

ДИЛЕММА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ. Часть 1. Архитектура систем промышленной автоматки

ВИРАЛ ВАЙДИЯ (VIRAL VAIDYA), бизнес-менеджер, компания Maxim Integrated

Разработчики систем промышленной автоматки вынуждены решать всё более серьёзные проблемы. Установка такого оборудования в стойку привела к ужесточению ограничений по размерам и тепловыделению. Чувствительная электроника требует точной регулировки напряжения в жёстких условиях промышленных сред, а заказчики — улучшения рабочих характеристик и расширения функциональности. В первой из двух частей данной статьи мы рассмотрим взаимоисключающие требования, которые предъявляются к промышленным источникам питания, и компромиссы, реализованные в распространённых решениях.

Аналогичная статья была опубликована в журнале *Power Electronics* 21 января 2014 г.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка систем промышленной автоматки сопряжена с уникальными проблемами. По сути, речь идёт о взаимоисключающих требованиях. Появление недорогих модульных стоек

для размещения таких компонентов как программируемые логические контроллеры (ПЛК) и модули ввода-вывода накладывает серьёзные ограничения на размеры и тепловыделение создаваемых решений. К тому же возникает

необходимость гарантировать высокую надёжность их функционирования в жёстких условиях загрязнения, влажности и вибраций.

Кроме того, от следующих поколений систем автоматки пользователи ожидают такого расширения функциональности, которое не влечет за собой увеличения энергопотребления, размеров, тепловыделения и стоимости. Как правило, это расширение обеспечивается технологическими достижениями в области электроники, но часто сопровождается повышением затрат из-за более жёстких допусков по питанию и новых уровней напряжения, требующих стабилизации при питании от далеко не идеальной электросети.

И тем не менее инженеры не хотят тратить ценное время на разработку источников питания, которые остаются незаметными для пользователя, а усилия на их создание часто рассматриваются как напрасные потери драгоценного места в конечном устройстве. Вместо этого инженеры предпочитают сосредоточиться на деталях, которые чётко дифференцируют систему автоматки по сравнению с конкурирующей продукцией.

В ответ на взаимоисключающие требования разработчиков систем промышленной автоматки производители полупроводниковых устройств представили модули, в которые интегрированы многие из важнейших функций источника питания. Однако модули, работающие от 12-, 24- или 48-В

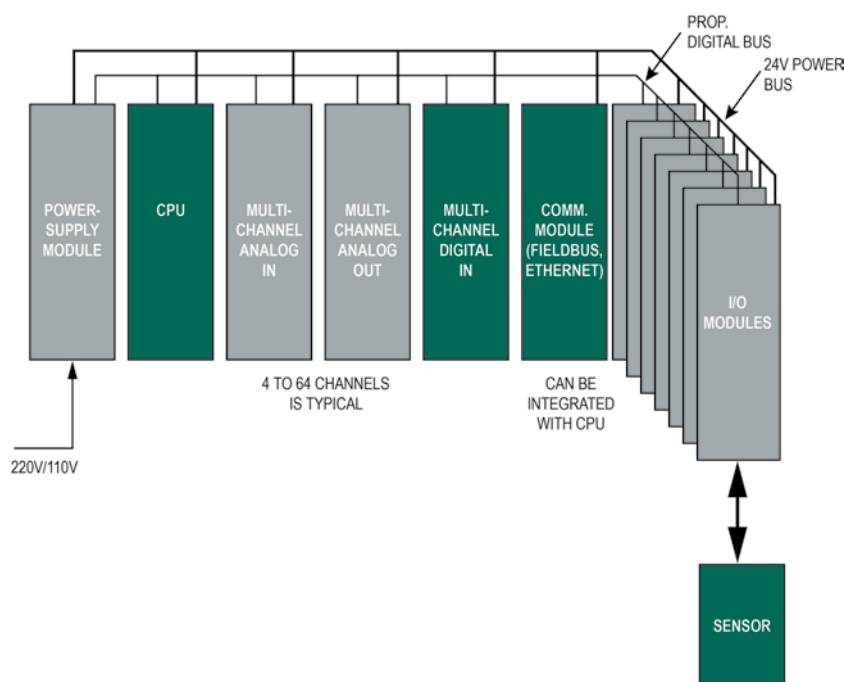


Рис. 1. Типичная система промышленной автоматки

POWER SUPPLY MODULE — модуль питания; CPU — ЦП; MULTICHANNEL ANALOG IN — многоканальный аналоговый вход; MULTICHANNEL ANALOG OUT — многоканальный аналоговый выход; MULTICHANNEL DIGITAL IN — многоканальный цифровой вход; COMM. MODULE (FIELDBUS, ETHERNET) — коммуникационный модуль (Fieldbus, Ethernet); I/O MODULES — модули ввода-вывода; SENSOR — датчик; 4 TO 64 CHANNELS IS TYPICAL AND CAN BE INTEGRATED WITH CPU — возможна интеграция с ЦП; PROP. DIGITAL BUS — цифровая шина; 24V POWER BUS — 24-В шина питания

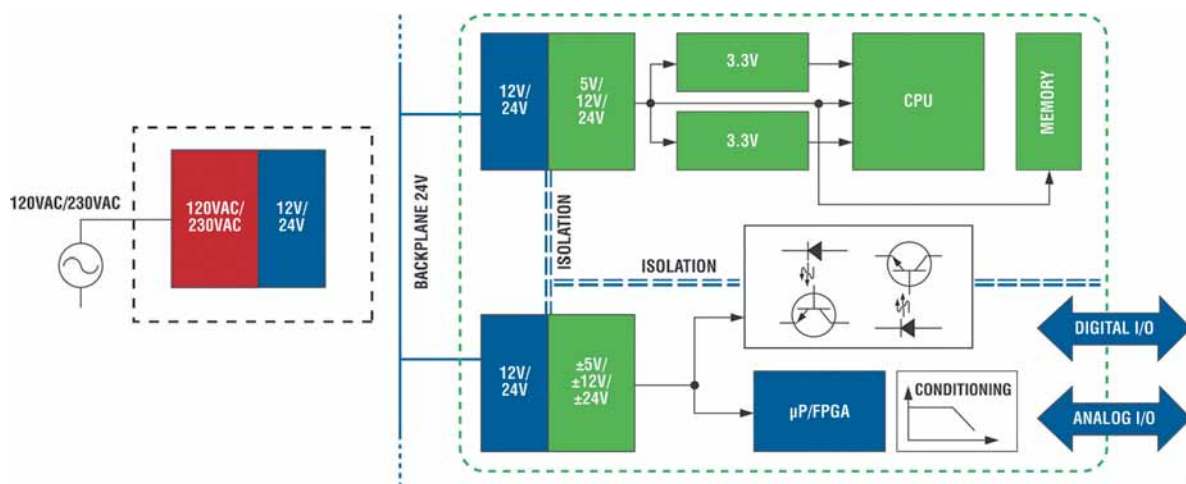


Рис. 2. Фрагмент архитектуры источника питания для системы промышленной автоматки

CPU — ЦП; MEMORY — память; BACKPLANE 24V — объединительная панель на 24 В; ISOLATION — изоляция; μP/FPGA — микропроцессор/ПЛИС; CONDITIONING — обработка сигнала; DIGITAL I/O — цифровой ввод-вывод; ANALOG I/O — аналоговый ввод-вывод

источников постоянного тока, которые используются в системах промышленной автоматки, должны быть защищены ограничителями напряжения либо использовать технологию асинхронного переключения, чтобы выдерживать броски напряжения в электросети. Оба решения приводят к увеличению размеров, повышению стоимости и снижению эффективности систем питания, т.е. именно к тому, чего системные инженеры стремятся избежать.

Данное руководство — первая из двух частей статьи, посвящённой стабилизаторам для систем промышленной автоматки. В этой публикации обсуждается архитектура систем промышленной автоматки, а также источники питания, разработка которой представляет собой уникальную задачу. Во второй части статьи мы рассмотрим новое поколение источников питания, в которых используются преимущества передовых полупроводниковых технологий и инновационный дизайн микросхем.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ

Напряжение 24 В постоянного тока *де факто* стало стандартом для большинства устройств промышленной автоматки (особенно тех, в которых используются ПЛК); при этом 12 В постоянного тока также широко применяется в качестве напряжения резервного питания от батарей или от альтернативных источников энергии, таких как фотогальванические (PV) панели. Недавнее появление технологии Power-over-Ethernet (PoE) побуждает производителей систем промышленной автоматки разрабатывать оборудование с напряжением питания 48 В постоянного тока, которое уста-

новлено соответствующим стандартом. Типичная промышленная система автоматки с питанием от напряжения 24 В постоянного тока показана на рисунке 1.

Система содержит модули ввода-вывода для получения информации с датчиков или для отправки команд исполнительным механизмам, многоканальные цифровые входы, многоканальные аналоговые входы и выходы, коммуникационные функции и процессор (ЦП), подключённый к цифровой шине. ПЛК, как правило, отвечает за обработку данных. Электрическую мощность система получает из электросети, понижая напряжение до 24 В постоянного тока, и распределяет её через объединительную панель.

При тщательном анализе проблемы источников питания становится очевидным, что её высокая сложность обусловлена тем, что различным элементам системы требуются разные уровни напряжений и токов. На рисунке 2 иллюстрируется небольшой фрагмент архитектуры источника питания. Напряжение 120/230 В переменного тока сначала понижается до стандартных 12 или 24 В постоянного тока в источнике питания системной объединительной панели при помощи промышленного модуля питания. На системном уровне это напряжение объединительной панели дополнительно уменьшается до более низких значений, необходимых отдельным компонентам.

Так, например, ПЛК может содержать микропроцессор, процессор цифровой обработки сигналов (DSP) и программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС). Этим устройствам требуются напряжения в диапазоне 5–1 В. При этом ПЛК, в целом, может потре-

блять ток до 3,5 А. А многоканальный аналоговый модуль ввода-вывода требует напряжений питания ±15 и 5 В для различных усилителей, аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и мультиплексоров (MUX), потребляя ток до 500 мА.

Чтобы немного упростить ситуацию, разработчику необходимо учесть броски напряжения («перенапряжения»), воздействующие на электросеть, например при ударе молнии в распределительную сеть или при быстром переключении больших нагрузок, подсоединённых к той же электросети, что и промышленная система автоматки. Броски напряжения могут также возникать и в самой архитектуре источника питания, например при понижении напряжения электросети модулем питания до 12 или 24 В постоянного тока, особенно при использовании прибора импульсного типа.

Перенапряжение является весьма распространённым явлением, поэтому Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует проектировать системы так, чтобы они были способны ему противостоять. Например, в стандарте IEC 60664 «Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах» (1 кВ переменного тока и 1,5 кВ постоянного тока) отмечено, что оборудование категории II (к которому относится оборудование для промышленной автоматки) с питанием от сети 24 В постоянного тока должно быть рассчитано на перенапряжения до 60 В.

DC/DC-СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ

DC/DC-преобразование напряжения (или стабилизация) находит широкое

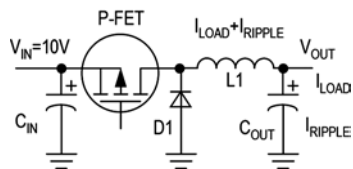


Рис. 3. Схема асинхронного понижающего стабилизатора

применение. Производители полупроводникового оборудования инвестировали крупные суммы в разработку разнообразного спектра продукции для любых приложений. Выпускаемые приборы делятся на две группы: стабилизаторы с малым падением напряжения (LDO), или линейные регуляторы, и импульсные стабилизаторы напряжения.

При тщательном согласовании с эксплуатационными характеристиками конечного устройства, импульсные стабилизаторы, как правило, оказываются более эффективными в широком спектре входных напряжений, чем LDO. Более того, импульсные стабилизаторы способны легко осуществлять пошаговое повышение (boost), пошаговое понижение (buck) и инвертирование напряжения. (Следует учесть, что инвертированное напряжение необходимо для некоторых компонентов источников питания систем промышленной автоматики.) А LDO-стабилизаторы могут только понижать напряжение.

У импульсных стабилизаторов по сравнению с простыми в использовании LDO-стабилизаторами существует один недостаток: они имеют более сложную схему. Это объясняется необходимостью фильтрации выходного сигнала, чтобы смягчить пульсацию напряжений и токов при высокочастотном переключении. Для чувствительных микросхем такая пульсация представляет собой большую проблему и, кроме того, приводит к электромагнитным помехам. Тем не менее инженеры-разработчики многих современных устройств всё чаще отдают предпочтение импульсным стабилизаторам.

Принцип работы импульсного стабилизатора основан на использовании полевых МОП-транзисторов (MOSFET) в качестве переключающего устройства. Когда MOSFET включён, ток подаётся на нагрузку и на внешнюю индуктивность, запасая энергию. Когда MOSFET выключен, индуктивность поставляет запасённую энергию нагрузке.

Для управления выходным напряжением, как правило, используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Частота остаётся постоянной,

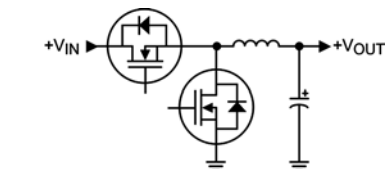


Рис. 4. Схема синхронного понижающего стабилизатора

а ширина импульса (время, в течение которого прибор включён) подбирается с таким расчётом, чтобы обеспечить необходимое напряжение. Высокая частота переключения стабилизатора напряжения ограничивает потери в системе и при этом поддерживает относительно стабильное напряжение на выходе в определённом диапазоне входных напряжений и нагрузок.

В импульсном стабилизаторе асинхронной топологии (см. рис. 3) энергия запасается в индуктивности и поступает непосредственно на нагрузку в периоды, когда MOSFET находится в выключенном состоянии. Она передаётся через внешний диод Шоттки. Если индуктивность выбрана в соответствии с предполагаемой нагрузкой, то импульсный стабилизатор работает в режиме постоянной проводимости (CCM), обеспечивая стабилизированное напряжение.

В конечном итоге, эффективность подобного импульсного стабилизатора, в основном, определяется двумя факторами: прямым падением напряжения на внешнем диоде Шоттки и характеристиками обратного тока прибора. В современных приборах прямое падение напряжения достигло предела, составляющего около 0,3 В. Это значение кажется небольшим, однако приводит к постоянной утечке тока и снижает эффективность прибора.

Замена диода Шоттки MOSFET повышает эффективность, т.к. сопротивление этого транзистора в открытом состоянии (R_{ON}) снижается за счёт использования передовых производственных технологий, позволяющих уменьшить его прямое напряжение (и, следовательно, потери) по сравнению с диодом. Работа двух MOSFET в данной схеме должна быть синхронизирована таким образом, чтобы один из них был открыт, когда второй закрыт (см. рис. 4).

Второй MOSFET т.н. синхронного стабилизатора может быть интегрирован в модуль. При этом не только исключается необходимость во внешнем диоде Шоттки, но и упрощается разработка схемы, а также сокращается число необходимых компонентов.

Одним из побочных эффектов синхронного стабилизатора является то, что ток в индуктивности течёт в обоих направлениях из-за переключения двух MOSFET (что удваивает индуктивные потери). В асинхронных стабилизаторах ток течёт лишь в одном направлении. Потери в синхронном стабилизаторе, как правило, малы, но могут стать более значительными при пониженных нагрузках. В этих случаях эффективность прибора может быть ниже, чем у эквивалентного асинхронного.

Основные производители полупроводниковых компонентов решают эту проблему с помощью различных технологий. Компания Maxim Integrated представила ряд высоковольтных синхронных стабилизаторов напряжения, например MAX17503 с тремя режимами работы: ШИМ, частотно-импульсная модуляция (ЧИМ) и режим дискретной проводимости (DCM). ШИМ используется в обычных условиях. ЧИМ повышает эффективность при пониженных нагрузках за счёт исключения обратного тока индуктивности и пропуска импульсов. В режиме DCM также исключается обратный ток индуктивности для повышения эффективности при пониженных нагрузках, однако импульсы не пропускаются. Благодаря этому режим DCM подходит для устройств, чувствительных к частоте.

ВЫВОДЫ

Высоковольтные синхронные стабилизаторы напряжения с высоким выходным током отвечают потребностям систем промышленной автоматики, которым требуются компактные, эффективные и простые в разработке модули питания. Прежде необходимость одновременно реализовать эти характеристики приводила к затруднительному выбору промышленных источников питания. Однако теперь появилась архитектура высоковольтных синхронных стабилизаторов, удовлетворяющая всем требованиям. Хотя в настоящее время выбор подходящих компонентов ограничен, их ассортимент продолжает расширяться, постепенно удовлетворяя все требования к DC/DC-преобразованию напряжения в типичных системах с выходными токами от нескольких сотен миллиампер до нескольких ампер. Во второй части статьи мы обсудим, как инновации в области синхронных стабилизаторов помогают разрешить дилемму источников питания.

За дополнительной информацией обращайтесь к авторизованным дистрибьюторам Maxim Integrated в РФ (www.maximintegrated.com/distributors).

ДИЛЕММА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ. Часть 2. Синхронные стабилизаторы напряжения

ВИРАЛ ВАЙДИЯ (VIRAL VAIDYA), бизнес-менеджер, компания Maxim Integrated

Новое поколение высоковольтных синхронных стабилизаторов разрешает дилемму источников питания для систем промышленной автоматки.

ВВЕДЕНИЕ

Данное руководство по применению представляет собой вторую часть статьи по высоковольтным синхронным стабилизаторам, используемым при разработке источников питания для систем промышленной автоматки. В части 1 этой статьи (см. ЭКБ, 2014) обсуждалась архитектура систем промышленной автоматки, требования к источникам питания и связанная с ними дилемма. В части 2 рассказывается о новых источниках питания с технологией синхронного переключения, которые способны выдерживать броски напряжения до 60 В и рассчитаны на выходной ток до 3,5 А, что прежде было практически недостижимо. Такие возможности упрощают разработку источников питания для систем промышленной автоматки за счёт повышения эффективности и, в свою очередь, позволяют снизить тепловыделение и энергопотребление, умень-

шить размеры посадочного места компонентов и сократить количество внешних дискретных компонентов.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СИНХРОННЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Синхронные стабилизаторы напряжения, казалось бы, являются идеальным ответом на проблемы разработки источников питания для систем промышленной автоматки. Эти устройства эффективны, снижают энергопотребление и температуру системы. Они занимают мало места и позволяют сократить затраты на приобретение комплектующих.

Существует множество синхронных стабилизаторов с номинальным напряжением 28 В и немного — с напряжением до 40 В. Однако в большинстве случаев синхронные стабилизаторы особенно чувствительны к перенапряжению, что обусловлено малой разницей между их рабочим и максимально

допустимым напряжениями. Броски напряжения, свойственные системам с питанием от сети, способны достаточно быстро вывести эти приборы из строя.

Одно из решений состоит в защите синхронного стабилизатора с помощью схемы фиксации (protective clamp), ограничивающей броски напряжения до уровня, не превышающего максимально допустимое напряжение данного прибора. Однако такая схема фиксации увеличивает затраты, занимает дополнительное место на плате и увеличивает сроки разработки, что, вообще говоря, сводит на нет многочисленные преимущества синхронного стабилизатора. В результате перед разработчиками систем промышленной автоматки встаёт дилемма: стоит ли ради более высокой эффективности синхронного стабилизатора соглашаться на использование схемы фиксации напряжения или лучше выбрать асинхронный стабилизатор, который справляется с возможными перенапряжениями в системе, но потребляет больше мощности и сильнее нагревается?

Производители полупроводниковых компонентов вложили большие средства в исследования и разработки, направленные на решение этой дилеммы, благодаря чему в настоящее время на рынке представлен ряд приборов, рассчитанных на входные напряжения до 60 и даже до 75 В. Однако выходной ток таких приборов составляет всего несколько сотен миллиампер, что значительно ниже требований большинства устройств, используемых в системах промышленной автоматки и, в частности, в ПЛК.

Сегодня на рынок выходит новое поколение высоковольтных синхронных стабилизаторов с высоким выходным током. Примером таких микросхем с превосходными рабочими характе-

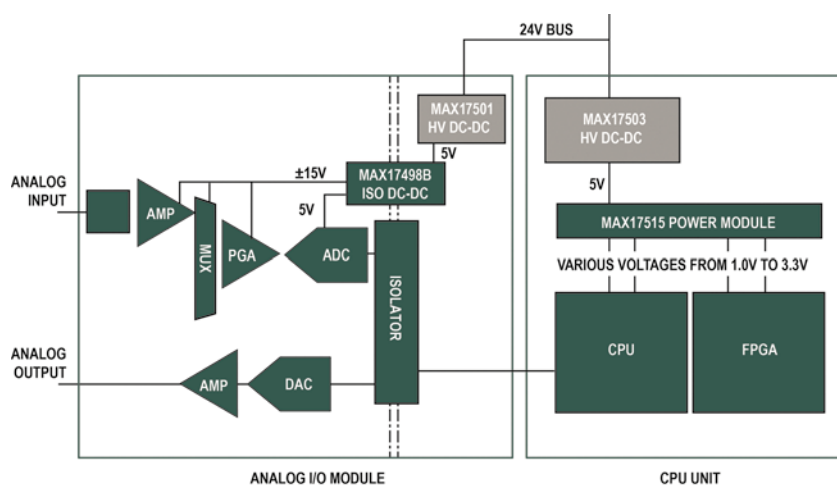


Рис. 1. Применение DC/DC-преобразователей MAX17501 и MAX17503 в системе промышленной автоматки

ANALOG INPUT — аналоговый вход; ANALOG OUTPUT — аналоговый выход; HV DC-DC — высоковольтный DC/DC-преобразователь; OVP — защита от перенапряжения; AMP — усилитель; MUX — мультиплексор; PGA — усилитель с программируемым усилением; ADC — АЦП; DAC — ЦАП; ISOLATOR — изолятор; 24V BUS — 24-В шина; MAX17515 POWER MODULE — модуль питания MAX17515; VARIOUS VOLTAGES FROM 1.0V TO 3.3V — различные напряжения в диапазоне 1,0–3,3 В; CPU — ЦПУ; FPGA — ПЛИС; ANALOG I/O MODULE — аналоговый модуль ввода-вывода; CPU UNIT — блок ЦПУ

ристикой может служить семейство MAX1750x компании Maxim Integrated. Этим приборам с двумя встроенными MOSFET не требуется внешний диод Шоттки и связанные с ним внешние компоненты.

Новое семейство модулей синхронных стабилизаторов работает при напряжении до 60 В и обеспечивает выходные токи 500 мА; 1; 2,5 и 3,5 А. Компания также предлагает сопутствующие приборы с выходным током до нескольких десятков миллиампер для датчиков систем промышленной автоматики, использующих токовую петлю 4–20 мА.

MAX17503, например, обеспечивает эффективность до 90% и имеет в рабочем режиме более низкую (почти на 50%) температуру, чем конкурирующие высоковольтные асинхронные стабилизаторы. Диапазон входного напряжения прибора составляет 4,5–60 В, выходной ток — до 2,5 А. На рисунке 1 приведена схема подключения MAX17503 (и сопряжённого прибора MAX17501) в системе промышленной автоматики.

Кроме того, MAX17503 позволяет сэкономить до 50% пространства и сократить число компонентов на 75%. Благодаря высокой частоте переключения (в диапазоне 200 кГц...2,2 МГц) можно уменьшить размеры внешней индуктивности, высвободив дополнительное место.

Кроме того, контроллеры MAX1750x поддерживают частотно-импульсную модуляцию (ЧИМ). Функция ЧИМ используется для отключения обратного тока в дросселе и пропуска импульсов при малых нагрузках. Преимуществом ЧИМ является более высокая эффективность при малых нагрузках, обусловленная более низ-

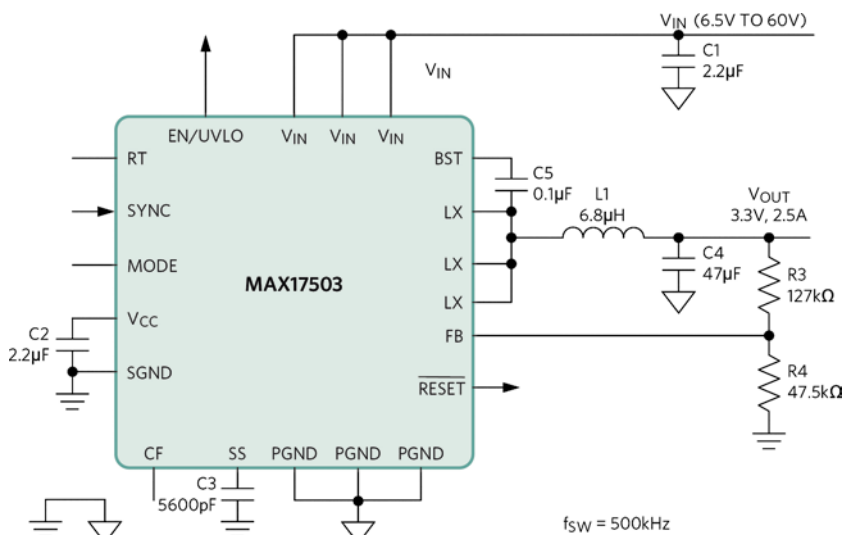


Рис. 2. Схема включения MAX17503 при частоте переключения 500 кГц

ким током покоя (IQ), потребляемым от источника питания.

Благодаря высокому уровню интеграции стабилизаторов MAX1750x не только сокращается число внешних компонентов, снижаются затраты, но и упрощается процесс разработки. Инженеру не требуется рассчитывать номиналы внешних конденсаторов и компенсационных резисторов (и заказывать их), т.к. эта работа за него уже выполнена. На рисунке 2 показана схема включения прибора.

Выводы

В части 1 этой статьи мы рассмотрели архитектуру систем промышленной автоматики и требования к высоковольтным синхронным стабилизаторам напряжения. Часть 2 посвящена новой линейке синхронных стабилизаторов и технологии,

которая имеет большое значение для решения проблем питания таких систем. Новое поколение синхронных стабилизаторов напряжения устраняет дилемму источников питания для систем промышленной автоматики и высвобождает время инженеров-разработчиков, позволяя им сфокусироваться на оптимизации систем, а не пытаться придумать надёжный источник питания. Дополнительную информацию см. в документах «Оценочный набор MAX17503A» (для устройств с выходным напряжением 3,3 В) и «Оценочный набор MAX17503B» (для устройств с выходным напряжением 5 В).

За дополнительной информацией обращайтесь к авторизованному дистрибьютору Maxim Integrated в РФ (www.maximintegrated.com/distributors).