

КОНТРОЛЛЕР ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ 99,9% И НИЗКИМ УРОВНЕМ ЭМИ

В статье приведена краткая информация о контроллере импульсного преобразователя LT8210, выпускаемого компанией Analog Devices. Контроллер может работать в режиме Pass-Thru™, который обеспечивает отсутствие помех от переключения силовых ключей преобразователя и КПД 99%, благодаря прямой передаче входного напряжения на выход преобразователя при условии, что оно находится в пределах заданного пользователем окна. Преобразователь с таким контроллером может работать в диапазоне входных напряжений от 2,8 до 100 В, что позволяет использовать его в электронных системах автомобилей.

В. Макаренко

Импульсные регуляторы, выпускаемые компанией Analog Devices с использованием технологии PassThru™, могут работать с эффективностью 99,9% при низком токе покоя, генерируя нулевой уровень электромагнитных помех. В режиме Pass-Thru входное напряжение передается непосредственно на выход преобразователя, что исключает потери при переключении и связанные с переключением электромагнитные помехи.

Analog Devices выпускает понижающие и понижающе/повышающие контроллеры импульсных источников питания и преобразователи с технологией Pass-Thru. Рассмотрим один из таких контроллеров LT8210 [1].

Распространенной проблемой преобразователя постоянного тока является формирование регулируемого выходного напряжения, когда входное напряжение по значению очень близко к выходному (выше, ниже или равно), то есть преобразователь должен выполнять как повышающие, так и понижающие функции. Этот сценарий типичен при питании электроники автомобиля от аккумулятора с номинальным напряжением 12 В, которое может варьироваться при холодном пуске двигателя от 3 В до 100 В при отключении нагрузки, а также при ошибочном подключении аккумулятора с обратной полярностью.

Существует несколько топологий преобразователей постоянного тока, которые могут выполнять как повышение, так и понижение напряжения, но ни одна из них не обеспечивает передачу входного на-

99.9% SWITCHING POWER SUPPLY CONTROLLER WITH LOW EMI

Abstract – This article provides a summary of the LT8210 pulse converter controller manufactured by Analog Devices. The controller can operate in Pass-Thru™ mode, which ensures that there is no interference from switching the power switches of the converter and the efficiency is 99%, due to the direct transfer of the input voltage to the converter output, provided that it is within the window specified by the user. A converter with such a controller can operate in the input voltage range from 2.8 to 100 V, which allows its use in automobile electronic systems.

V. Makarenko

пряжения непосредственно на выход без работы силового ключа [2].

Синхронный повышающий контроллер LT8210, может работать в "сквозном" режиме (Pass-Thru), в котором отсутствуют электромагнитные помехи и коммутационные потери. Эффективность преобразователя в этом режиме достигает 99,9%. Преобразователь переходит в этот режим если напряжение находится в пределах программируемого пользователем окна. LT8210 работает в диапазоне изменения входного напряжения от 2,8 до 100 В, что позволяет ему работать во всем диапазоне изменения напряжения на аккумуляторе в автомобилях.

LT8210 может работать как обычный повышающий контроллер в непрерывном режиме (CCM – Continuous Conduction Mode), в прерывистом режиме (DCM – Discontinuous Conduction Mode), в режиме пропуска импульсов (Burst Mode®) или в Режим Pass-Thru, в котором выходное напряжение регулируется вне запрограммированного окна, а в пределах окна передается на выход без изменения.

Функциональная схема контроллера LT8210 приведена на рис. 1.

Режимы работы LT8210 выбираются установкой высокого (>1.17 В) или низкого (<0.8 В) уровней на входах MODE1 и MODE2. Пороговое напряжение входов MODE1 и MODE2 позволяют осуществлять динамическое управление сигналами с логическими уровнями 1.8, 2.5, 3.3 или 5 В. В табл. 1 приведены значения уровней на входах MODE1 и MODE2 для работы преобразователя в различных режимах.

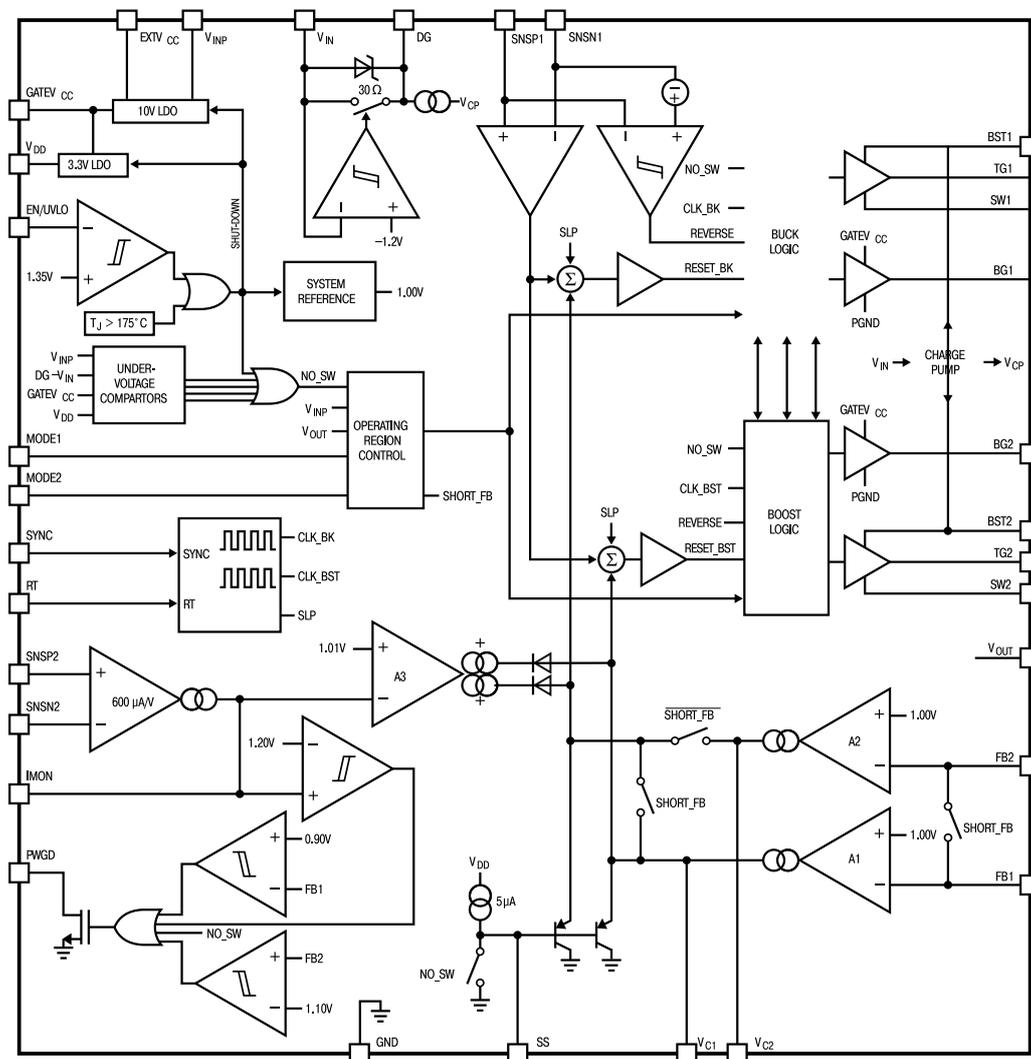


Рис. 1. Функциональная схема контроллера LT8210

Таблица 1. Значения уровней на входах MODE1 и MODE2 в различных режимах работы

MODE2	MODE1	OPERATING MODE
LOW	LOW	Непрерывный режим (CCM)
LOW	HIGH	Прерывистый режим (DCM)
HIGH	LOW	Режим пропуска импульсов (Burst Mode) Operation
HIGH	HIGH	Сквозной режим Pass-Thru

В непрерывном, прерывистом и режиме пропуска импульсов LT8210 работает в качестве обычного контроллера с регулируемым выходным напряжением, устанавливаемым резистивным делителем между выводами VOUT, FB1 и GND (рис. 2). В сквозном режиме (Pass-Thru) значения границ окна регу-

лируются с помощью резистора, подключенного между выводами FB1 и FB2 ИМС (рис. 2).

Эффективность работы LT8210 в режиме Pass-Thru иллюстрирует рис.3.

Работу преобразователя в режиме Pass-Thru иллюстрирует рис. 4.

В сквозном режиме (Pass-Thru) выходные напряжения при работе преобразователя с понижением (повышением) напряжения программируются независимо. Выходное напряжение регулируется в соответствии с окном, определяемым минимумом VOUT (в режиме повышения напряжения) и максимумом VOUT (в режиме понижения напряжения).

Напряжение на выводе FB2 сравнивается с опорным напряжением 1 В с помощью усилителя A2 (рис. 1), выходное напряжение которого управляет током катушки индуктивности. Аналогично в режиме повышения напряжения на выводе FB1 сравнивает-

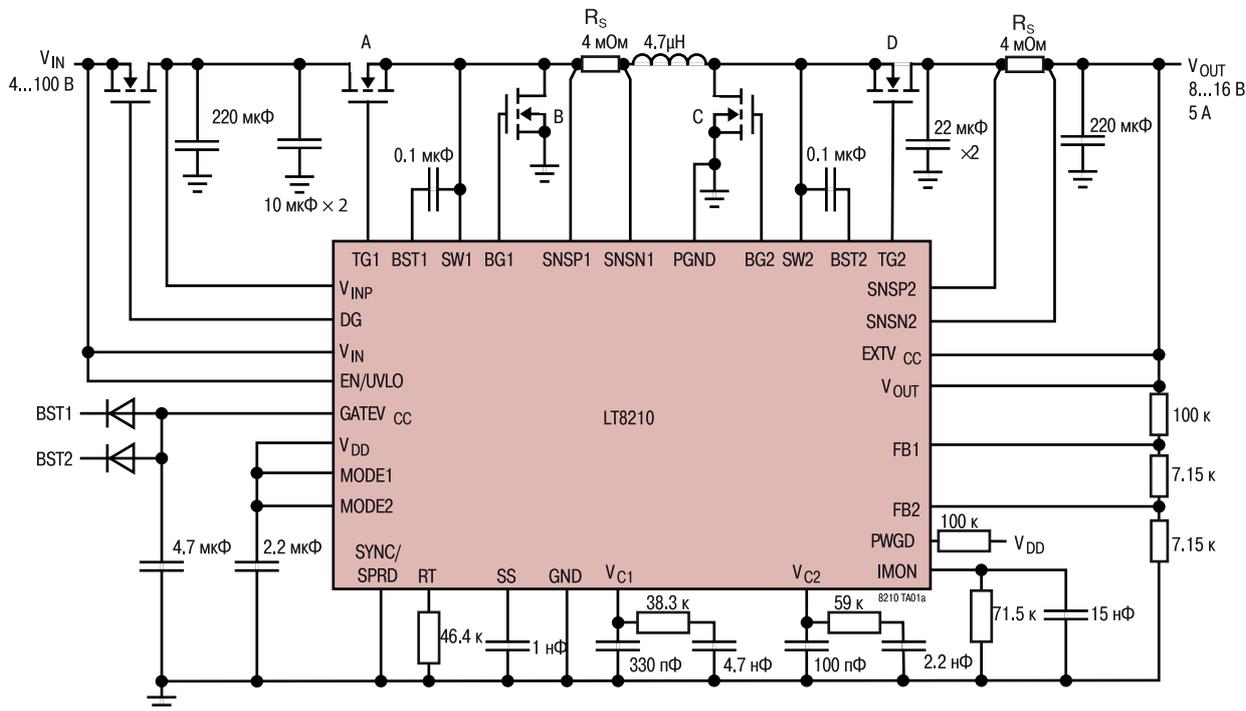


Рис. 2. Типовая схема подключения LT8210

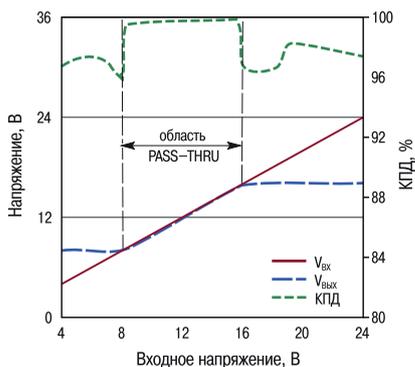


Рис. 3. Зависимость КПД LT8210 от входного напряжения в различных режимах работы

ся с опорным напряжением 1 В с помощью усилителя А1, выходное напряжение которого (вывод V_{C1}) управляет током через катушку индуктивности, когда замкнута петля обратной связи.

В непрерывном режиме (CCM) ток через катушку меняет направление, как только напряжение на выходе SS превышает 2.5 В. Это сделано для предотвращения возникновения больших обратных токов через катушку индуктивности в момент пуска преобразователя. Обратный ток ограничивается на уровне максимального прямого тока. Максимальное рекомендуемое значение частоты коммутации

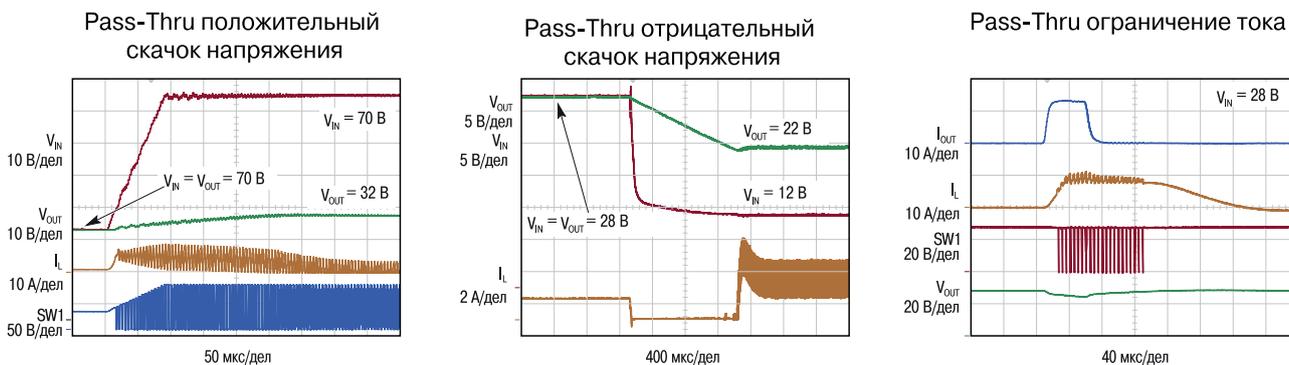


Рис. 4. Временные диаграммы сигналов в различных точках преобразователя в различных режимах работы

ключей в этом режиме составляет 350 кГц.

В прерывистом режиме (DCM) отсутствует обратный ток через катушку индуктивности при низких выходных токах преобразователя. Эффективность преобразователя при малых токах нагрузки в этом режиме выше, чем в режиме CCM.

Если падение напряжение на датчике тока, включенного между выводами SNSP1 и SNSN1, становится менее 3 мВ в момент времени, когда открыты ключи В или D, то ключ закрывается для предотвращения обратного тока.

При очень малых токах нагрузки LT8210 осуществляется пропуск нескольких тактовых импульсов управления ключами для поддержания требуемого выходного напряжения в режиме DCM. В такой режим преобразователь переходит, когда средний ток через катушку индуктивности превышает ток нагрузки даже при переключении в пределах рабочего цикла. Если пропуск импульсов нежелателен, то необходимо либо понижать частоту коммутации, либо увеличивать размеры катушки индуктивности. При сохранении высокой частоты в таком случае без пропуска импульсов нужно перевести LT8210 в режим СКК.

В режиме пропуска импульсов (Burst Mode) при малых токах нагрузки выходной конденсатор заряжается до напряжения немного выше требуемого. Затем преобразователь переходит в состояние сна, а выходной конденсатор обеспечивает необходимый ток в нагрузке. Когда выходное напряжение падает ниже заданного значения, преобразователь включается и опять начинается заряд конденсатора пакетом импульсов. Длительность интервала сна уменьшается с увеличением тока нагрузки.

Режим Burst Mode устанавливается уровнем напряжения на выводе VC1 (рис. 2), с гистерезисом примерно 25 мВ. Если напряжение на выходе преобразователя возрастает, то напряжение на выводе VC1 падает ниже порога и переключение ключей

прекращается. Как только напряжение на выходе начинает падать, напряжение на выводе VC1 возрастает и, как только оно возрастет больше чем на 25 мВ (гистерезис схемы) вновь восстанавливается переключение ключей.

Ток потребления в режиме Burst Mode уменьшается до 65 мкА при отсутствии коммутации ключей. В этом режиме (аналогично с режимом DCM) ограничен обратный ток через катушку индуктивности.

В сквозном режиме (Pass-Thru) выходные напряжения при работе преобразователя с понижением (повышением) напряжения программируются независимо. Выходное напряжение регулируется в соответствии с окном, определяемым минимумом VOUT (в режиме повышения напряжения) и максимумом VOUT (в режиме понижения напряжения).

Напряжение на выводе FB2 сравнивается с опорным напряжением 1 В с помощью усилителя A2 (рис. 1), выходное напряжение которого управляет током катушки индуктивности. Аналогично в режиме повышения напряжение на выводе FB1 сравнивается с опорным напряжением 1 В с помощью усилителя A1, выходное напряжение которого (выводе VC1) управляет током через катушку индуктивности, когда замкнута петля обратной связи.

Возможен динамический переход между режимами Pass-Thru и режимами CCM, DCM или Burst Mode. Если преобразователь работает в режиме СКК, DCM или режиме Burst Mode, то выводы FB1 и FB2 соединены между собой переключателем, находящимся внутри ИМС (рис. 1). В режиме Pass-Thru переключатель размыкается и преобразователь контролирует напряжение верхнего и нижнего порога этого режима.

На рис. 5 приведен вариант подключения делителей для формирования окна выходного напряжения в режиме Pass-Thru. При размыкании переключателя режим Pass-Thru прекращается и осу-

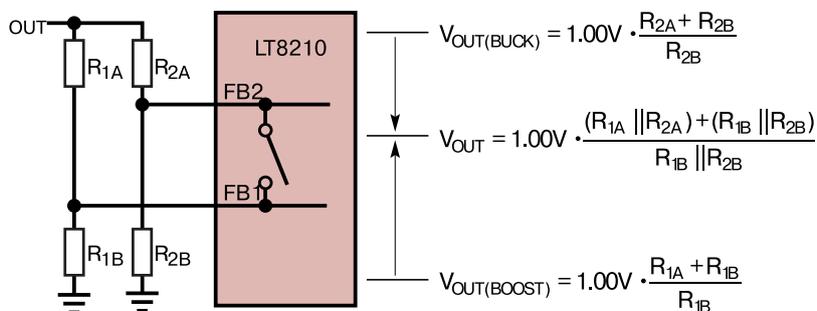


Рис. 5. Вариант подключения делителей для формирования окна в режиме Pass-Thru

ществляется переход в один из остальных режимов.

Сопротивление резистора датчика тока (рис. 2) в режиме понижения напряжения может быть рассчитано по формуле

$$R_s = 50 \text{ мВ} / I_{OUTmax}$$

Если преобразователь должен работать в режиме повышения напряжения, то сопротивление датчика тока рассчитывается по формуле

$$R_s = (50 \text{ мВ} / I_{OUTmax}) \cdot (V_{INmin} / V_{OUT})$$

При расчете индуктивности катушки следует учесть, что величина индуктивности и амплитуда пульсаций связаны обратно-пропорциональной зависимостью. Как правило, амплитуда тока пульсаций в 1.2-1.4 раза выше максимального тока через катушку. Минимальное значение индуктивности как в режиме понижения напряжения, так и в режиме повышения, может быть рассчитана по формулам

$$L_{BUCK} = [V_{OUT} \cdot (V_{INmax} - V_{OUT})] / [100 f_{SW} I_{OUTmax} \Delta I_L V_{INmax}]$$

$$L_{BOOST} = [V_{IN}^2 \cdot (V_{OUT} - V_{INmin})] / [100 f_{SW} I_{OUTmax} \Delta I_L V_{OUT}^2]$$

где f_{SW} – частота коммутации силовых ключей.

Оптимальное значение индуктивности может быть рассчитано по формуле

$$L_{opt} = [260 \text{ В} + (5.5 \cdot V_{OUT})] R_s / f_{SW}$$

Частота коммутации ключей может задаваться пользователем в диапазоне от 80 до 400 кГц путем изменения сопротивления резистора, включенного между выводом RT и общим проводом. При низкой частоте коммутации уменьшаются потери при переключении ключей. Для приложений с малым энергопотреблением предпочтительно использовать максимальную частоту для уменьшения габаритных размеров преобразователя.

В [1] рекомендуется следующая последовательность при выборе компонентов преобразователя:

- выбрать сопротивление резистора датчика тока RS исходя из максимального тока нагрузки
- выбрать величину индуктивности катушки для диапазона частот 80...120 кГц
- рассчитать частоту коммутации ключей по формуле

$$f_{SW} = [260 \text{ В} + (5.5 \cdot V_{OUT})] R_s / L$$

В табл. 2 приведены значения сопротивления резистора RT (включенного между выводом RT и общим проводом) для различных значений частоты коммутации ключей.

Таблица 2. Зависимость частоты коммутации от сопротивления резистора RT

RT, кОм	f_{SW} , кГц	RT, кОм	f_{SW} , кГц
16.2	411	41.2	190
16.9	397	43.2	184
17.8	379	45.2	177
18.7	364	47.5	171
20.0	343	49.9	165
21.0	329	52.3	160
22.1	315	54.9	155
23.2	300	59.0	147
24.3	289	64.9	138
25.5	277	71.5	130
26.7	267	78.7	122
28.0	257	86.6	115
29.4	247	95.3	109
30.9	237	100	105
32.4	229	110	100
34.0	220	121	95
35.7	212	133	90
37.4	205	150	85
39.2	200	174	80

При закороченном резисторе частота коммутации составляет 700 кГц, а если связь вывода RT с общим проводом разорвана – 45 кГц. Даже в режиме внешней синхронизации через вывод SYNC/SPRD рекомендуется включать резистор RT. В случае потери внешней синхронизации или падения частоты этого сигнала ниже 50 кГц через 20 мкс преобразователь начинает работать на частоте, заданной резистором RT. Сигнал внешней синхронизации может иметь скажность от 0.5 до 9 (рекомендуемое значение равно 2).

Если использование внешней синхронизации не предусматривается, то рекомендуется подключить вывод SYNC/SPRD к источнику питания (VDD) для включения режима размытия спектра для уменьшения уровня электромагнитных помех (ЭМП).

Временные диаграммы сигналов управления силовыми ключами при включении и выключении сиг-

нала внешней синхронизации приведены на рис. 6. Эффективность использования технологии размытия спектра (Spread Spectrum) иллюстрирует рис. 7. Как следует из этого рисунка применение технологии размытия спектра позволяет снизить уровень компонентов спектра ЭМП примерно на 9 дБ.

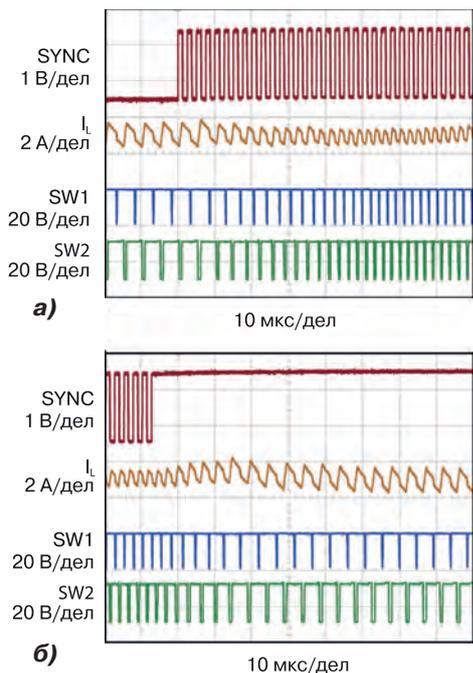


Рис. 6. Временные диаграммы сигналов управления силовыми ключами при включении (а) и выключении (б) сигнала внешней синхронизации

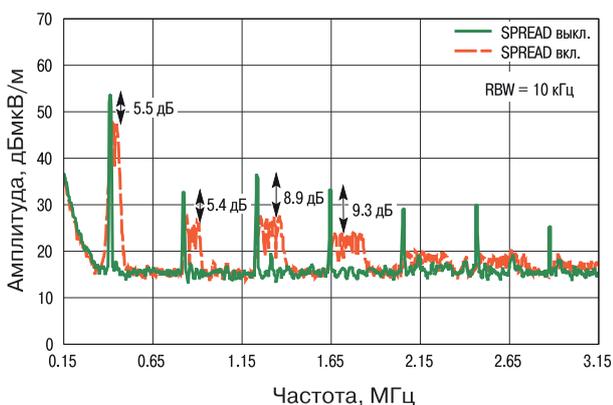


Рис. 7. Спектры ЭМП без применения и с применением технологии Spread Spectrum

В [1] можно найти формулы для расчета емкостей конденсаторов преобразователя и рекомендации по выбору транзисторов для силовых ключей.

Основные параметры LT8210:

- выбираемый подачей напряжения на выводы ИМС режим работы:

- ♦ прямого прохождения (Pass-Thru)
- ♦ непрерывного тока (CCM)
- ♦ прерывистого тока (DCM)
- ♦ пропуска импульсов (Burst Mode®)
- программируемое окно прямого прохождения без переключения
 - ток потребления в режиме Pass-Thru 18 мкА, КПД 99%
 - диапазон входных напряжений от 2.8 до 100 В (4.5 В для пуска преобразователя)
 - диапазон выходных напряжений от 1 до 100 В
 - защита от отрицательного напряжения на входе до -40 В
 - точность поддержания выходного напряжения ±1.25%
 - точность контроля выходного тока ±3%
 - точность установки выходного тока ±5%
 - встроенный четырехканальный N-канальный драйвер затворов MOSFET-транзисторов с выходным напряжением 10 В
 - изменение тока от цикла к циклу не более ±20%
 - работа в автономном режиме или в режиме внешней синхронизации
 - диапазон изменения частоты коммутации ключей от 80 до 400 кГц
 - частотная модуляция с расширением спектра для обеспечения низкого уровня ЭМП
 - диапазон рабочих температур от -40 до 125 °С
 - корпус TSSOP-38 габаритные размеры 9.6×6.4 мм и QFN-40 6×6 мм.

Другие варианты схем включения LT8210 приведены в [1]. Для более детального исследования свойств ИМС можно провести моделирование работы преобразователя в программе LTspice.

Для отладки и контроля работы LT8210 компания Analog Devices предлагает три отладочных платы [3...5].

Плата DC2814A (рис. 8) выпускается в трех модификациях [3]:

- DC2814A-A: диапазон входных напряжений 8...40 В, выдерживает 80 В на входе в течение 60 с, сохраняет работоспособность при напряжении 3.5 В после пуска, выходное напряжение может быть установлено в диапазоне 8...16 В, выходной ток 3 А
- DC2814A-B: диапазон входных напряжений 9...36 В, выдерживает 80 В на входе в течение 60 с, выходное напряжение может быть установлено в диапазоне 24...36 В, выходной ток 2.5 А
- DC2814A-C: диапазон входных напряжений 26...80 В, выходное напряжение может быть уста-

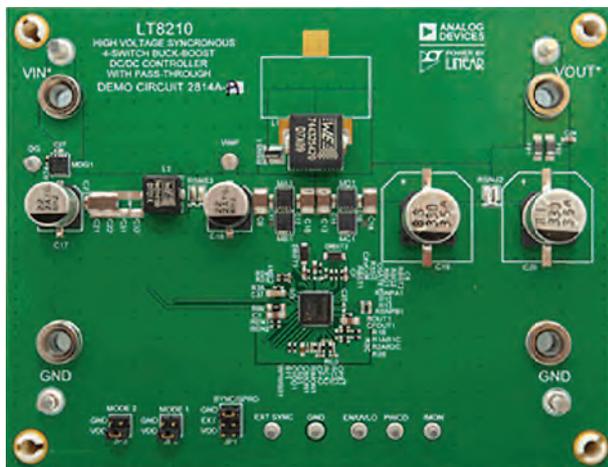


Рис. 8. Отладочная плата DC2814A-A

новлено в диапазоне 36...56 В, выходной ток 2.0 А.

Более подробную информацию о преобразователе LT8210 и отладочных платах можно найти в [1...5].

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT8210.pdf>
2. <https://www.analog.com/en/design-notes/4-switch-buck-boost-controller-with-pass-thru-capability-eliminates-switching-noise.html>
3. <https://www.analog.com/en/products/lt8210.html#>