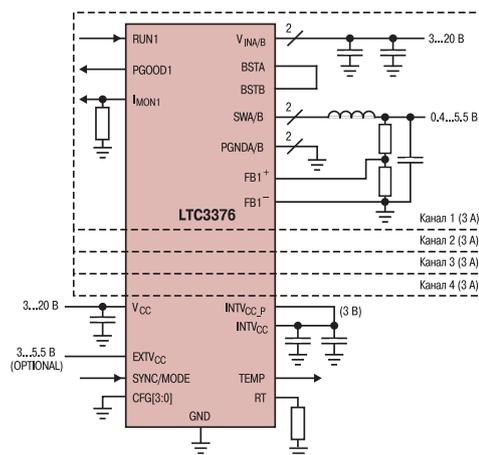
- контроль выходного тока
- диапазон рабочих температур –40...125 °С
- габаритные размеры 7×7 мм
- корпус BGA-64.

На рис. 9 приведена функциональная схема мощного каскада. Для увеличения амплитуды выходного импульса используется конденсатор вольтодобавки C1, включенный между выходом силового каскада и точкой питания драйвера верхнего плеча. Таким образом, вводится параллельная положительная обратная связь по цепи питания или, так называемое, следящее питание. С функциональной схемой всего преобразователя LTC3376 можно ознакомиться в [5].

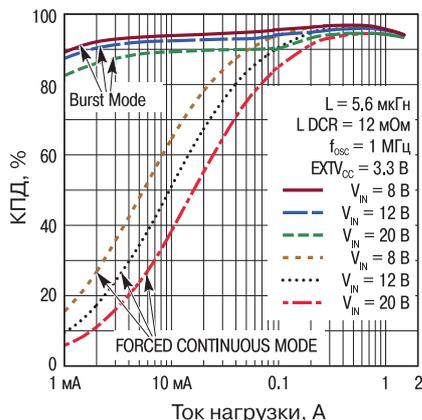
Типовая схема включения ИМС LTC3376 в режиме работы с четырьмя выходными каналами приведена на рис. 10. Для этой схемы включения на рис. 11 приведены графики зависимостей КПД ИМС LTC3376 от величины входного напряжения и режима работы преобразователя.



**Рис. 9. Функциональная схема мощного каскада**



**Рис. 10. Типовая схема включения ИМС LTC3376 в режиме работы с четырьмя каналами**



**Рис. 11. Графики зависимостей КПД ИМС LTC3376 от величины входного напряжения и режима работы преобразователя**

Из графиков следует, что при малых токах нагрузки или при нагрузке, изменяющейся в широких пределах, целесообразно использовать режим Burst Mode.

Конфигурация режима работы осуществляется подачей напряжения INTV<sub>CC</sub> (логическая 1) или нулевого потенциала (логический 0) на выходы CFG0, CFG1, CFG2 и CFG3 (табл. 1). Выходы мощных каскадов пронумерованы буквами от А до Н. В табл. 1 указывается выходы каких мощных каскадов будут объединены для работы на общую нагрузку при различных сочетаниях потенциалов на входах конфигурации. Например, если на все выходы CFG будет

**Таблица 1. Соответствие конфигурации выходов от управляющих сигналов на входах CFG0... CFG3**

CFG3	CFG2	CFG1	CFG0	Конфигурация выходов			
				Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
0	0	0	0	AB	CD	EF	GH
0	0	0	1	ABH	CD	EF	G
0	0	1	0	ABH	CDE	F	G
0	0	1	1	ABDH	C	EF	G
0	1	0	0	AB	CDE	–	FGH
0	1	0	1	ABCD	–	EF	GH
0	1	1	0	ABH	–	CDEF	G
0	1	1	1	ABCD	–	–	EFGH
1	0	0	0	ABDEH	C	F	G
1	0	0	1	ABCDH	–	EF	G
1	0	1	0	ABCDE	–	–	FGH
1	0	1	1	ABCDEH	–	F	G
1	1	0	0	ABCDEF	–	–	GH
1	1	0	1	ABCDEFH	–	–	G
1	1	1	0	ABCDEFGH	–	–	–
1	1	1	1	AB	CD	EF	GH

подан нулевой потенциал, то ИМС будет работать с четырьмя выходами по 3 А (первая строка табл. 1).

Входы INTV<sub>CC</sub> сделаны отдельными для каждого канала. Для подключения канала необходимо подать напряжение от источника питания на вход INTV<sub>CC</sub> и подключить к нему развязывающий конденсатор.

Частота коммутации при работе от внутреннего генератора определяется по формуле

$$f_{OSC} \text{ (МГц)} = 804/R_T$$

где R<sub>T</sub> – сопротивление резистора, подключенного к выводу RT, выраженное в кОм.

Более подробную информацию о схемах включения, расчете параметров элементов и особенностях режимов работы можно найти в [5].

**LT8551 – многофазный повышающий преобразователь со встроенными драйверами затворов**

Преобразователь предназначен для использования в промышленных системах автоматизации с большими токами потребления.

Основные характеристики преобразователя LT8551 [6]:

- четыре выхода с различными фазами сигналов

управления

- входное и выходное напряжение до 80 В
- объединение нескольких микросхем для увеличения выходного тока
- поддержка до 18 сигналов управления с различными фазами и шагом изменения фазы 20° (от 20 до 180°)
- фиксированная частота от 125 кГц до 1 МГц
- защита от перегрузки по току
- диапазон рабочих температур -40...125 °С
- габаритные размеры 7×8 мм
- корпус QFN-52.

Типовая схема включения LT8551 приведена на рис. 12.

Для увеличения выходного тока можно объединять несколько ИМС LT8551 в одну систему. На рис. 13 приведена структурная схема включения нескольких ИМС с общим управлением.

Основной контроллер управляет ведущей ("мастер") ИМС LT8551. Команды, передаваемые

контроллером, выполняются как ведущей, так и ведомыми ИМС. Выводы TGSR и TGSL ведомого устройства связаны с выводами REG (ведущего устройства) и GND, соответственно. Если напряжение  $V = VTGSR - VTGSL$  меньше чем 2.3 В, выводы TGBUF ведущей и ведомых ИМС необходимо подключить к общему проводу.

Для ограничения допустимого тока используется один датчик  $R_{SENSE}$ , включенный последовательно с дросселем преобразователя (рис. 12). Напряжение, снимаемое с этого датчика, подается на выводы ISN и ISP ведущей ИМС LT8551, а ведомые ИМС управляются усиленным сигналом, формируемым на выводе IAMPP ведущей микросхемы (рис. 14).

Для стабильной работы системы ограничения тока емкость, включенная между выводами IAMPP и GND, должна находиться в диапазоне от 100 до 470 пФ. В ведомых ИМС выводы ISN и ISP не используются и должны быть подключены к общему проводу (рис. 14).

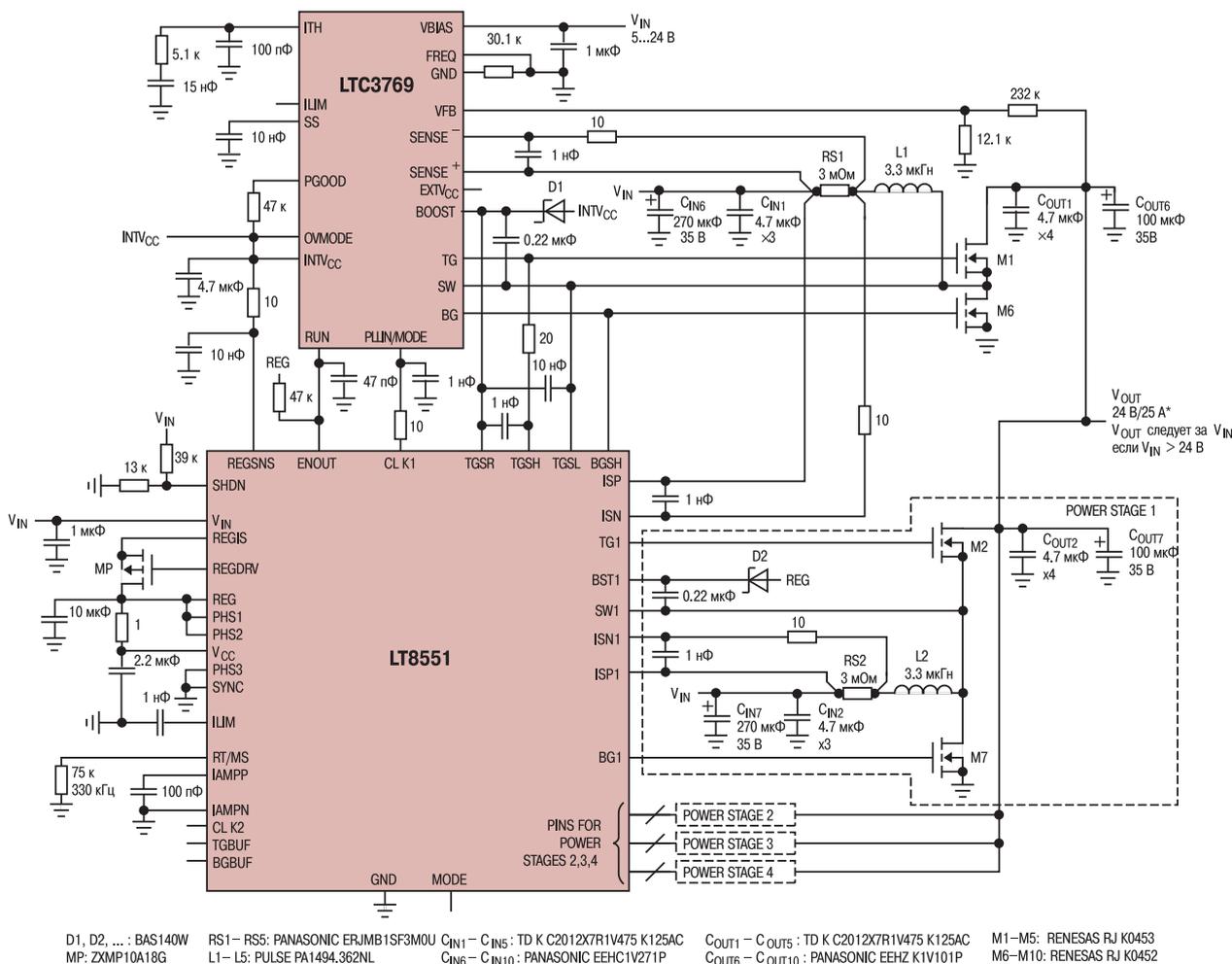
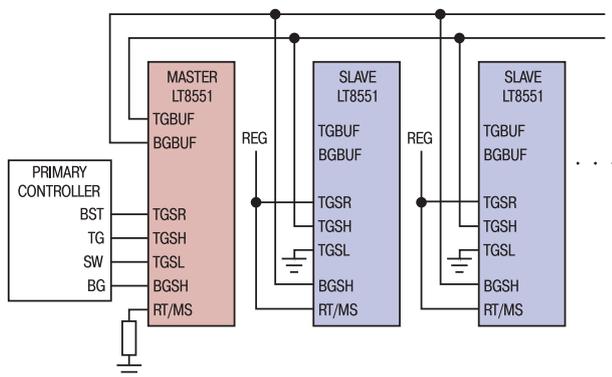
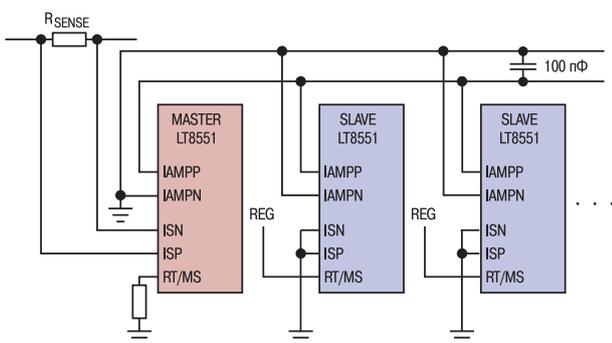


Рис. 12. Типовая схема включения LT8551



**Рис. 13. Структурная схема включения нескольких ИМС LT8551 с общим управлением**

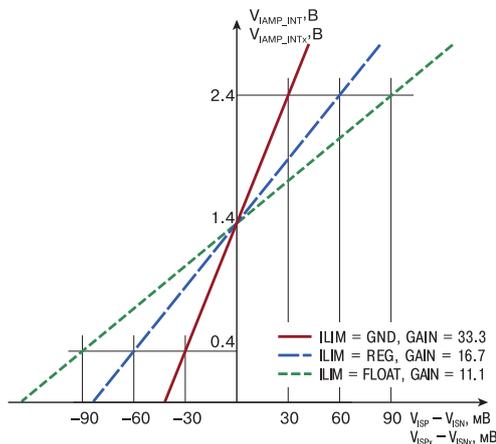


**Рис. 14. Структурная схема соединения нескольких ИМС LT8551 при использовании одного датчика тока**

Усилитель сигнала датчика тока имеет три программируемых значения коэффициента усиления. Для изменения коэффициента усиления достаточно изменить напряжение на входе ILIM. При нулевом напряжении коэффициент усиления максимален и равен 33.3, при подключении вывода ILIM к выводу REG – 16.7, не подключенный вывод – коэффициент усиления 11.1 (рис. 15). Программирование коэффициента усиления позволяет регулировать чувствительность системы контроля выходного тока источников питания.

С другими примерами типовых схем включения, расчетом параметров элементов и выбором режимов работы ИМС LT8551 можно подробно ознакомиться в [6].

Приведенная в статье краткая информация позволяет получить представление об основных возможностях и областях применения новых микросхем преобразователей. Он также позволяет сде-



**Рис. 15. Зависимости коэффициента усиления от состояния вывода ILIM ИМС LT8551**

лать вывод о целесообразности использования преобразователей с технологией расширения спектра для разработки источников питания, удовлетворяющих самым жестким требованиям по уровню создаваемых электромагнитных помех.

Подробнее ознакомиться с параметрами и схемами включения ИМС преобразователей можно в [1, 3, 5, 6] и на сайте компании Analog Devices.

### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT8210.pdf>.
2. Szolusha K, Lawrence K. Synchronous, Low EMI LED Driver Features Integrated switches and Internal PWM Dimming / LT Journal of Analog Innovation, August 2016, Volume 26, Number 3 // <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/lt-journal-article/ltjournal-v26n3-2016-08.pdf>.
3. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT3952A.pdf>.
4. Макаренко В.В. Драйвер светодиодов с расширенными функциональными возможностями / Электронные компоненты и системы, №1 (217), 2017, с. 54-60 // [http://www.ekis.kiev.ua/User-Files/Image/pdfArticles/1\\_2017/V.Makarenko\\_LED\\_driver\\_with\\_enhanced\\_functionality.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/User-Files/Image/pdfArticles/1_2017/V.Makarenko_LED_driver_with_enhanced_functionality.pdf).
5. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT3376.pdf>.
6. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT8551.pdf>.