

НОВЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ ПОНИЖАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО СРЕДНЕМУ ЗНАЧЕНИЮ ТОКА

Максим

Использование в автомобильных системах высокоскоростных процессоров приводит к увеличению потребляемой мощности, что в конечном итоге обостряет такие давно известные проблемы, как обеспечение ЭМС и устойчивости петли регулирования в блоках питания. Многие из них можно решить, используя в качестве сигнала обратной связи среднее значение потребляемого тока. В этой статье, являющейся авторизованным переводом статьи специалиста компании Maxim Integrated Products, Inc., рассматриваются базовые принципы построения и реализация таких регуляторов на основе новых контроллеров MAX5060/MAX 5061.

ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Все существующие автомобильные устройства для мультимедийных и управляющих приложений предъявляют к блокам питания свои собственные уникальные наборы требований — как технические, так и экономические. В список контролируемых характеристик могут входить КПД, размеры, уровень ЭМС, переходные характеристики, сложность блока питания, его стоимость и др. Стоит отметить, что практически все эти параметры в той или иной степени связаны с частотой переключения ключевого элемента БП, так что для достижения сбалансированного сочетания параметров важно правильно выбрать эту частоту.

ОПИСАНИЕ КОНТРОЛЛЕРОВ MAX5060/MAX5061

Контроллеры MAX5060/5061 разрабатывались как основа DC/DC-преобразователей, способных выполнить во многом противоречивый набор требований, перечисленных выше.

Для преобразователей с относительно большим выходным током (от 5 до 25 A) с использованием управления по току для повышения КПД необходимо выбирать как можно меньшее значение сопротивления датчика тока. Однако малое его сопротивление приводит к повышенной чувствительности системы к шумам и помехам. Из-за этого при высоких выходных токах даже наилучшая из возможных разводка печатной платы не может обеспечить достаточно низкий уровень шумов. Один из способов решения этой проблемы — переход к управлению по напряжению, которое уже очень давно применяется

в импульсных преобразователях, но требует тщательного расчета параметров усилителя обратной связи для достижения необходимых характеристик. Использование управления по среднему значению тока позволяет объединить в одном устройстве высокую помехозащищенность и КПД преобразователей с ООС по напряжению с высокой стабильностью и лучшими переходными характеристиками устройств с токовой ООС. На рисунке 1 представлена блок-схема понижающего преобразователя с ООС по среднему значению тока.

Для лучшего понимания принципов построения таких преобразователей начнем с описания работы токовой ООС. Такой режим можно получить в схеме на рисунке 1, если исключить усилитель ошибки УО и генератор

импульсов «окна» (ГИО) и подключить выход усилителя датчика тока к инвертирующему входу компаратора ШИМ. Выход усилителя ошибки подключается к неинвертирующему входу компаратора. В результате мы получаем систему с двумя петлями ОС по току в дросселе (внутренняя петля) и выходному напряжению (внешняя петля). Как уже отмечалось ранее, для преобразователей с большим выходным током для уменьшения потерь желательно выбирать сопротивление датчика тока R_t как можно меньше. Однако результатом этого становится уменьшение полезного сигнала, в котором будет велико содержание шумовых всплесков и помех от переключения.

Введение в схему специально-го усилителя сигнала ошибки УО с подачей сигнала токовой ООС на инвертирующий, а ООС по напряже-нию — на неинвертирующий его вход означает, что система начинает регулировать ток дросселя в соответствии с выходным напряжением. При этом за счет наличия ООС в усилителе ошибки максимальное усиление будет достигаться для постоянной составляющей сигнала датчика тока (которая пропорциональна выходному току преобразователя). В то же время

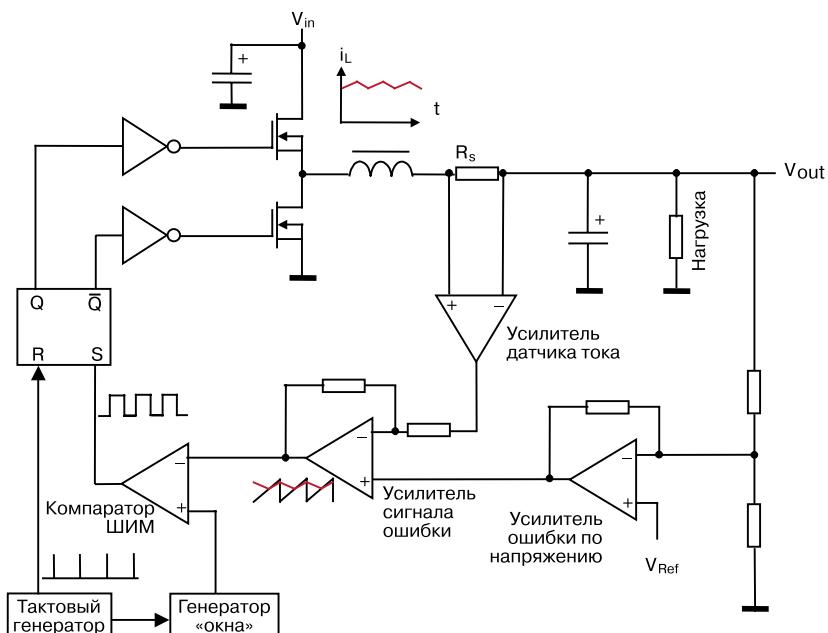


Рис. 1. Блок-схема преобразователя с управлением по среднему току

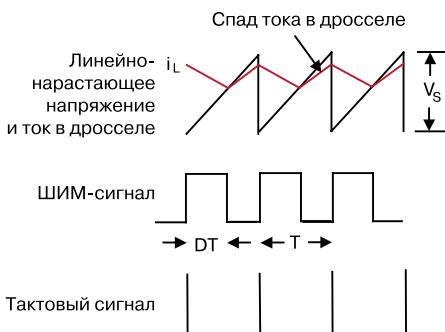


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов в схеме рисунка 1

ВЧ-составляющая сигнала датчика тока будет существенно ослабляться, что означает подавление нежелательных шумов и помех. Большое усиление УО позволяет с высокой точностью регулировать выходной ток. В обычных системах с токовой ООС АЧХ усилителя ошибки обычно плоская в широком диапазоне частот, что приводит к появлению больших импульсных скачков тока при изменении входного напряжения.

Выходной сигнал УО сравнивается компаратором с опорным сигналом, формируя ШИМ-сигнал для управления силовым ключом.

На рисунке 2 показаны сигналы в различных точках схемы. Обратите внимание, что сигнал с датчика тока дросселя i_L , который сравнивается с сигналом ГИО, инвертирован. RS-триггер, включенный после компаратора, служит для исключения дребезга, возникающего на выходе компаратора из-за шумов на его входе. Сброс ГИО тактовым сигналом, в свою очередь, устраниет возможность возникновения импульсных помех в момент выключения МОП-ключа. Еще одной важной особенностью схемы является то, что нет необходимости в дополнительных устройствах для настройки кривой регулирования при длительности включения состояния более 50%, т.к. эту функцию уже выполняет ГИО.

В схеме на рисунке 1 внутренняя петля ОС служит для компенсации изменений входного напряжения. По мере роста входного напряжения спад напряжения датчика тока становится круче, что вызывает уменьшение времени включения МОП-ключа (см. рис. 2). Внешняя петля ОС, с другой стороны, компенсирует изменения выходного напряжения, вызванные изменением нагрузки. Так как ток дросселя задается выходным напряжением усилителя ОС по напряжению, вся система имеет всего один

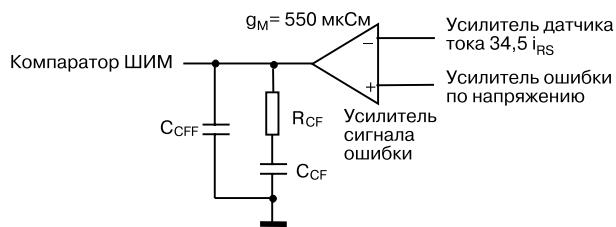


Рис. 3. Схема частотной коррекции для УО на рисунке 1

полюс на фазовой плоскости, что упрощает проектирование частотной коррекции.

Частотная коррекция УО в соответствии с рекомендациями руководства по применению MAX5060/5061 требует использования цепи, показанной на рисунке 3. Выбор такой схемы связан с тем, что инвертирующий вход УО не соединен ни с одним выводом ИС. Обратите внимание на то, что усилитель ошибки выполнен по схеме трансимпедансного усилителя и имеет относительно высокое выходное сопротивление по сравнению с обычными ОУ.

Для оптимизации ООС по току наклон кривой тока в дросселе (красная кривая на рисунке 2) делается близким к наклону кривой изменения сигнала ГИО, но ни в коем случае не больше него. В противном случае возможно самовозбуждение схемы на субгармониках и нестабильность устройства в целом.

Если не принимать во внимание падение напряжения на синхронном выпрямителе, крутизна спада тока в дросселе соответствует формуле

$$\Delta I_L = V_0/L.$$

Этот ток течет через токоизмерительный резистор R_s . Падение напряжения на нем усиливается в 34,5 раза усилителем датчика тока. Умножив получившееся значение на коэффициент усиления УО и приравняв результат к скорости нарастания сигнала ГИО, которая примерно равна $V_{Sf}f_S$, мы получим следующее выражение:

$$34,5R_s \frac{V_0}{L} K_{YO} \leq V_{Sf}f_S.$$

Подставив в него значение усиления $K_{YO} = g_M R_L$, получим для R_L неравенство:

$$R_L \leq \frac{V_{Sf}L}{34,5R_s V_0 g_M}.$$

Переходная проводимость g_M для MAX5060/5061 составляет 550 мкСм, а R_L соответствует R_{CF} в схеме на рисунке 3. Этот резистор выбирается, исходя из обеспечения единичного усиления на границе полосы пропус-

кания токовой петли ОС. Учитывая, что размах выходного сигнала ГИО составляет 2 В, получаем:

$$R_{CF} \leq 105 \frac{f_S L}{R_s V_0}.$$

Усиление УО по постоянному току должно быть как можно выше для повышения точности регулирования среднего выходного тока. Именно для этого в схему введен включенный последовательно с резистором конденсатор, на постоянном токе представляющий собой разрыв цепи. Расположение нуля передаточной функции немного ниже частоты среза, а полюса — как минимум на декаду выше обеспечит широкую полосу пропускания петли ОС при достаточном ослаблении нежелательных помех от переключения. Частоты нуля и полюса вычисляются по следующим формулам:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_{CF} C_{CF}},$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_{CF} C_{CFF}},$$

причем, $C_{CF} \gg C_{CFF}$. Чтобы выражение для частоты полюса оставалось справедливым, C_{CF} должно быть больше C_{CFF} по крайней мере в 10 раз, в противном случае следует использовать вместо C_{CF} емкость параллельного соединения этих конденсаторов. Требуемые номиналы конденсаторов рассчитываются, исходя из выше приведенных формул.

Расчет усилителя ошибки по напряжению мог бы стать довольно сложной задачей при повышенных требованиях к быстродействию. Однако разработчики MAX5060/5061 рекомендуют простой, но эффективный способ, заключающийся в использовании чисто резистивной цепи ОС. Наличие ООС по напряжению уменьшает выходную емкость, что позволяет получить хорошие переходные характеристики. При этом выходное напряжение при минимальной нагрузке будет несколько выше номинального, а при максимальной — немного ниже, но максимальные отклонения от номинала при изменении нагрузки

будут значительно ниже, чем если бы мы использовали узкополосный усилитель с высоким коэффициентом передачи на постоянном токе. Кроме того, при этом уменьшаются и потери мощности в нагрузке.

Выбор параметров петли ОС по напряжению требует знания АЧХ усилителя ошибки по напряжению, а также характеристик всей схемы при большом сигнале в зависимости от нагрузки и температуры. Эти характеристики можно получить экспериментально, а затем на их основе рассчитать параметры петли ОС. Для обеспечения стабильности считается достаточным запас по фазе от 45° до 60°. Цепи ОС для усилителя ошибки по напряжению рассчитывают аналогично цепям УО. Следует отметить, что такие расчеты необходимо провести для всех переходных режимов — включения преобразователя, изменения нагрузки и входного напряжения, восстановления после короткого замыкания и при отсутствии нагрузки. Если выходное напряжение останется в заданных пределах при всех этих процессах во всем диапазоне температур, можно будет сделать вывод о полной стабильности преобразователя.

НЕСКОЛЬКО СОВЕТОВ РАЗРАБОТЧИКУ

В микросхемы MAX5060/5061 встроен линейный стабилизатор на 5 В, вместо которого можно использовать внешний стабилизатор. Если подключить выводы IN к источнику входного напряжения, допустимый диапазон входных напряжений составит от 7 до 28 В. Подача входного напряжения на контакт V_{CC} ограничит диапазон входных напряжений до 4,75...5,5 В. В последнем случае рекомендуется подключить к выводу V_{CC} и вывод IN, чтобы отключить встроенный стабилизатор. Для того, чтобы обеспечить работу схемы в обоих диапазонах напряжений, следует использовать схему, показанную на рисунке 4. В ней для подачи на вход IN нужного напряжения при входном напряжении менее 7 В используется дополнительная повышающая обмотка дросселя. Такое включение может также снизить рассеиваемую ИС мощность.

Если вам необходимо расширить верхнюю границу диапазона входных напряжений до значений примерно 72 В, можно использовать схему, показанную на рисунке 5. Это, помимо всего прочего, обеспечит дополнительную защиту от перенапряжения по входу.

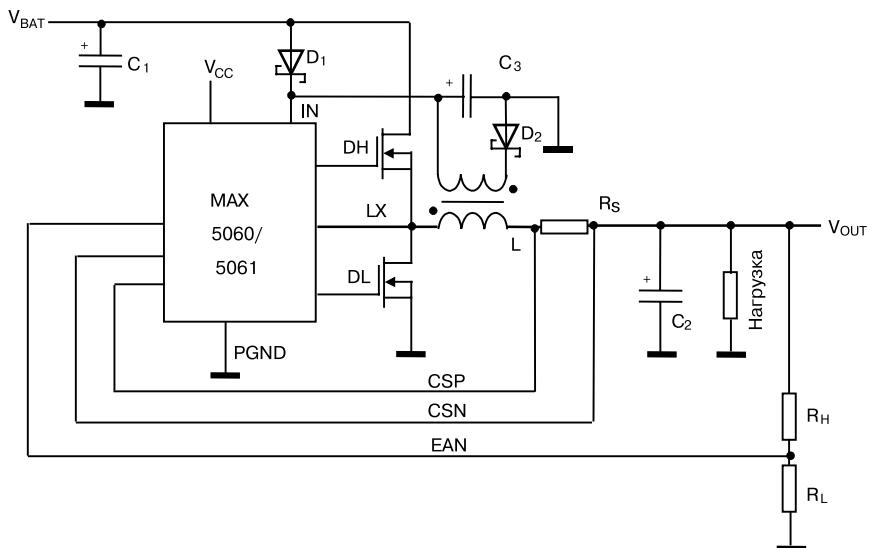


Рис. 4. Повышающий преобразователь на основе MAX5060/5061

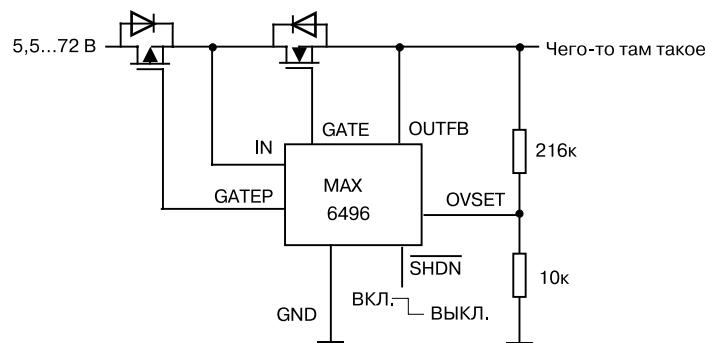


Рис. 5. Дополнительный блок, расширяющий диапазон входных напряжений преобразователя

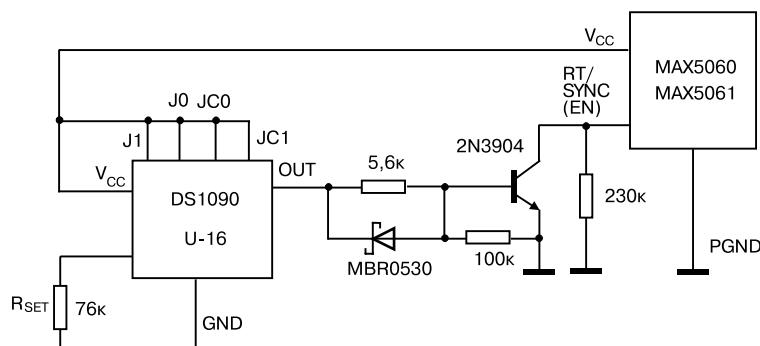


Рис. 6. Внешний тактовый генератор с распределенным спектром, позволяющий уменьшить спектральную плотность помех и наводок

СИНХРОНИЗАЦИЯ

Синхронизация частоты переключения нескольких преобразователей очень важна для обеспечения ЭМС таких чувствительных к наводкам устройств, как автомагнитолы, ТВ-приемники, дисплеи или системы позиционирования. Обычно при этом синхронизируют частоту преобразователей с частотой высокоскоростного процессора, служащего ядром системы. ИС MAX5060/5061 могут

работать на частотах от 125 кГц до 1,5 МГц.

Если невозможно синхронизировать преобразователь с внешним тактовым сигналом или такая синхронизация неприемлема с точки зрения ЭМС, удачным решением может стать подача на вход SYNC сигнала с распределенным спектром с генератора на основе ИС DS1090U-16, как показано на рисунке 6. В этом примере частота

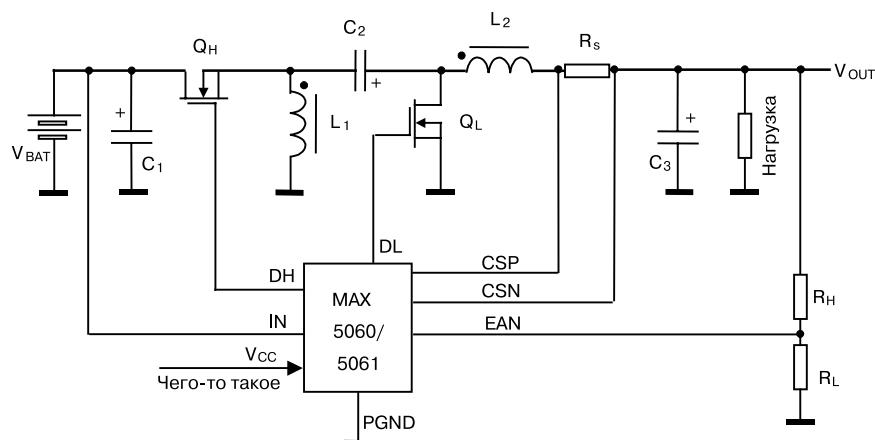


Рис. 7. Упрощенная схема реализации смешанного (повышающее/понижающее) преобразователя

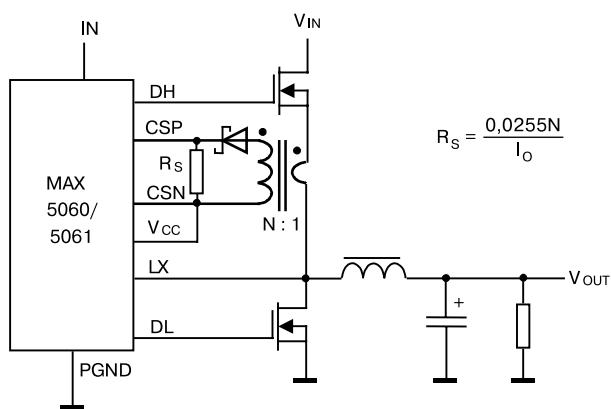


Рис. 8. Построение датчика тока на основе токоизмерительного трансформатора

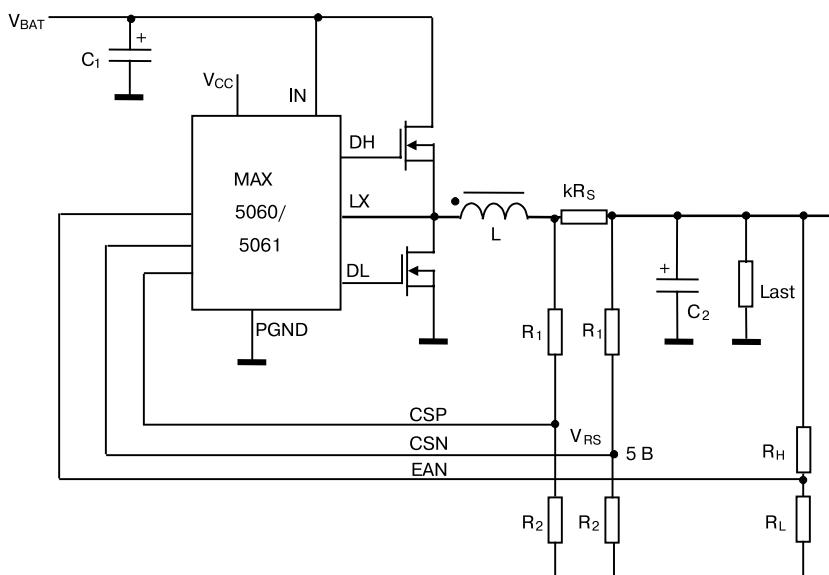


Рис. 9. Датчик тока на основе резистивного моста

переключения составляет примерно 300 кГц и задается единственным резистором. Диапазон изменения тактовой частоты составляет $\pm 4\%$, а частота изменения — порядка 1,2 кГц. Частоту изменения не следует выбирать слишком большой, т.к. тактовый сигнал с распределенным

спектром вызывает появление фазового сдвига в петле обратной связи преобразователя напряжения, который должен быть скомпенсирован. Программа для расчета частоты генератора на основе DS1090 доступна для загрузки на сайте компании www.maxim-ic.com.

СМЕШАННЫЙ (ПОНИЖАЮЩИЙ + ПОВЫШАЮЩИЙ) РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Пример включения MAX5060/5061, обеспечивающий работу в таком режиме, показан на рисунке 7.

Обратите внимание, что конденсаторы C_1 и C_2 должны обеспечивать больший импульсный ток, чем задает выходной конденсатор простого понижающего преобразователя с таким же током нагрузки. Заметим также, что оба дросселя могут быть выполнены на одном сердечнике, однако при этом необходимо строго выдерживать порядок намотки, показанный на рисунке 7 жирными точками, отмечаяющими начало обмоток. Если же дросселя выполнены на разных сердечниках, порядок включения не имеет значения.

В данном случае допустим диапазон выходных напряжений от 0 до 5,5 В, ограниченный диапазоном синфазных напряжений ИС. Если же нужно расширить этот диапазон, можно использовать схемы, показанные на рисунках 8 и 9, в которых используются трансформаторный изолированный датчик тока и резистивный мост соответственно. В последнем случае необходимо использование резисторов с классом точности 0,1%. Для снижения размеров и рассеиваемой мощности датчика тока kR_s следует выбирать напряжение V_{RS} примерно 5 В. Так как при этом на вход EAN требуется подача напряжения порядка 0,6 В, необходимо для его получения использовать отдельный делитель напряжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя многие разработчики считают, что режим управления по току в понижающих преобразователях позволяет получить прекрасные результаты, при высоких требованиях к преобразователю начинает сказываться малая устойчивость таких схем к помехам из-за необходимости снижения сопротивления датчика тока для повышения КПД. Реализованный в ИС MAX5060/5061 режим управления по среднему току позволяет решить и эту, и множество других проблем и создавать высококачественные преобразователи для питания самых разных устройств, особенно применяемых в автомобильных мультимедийных и управляемых системах.

Более подробную информацию об описанных ИС см. у локального дистрибутора по адресу www.maxim-ic.com/ru.