

Микросхемы ШИМ-контроллеров ON Semi для сетевых источников питания

Ирина РОМАДИНА
ons@compel.ru

В статье приводится обзор ШИМ-контроллеров компании ON Semiconductor, которые являются прекрасной основой для построения современных сетевых импульсных источников питания. Известный производитель и мировой эксперт в области электропитания и энергосбережения, компания ON Semiconductor предлагает широкую номенклатуру микросхем ШИМ-контроллеров для выбора. Микросхемы характеризует невысокая стоимость, высокая эффективность преобразования, экономичность за счет понижения энергопотребления в дежурном режиме, высокая надежность, обеспечиваемая наличием комплекса встроенных защит, а также низкий уровень ЭМИ.

Введение

Сетевой источник питания — один из самых ответственных узлов в структуре электронной аппаратуры. Наиболее важные параметры сетевого преобразователя: рабочий диапазон входного напряжения, потребляемая мощность в дежурном режиме, габаритные размеры, надежность, электромагнитная совместимость и себестоимость. Подавляющее большинство современной аппаратуры с питанием от сети использует импульсные источники питания. Сетевой импульсный источник питания обеспечивает гальваническую развязку выходных цепей от сетевого напряжения. Развязка обеспечивается за счет использования импульсного трансформатора в силовой цепи и оптрона в цепи обратной связи.

Ключевым элементом импульсного сетевого источника питания является микросхема ШИМ-контроллера. Основная функция ШИМ-контроллера — управление силовым транзистором (транзисторами), стоящим в первичной цепи импульсного трансформатора, и поддержание выходного напряжения на заданном уровне, используя сигнал обратной связи. Структура современных ШИМ-контроллеров обеспечивает и дополнительные функции, повышающие эффективность и надежность источника питания:

- ограничение тока и скважности импульсов в цепи управления силовыми транзисторами;
- плавный запуск преобразователя после подачи питания (Soft Start);
- встроенный динамический источник питания от высоковольтного входного напряжения;

- контроль уровня входного напряжения с устранением «провалов» и «выбросов»;
- защита от КЗ в цепи силового трансформатора и выходных цепей выходного выпрямителя;
- температурная защита контроллера, а также ключевого элемента;
- блокировка работы преобразователя при пониженном и повышенном входном напряжении;
- оптимизация управления для дежурного режима и режима с пониженным током в нагрузке (пропуск циклов или переход на пониженную частоту преобразования);
- оптимизация уровня ЭМИ.

Рассматриваемые в статье ШИМ-контроллеры не имеют встроенного силового транзистора, управляющего током в первичной цепи силового трансформатора.

Базовые параметры режима управления силовым каскадом

В зависимости от требований конкретного применения в контроллере могут использоваться разные схемы выходного каскада управления силовым ключом, тип управления по цепи обратной связи (по току или по напряжению), а также различный частотный режим преобразования. Тип выходного каскада ШИМ-контроллера определяет и топологию преобразователя.

Типы топологии сетевых преобразователей:

- обратноходовой;
- прямоходовой;
- двухтактный;
- полумостовой;
- мостовой;
- квазирезонансный.

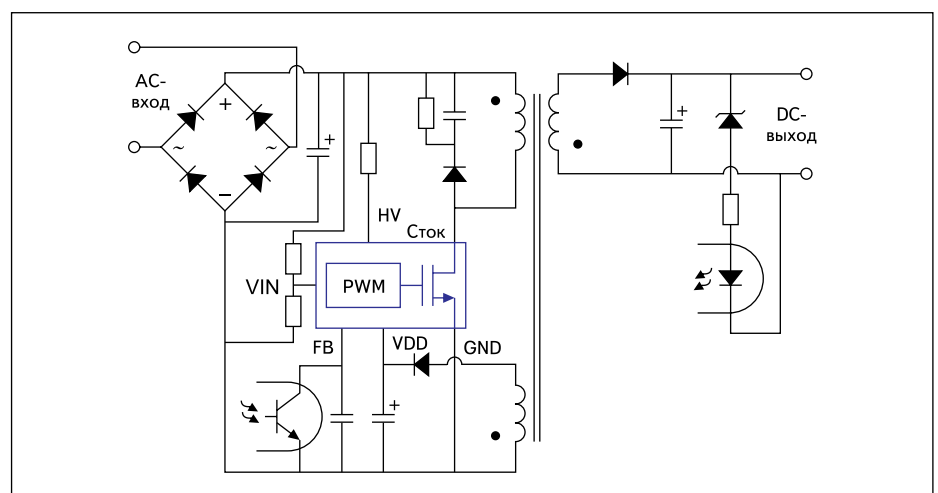


Рис. 1. Типовая схема Flyback-преобразователя

В таблице 1 показаны характеристики базовых топологий схем, используемых при построении импульсных сетевых источников питания.

Обратноходовой преобразователь

Основная схема, по которой выполнены многие маломощные импульсные источники питания, — это обратноходовой преобразователь (рис. 1). Эта схема преобразует одно постоянное напряжение в другое, регулируя выходное напряжение посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) либо частотно-импульсной модуляции (ЧИМ). Модуляция ширины импульса — это метод управления, основанный на изменении отношения длительности включенного состояния ключа к выключенному при постоянной частоте. В обратноходовом преобразователе длительность включенного состояния ключа больше длительности выключенного состояния для того, чтобы большее количество энергии было запасено в трансформаторе и передано в нагрузку.

Прямоходовой преобразователь

Другая популярная конфигурация импульсного источника питания известна как схема прямоходового преобразователя и показана на рис. 2. Хотя эта схема очень напоминает обратноходовую схему, имеются и некоторые фундаментальные различия. Прямоходовой преобразователь накапливает энергию не в трансформаторе, а в выходной катушке индуктивности (дросселе). Точки, обозначающие начало обмоток на трансформаторе, показывают, что, когда ключевой транзистор открыт, во вторичной обмотке появляется напряжение, и ток течет через диод VD1 в катушку индуктивности. У этой схемы большая продолжительность включенного состояния ключа относительно выключенного состояния, более высокое среднее напряжение во вторичной обмотке и более высокий выходной ток нагрузки.

Двухтактный прямоходовой преобразователь

На рис. 3 показан двухтактный преобразователь, который является разновидностью прямоходового преобразователя за исключением того, что оба ключа включены в цепь первичной обмотки трансформатора.

В номенклатуре ШИМ-контроллеров ON Semi представлены микросхемы, имеющие различную топологию выходного каскада, тип управления, частотный режим управления, а также дополнительные встроенные функции. В таблице 2 представлены основные параметры ШИМ-контроллеров ON Semi, выпускаемых в настоящее время.

Следует отметить, что структура микросхем ШИМ-контроллеров последних разработок очень похожа. Основные различия определяются типом топологии, режимом регулирования (по току/напряжению), ре-

Таблица 1. Базовые топологии схем, применяемые при построении импульсных источников питания

Топология	Схема	Мощность, Вт	Область применения	Особенности
Обратноходовой (flyback)		до 300	Источники питания бытовой аппаратуры (TV, DVD и т. п.), мощные зарядные устройства и внешние блоки питания	Простота и низкая стоимость схемы
Прямоходовой (feed forward)		до 300	Источники питания бытовой аппаратуры (TV, DVD и т. п.), мощные зарядные устройства, внешние и встроенные блоки питания	Повышенная эффективность при низких выходных напряжениях, пониженный уровень помех
Резонансный (resonance)		до 300	Источники питания бытовой аппаратуры (TV, DVD и т. п.)	Высокая рабочая частота, малые габариты, простота фильтрации помех
Двухтактный (push-pull)		100–5000	Внешние и встраиваемые источники питания для бытовой, промышленной и автомобильной аппаратуры	Пониженный уровень помех
Полумостовой (half-bridge)		100–1000	Внешние и встраиваемые источники питания (например, компьютеры)	Малые габариты, пониженный уровень помех
Мостовой (full-bridge)		100–3000	Блоки бесперебойного питания, зарядные устройства	Повышенный КПД

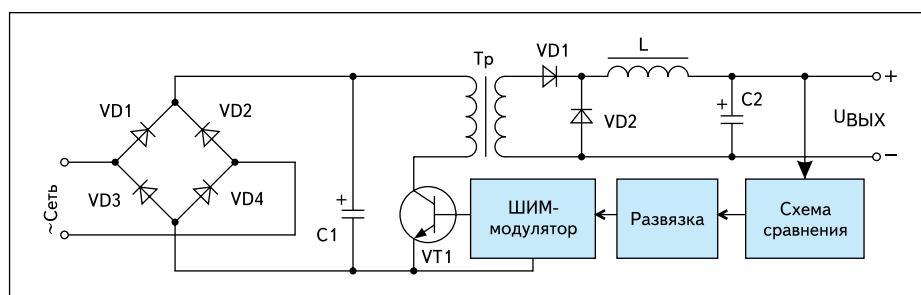


Рис. 2. Прямоходовой преобразователь напряжения сети

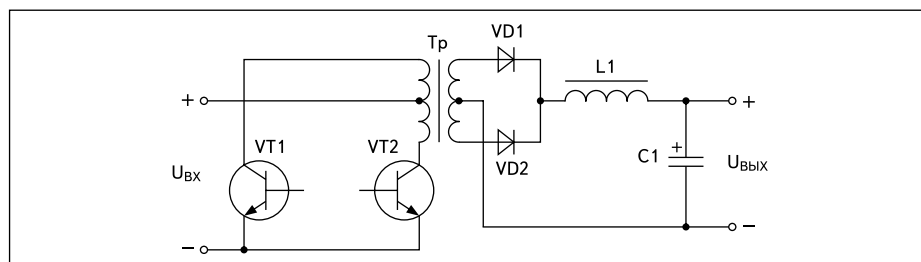


Рис. 3. Схема двухтактного прямоходового преобразователя

Таблица 2. Основные параметры ШИМ-контроллеров ON Semi для сетевых импульсных источников питания

Тип	Топология	Режим регулирования	Частота, кГц	Режим Stand-by	Защита от пониженного входного напряжения UVLO, В	Защита от КЗ на выходе	Блокировка	Режим Soft Start
NCL30000	Flyback	По току	До 300	—	—	—	—	—
NCL30001	Flyback	По току	До 150	—	—	—	—	—
NCP1237	Flyback	По току	65	—	—	+	+	+
NCP1238	Flyback	По току	65	—	—	+	+	+
NCP1288	Flyback	По току	65	—	10	+	+	+
NCP1379	Flyback	По току	Варьируется	+	9	+	+	+
NCP1380	Flyback	По току	Варьируется	+	9	+	+	+
NCP1252	Forward	По току	До 500	+	9–10	+	+	+
CS51221	Forward	По напряжению	До 1000	—	+	—	+	+
CS5124	Flyback	По току	400	—	+	—	—	+
MC33025	Push-Pull	По току или по напряжению	1000	—	+	+	—	+
MC33060	Flyback	По напряжению	200	—	+	—	—	+
MC33067	Flyback	По напряжению	1000	—	+	+	—	+
MC33364	Flyback	По току	Варьируется	+	+	—	—	—
MC34060	Мультирежимный	По напряжению	200	—	+	—	—	—
MC34067	Резонансный	По напряжению	—	—	+	+	—	—
MC44603	Flyback	По току или по напряжению	До 250	+	9	+	+	+
NCP1200	Flyback	По току	100	+	—	+	—	—
NCP1203	Flyback	По току	100	+	+	+	—	—
NCP1207	Flyback	По току	До 1000	+	+	+	+	+
NCP1216	Flyback	По току	100	+	—	+	—	+
NCP1217	Flyback	По току	100	+	+	+	+	+
NCP1219	Flyback	По току	100	+	9,4	+	+	+
NCP1230	Flyback	По току	100	+	+	+	+	+
NCP1252	Flyback/Forward	По току	До 500	+	9–10	+	+	+
NCP1271	Flyback	По току	100	+	+	+	+	+
NCP1294	Flyback	—	До 1000	+	+	+	+	—
NCP1308	Flyback	По току	Варьируется	+	+	+	+	+
NCP1337	Flyback	По току	Варьируется	+	+	+	+	+
NCP1338	Flyback	По току	Варьируется	+	+	+	+	+
NCP1351	Flyback	По току	Варьируется	—	—	+	+	—
NCP1377	Flyback	По току	Варьируется	+	+	—	+	+
NCP1379	Flyback	По току	Варьируется	+	9	+	+	+
NCP1380	Flyback	По току	Варьируется	+	9	+	+	+
NCP1381	Flyback	По току	Варьируется	+	+	+	+	+
NCP1382	Flyback	По току	Варьируется	+	+	+	+	+
NCP1392	Half-Bridge	По току	250	—	9	—	—	+
NCP1393	Half-Bridge	По току	250	—	9	—	—	+
NCP1395	Push-Pull	По напряжению	1000	+	+	+	+	+
NCP1396	Push-Pull	По напряжению	До 500	+	+	+	+	+
NCP1397 A/B	Half-Bridge	По напряжению	50–500	—	9,5/10,5	+	+	+
NCP1562	Flyback	По напряжению	До 500	—	+	+	+	+
NCV3843, UC3843	Flyback	По току	52	—	+	+	—	+
UC2842/43/44	Flyback	По току	52	—	+	+	—	—
UC2843/44/45	Flyback	По току	52	—	+	+	—	—
UC3842/44/45	Flyback	По току	52	—	+	+	—	—
UC3845	Push-Pull	По току	52	—	+	+	—	+

жимом частотного управления (частота постоянная или варьруемая), а также логикой работы при обнаружении критических ситуаций. Структура ШИМ-контроллера содержит логику, задающую автомат состояний. Схема автомата переходов реализована на компараторах, триггерах, таймерах и элементах логики. Основные состояния контроллера: начальный пуск частотного генератора, выход на рабочий режим, адаптивное слежение за током нагрузки и выбор оптимального режима, обнаружение критических ситуаций, переход в аварийный режим, автовосстановление после сбоев.

Защита и безопасность работы

Сетевые преобразователи должны обеспечивать достаточный уровень безопасности при работе без деградации характеристик силовых элементов в случае возникновения токовых перегрузок вследствие коротких за-

мыканий в обмотках трансформатора или в нагрузке. КЗ обнаруживается в первую очередь по внезапному исчезновению сигнала обратной связи через оптрон. Нужно отключить драйвер выходного транзистора, чтобы предотвратить перегрев транзистора и насыщение трансформатора. Однако и в процессе запуска сигнал обратной связи также отсутствует некоторое время. Нужно идентифицировать эти две ситуации. В некоторых недорогих контроллерах защита от КЗ не реализована. В таких случаях возникновение КЗ приведет к неконтролируемым последствиям и может в считанные секунды привести к разрушению силовых элементов преобразователя. КЗ может быть нескольких типов — в самой нагрузке, в обмотках, в электролитическом конденсаторе выходного выпрямителя, выпрямительных диодах. Введение детерминированных состояний увеличивает сложность автомата, но повышает надежность работы преобразователя.

Функция блокировки при аварийных ситуациях

При выборе подходящего для применения контроллера особое внимание разработчик должен обращать на логику автомата состояний, особенно на логику отработки аварийных ситуаций. Переход в аварийный режим при обнаружении критических ситуаций может предусматривать как принудительное ограничение тока, так и полную блокировку работы преобразователя. При блокировке останавливается задающий ШИМ-генератор и запрещается подача активного сигнала для силового транзистора. В зависимости от типа или модификаций микросхем возможны два сценария блокировки (Latch).

В первом случае после срабатывания блокировки преобразователь «защелкивается» в этом состоянии и не меняет его, даже если условие, вызвавшее это состояние, уже пропало. Восстановление работы преобразователя возможно лишь после выключения сетевого напряжения и повторного включения питания.

Во втором случае реализуются попытки автовосстановления (autorecovery) нормальной работы преобразователя. Для этого в структуре контроллера запускается таймер на время около 1,5 с. После истечения этого времени контроллер вновь проверяет наличие критических ситуаций, и если они сохраняются, блокировка остается. В этом случае светодиодный индикатор сетевого источника будет мигать с периодом 1,5 с. Автовосстановление происходит только при срабатывании по понижению напряжения.

Встроенный динамический источник питания

Встроенный динамический источник тока стартового питания (Dynamic Self-Supply, DSS) гарантирует надежный запуск преобразователя и в то же время — низкое потребление в выключенном состоянии. Встроенный динамический источник питания значительно упрощает дизайн импульсного трансформатора, потому что отпадает необходимость в использовании дополнительной обмотки для питания микросхемы.

Источник динамического питания обеспечивает питание контроллера при старте преобразователя, а также питает схему контроллера в тех случаях, когда напряжение питания на обмотке питания контроллера кратковременно пропадает, например при перегрузках. Стартовый генератор тока микросхемы обеспечивает плавный запуск преобразователя. После запуска преобразователя питание производится от питающей обмотки трансформатора. Есть модификации микросхем, в которых нет источника динамического питания и питание производится всегда только от линии высокого напряжения. С одной стороны, это приводит к повышению потребления, а с другой — не требует наличия дополнительной питающей обмотки трансформатора. Вход высоковольтного питания имеет

детектор пониженного питания, который позволяет выключить контроллер (brown-out condition) или слишком высокое напряжение (line overvoltage). Эта защита работает как с переменным, так и выпрямленным входным напряжением и не зависит от пульсаций напряжения. В DSS используется синхронный пиковый детектор.

Режим пониженной частоты

В контроллерах последних разработок меняется режим с переходом на пониженную частоту (Frequency foldback). Переход на пониженную частоту происходит, когда сигнал обратной связи становится ниже порога. Снижение частоты преобразования позволяет уменьшить потребление в дежурном режиме.

Режим Soft-Skip

Режим пропуска частотных циклов позволяет уменьшить потребление в дежурном режиме. Режим активизируется по уменьшению уровня амплитуды сигнала обратной связи ниже установленного порога. Soft-Skip и Frequency foldback реализуются в одном структурном модуле контроллера.

Уменьшение ЭМИ за счет джиттера внутреннего генератора (Internal frequency jittering)

Для контроллеров, работающих на фиксированной частоте, может использоваться прием введения малой частотной модуляции около центральной частоты (джиттер). Наличие джиттера не влияет на работу преобразователя, однако позволяет «размыть» спектр ЭМИ и таким образом уменьшить амплитуду электромагнитного излучения, индуцируемого в цепи трансформатора и других силовых цепей преобразователя.

Ramp compensation — компенсация пилообразности сигнала обратной связи

В последних разработках ШИМ-контроллеров используется компенсация пилообразности сигнала обратной связи. Это позволяет улучшить режим стабилизации в процессе регулирования.

Dual level OCP — двухуровневая защита от токовой перегрузки

Защита от повышенного тока (Overcurrent Protection) в нагрузке и силовых цепях имеет два различных уровня. На низком уровне контроллер сохраняет способность к регулированию, но имеет долгий старт. На высоком уровне при потере сигнала регулирования запускается обычный таймер. Это позволяет источнику питания кратковременно работать в режиме критической мощности. Токовая защита зависит только от сигнала в цепи обратной связи.

Приведенные выше функции в полной мере реализованы в последних разработках микросхем ШИМ-контроллеров ON Semi — сериях микросхем NCP1237/38/88 и NCP1379/80.

Структура ШИМ-контроллеров NCP1237, NCP1238, NCP1287 и NCP1288

Микросхемы этих типов практически идентичны по цоколевке и схеме включения. В них используется режим управления по току с фиксированной частотой преобразования. Микросхемы предназначены для применения в обратноходовых преобразователях (Flyback) с гальванической развязкой (трансформатор, управление — обратная связь по напряжению через оптрон, по току — через дополнительную обмотку силового трансформатора). На рис. 4 показана структурная схема ШИМ-контроллера NCP1237.

Встроенная схема Dynamic Self-Supply (DSS) упрощает проектирование и обеспечивает уменьшение дополнительных элементов. Наличие режима Soft-Skip с пропуском циклов обеспечивает повышение эффективности преобразования при малых нагрузках с сохранением низкого потребления в дежурном режиме. Также поддерживается и понижение частоты преобразования до 31 кГц (frequency foldback) с гистерезисом. Порог включения режима — 1,5 В, обратный переход в рабочий режим происходит при превышении порога 1 В. При понижении напряжения сигнала обратной связи ниже порога 0,7 В активизируется режим пропуска циклов Soft-Skip, который позволяет уменьшить потребление дополнительно, а также уменьшить возникновение акустического шума на трансформаторе и конденсаторах, использовать более дешевые трансформаторы. Встроенный двухпороговый защитный таймер служит для защиты при сбоях и нарушениях работы схемы управления вследствие скачков тока. Встроенная схема формирования джиттера частоты обеспечивает «размывание» спектра и уменьшение пиковых уровней ЭМИ. Контроллер также включает новую схему высоковольтного каскада, которая совместно со схемой старта позволяет оценивать уровень сигнала с токового датчика как в цепи переменного напряжения, так и в цепи постоянного выпрямленного напряжения. ON Semiconductor использует высоковольтную технологию входных цепей контроллера, поэтому NCP1288 может подключаться по питающим цепям непосредственно к шине высокого напряжения питания.

Режим блокировки для NCP1237 (рис. 5) может активизироваться по одному из двух условий: при повышении уровня напряжения выше порогового на входе Latch за счет перенапряжения или при уменьшении напряжения ниже другого заданного порога за счет терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом, стоящего на силовом транзисторе.

Токовый источник HV startup обеспечивает заряд конденсатора VCC до порогового напряжения VCC (on) и работает, пока входное напряжение более VHV (start), обеспечивая

режим включения. Затем контроллер производит плавный пуск Soft-Start, во время которого ток потребления линейно возрастает перед включением режима регулирования. Во время периода плавного старта блокировка игнорируется, а ток блокировки удваивается, обеспечивая быстрый предзаряд конденсатора на входе вывода блокировки.

В микросхемах реализована защита от короткого замыкания на выходе.

Частота преобразования — 65/100/133 кГц и определяется модификацией микросхем. Микросхемы рассчитаны на использование в расширенном температурном диапазоне от –40 до +125 °С, что особенно актуально для промышленных приложений.

Типовые применения контроллеров:

- сетевые источники питания принтеров, мониторов;
- зарядные устройства для аккумуляторов;
- встроенные сетевые источники бытовой аппаратуры.

Функциональные отличия микросхем

Для модификаций микросхем NCP1238B и NCP1288B есть функции поддержки автовосстановления (autorecovery). NCP1237 имеет схему двухпороговой OCP, в то время как NCP1238 его не имеет. Базовые различия между микросхемами серии показаны в таблице 3.

Таблица 3. Базовые различия модификаций ШИМ-контроллеров серии NCP12xx

Модификация	DSS	Dual OCP	Latch	Auto Recovery
NCP1237A	+	+	+	–
NCP1237B	+	+	–	+
NCP1238A	+	–	+	–
NCP1238B	+	–	–	+
NCP1287A	Только HV	+	+	–
NCP1287B	Только HV	+	–	+
NCP1288A	Только HV	–	+	–
NCP1288B	Только HV	–	–	+

ШИМ-контроллеры серии NCP1379/80

Микросхемы в первую очередь ориентированы для применения в сетевых адаптерах с высокой мощностью (AC/DC Wall Adapters). Основное отличие от серии NCP12xx — квазирезонансный режим, который и обеспечивает высокую токовую нагрузочную способность. При регулировании используется обратная связь по напряжению. На рис. 6 показана структурная схема микросхемы ШИМ-контроллера NCP1379.

Динамическое питание для фазы запуска в микросхемах этой серии не используется. Питание подается постоянно через резистор от входной шины входного напряжения и через диод — с питающей обмотки трансформатора. NCP1379 и NCP1380 обеспечивают ультранизкое потребление в дежурном режиме, а также высокую эффективность рабо-

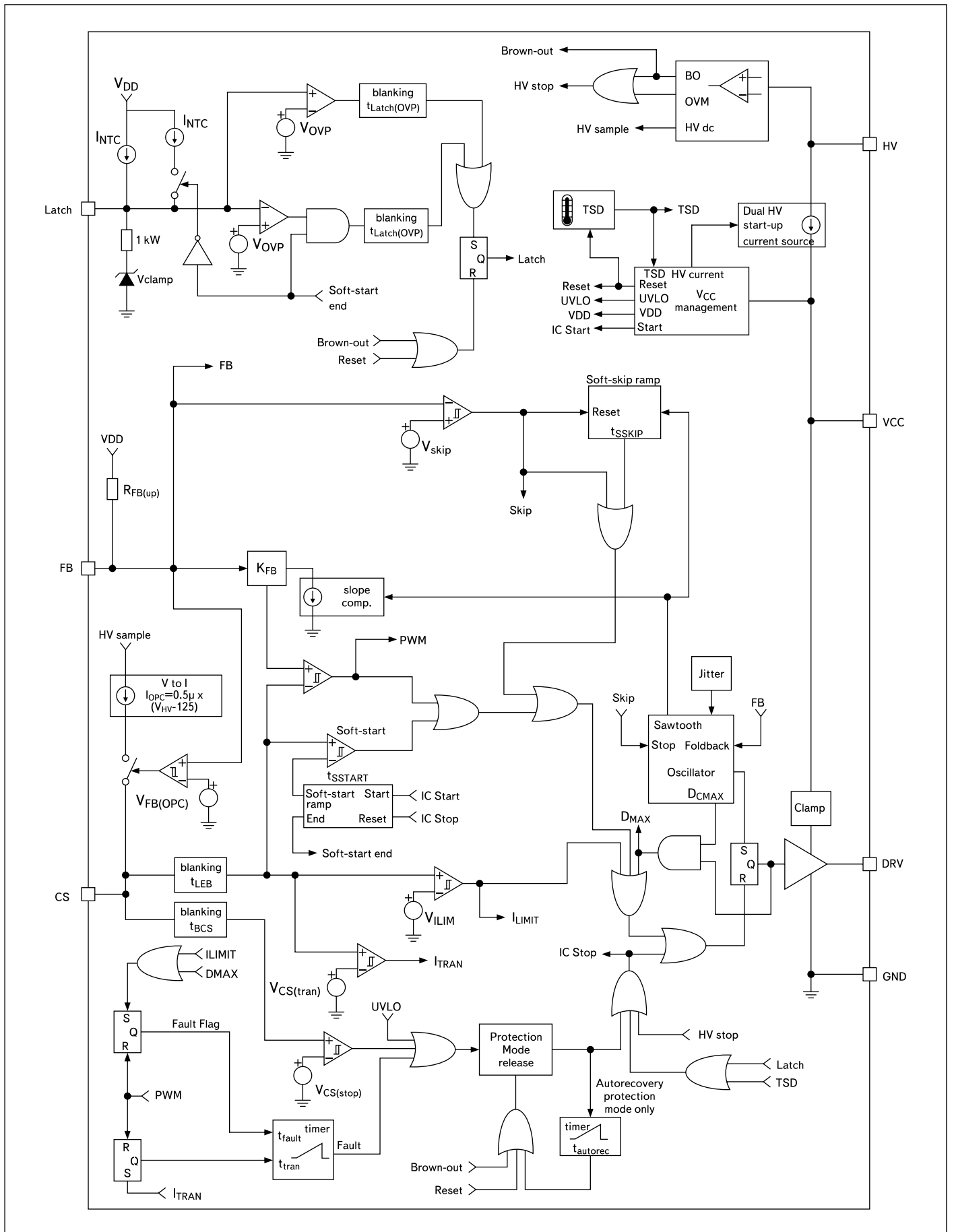


Рис. 4. Структурная схема ШИМ-контроллера NCP1237

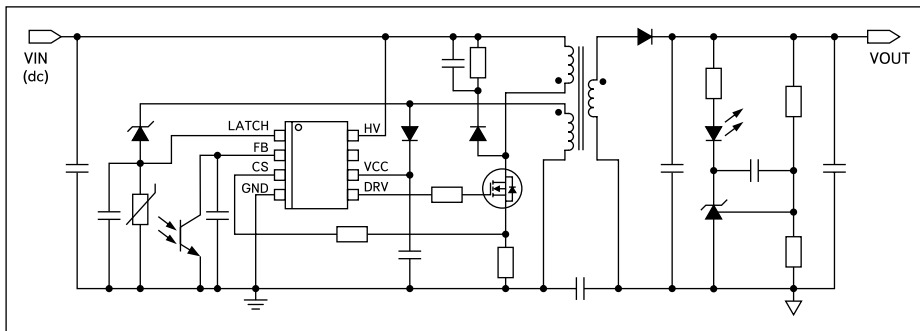


Рис. 5. Типовая схема включения ШИМ-контроллера NCP1237

ты с пониженной токовой нагрузкой за счет переключения на пониженную частоту.

Блокировка для микросхем серии NCP1379/80, в отличие от микросхем серии NCP1237/38/87/88, происходит по другим условиям. Реализована защита от превышения мощности в нагрузке Over Power Protection (OPP), или повышенного тока. В качестве токового датчика используется дополнительная обмотка трансформатора. Сигнал с обмотки подается на вывод 1 микросхем NCP1379/80. По сигналу на входе вывода 1 контролируется не только условие начального пуска по точке пересечения нуля

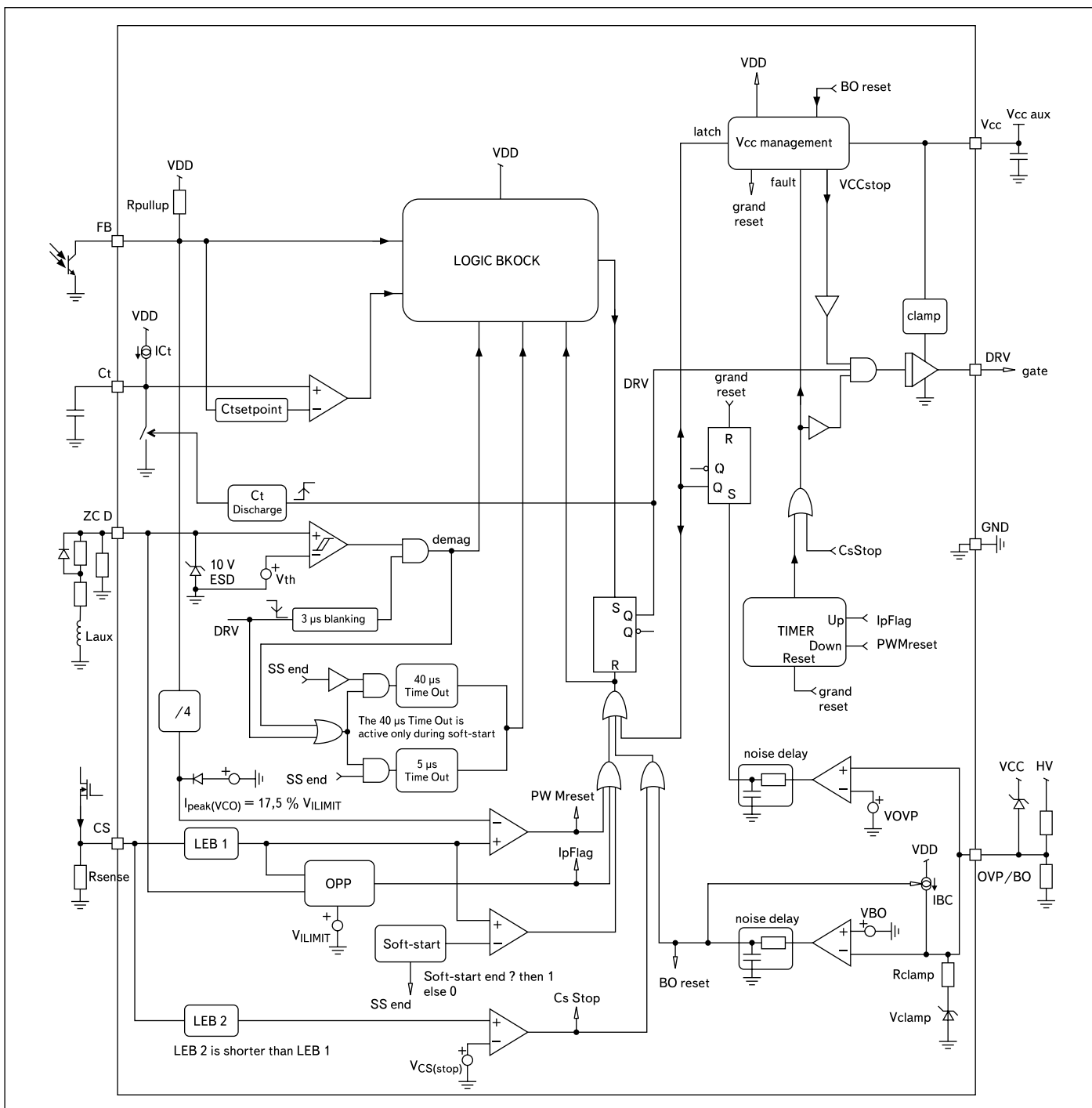


Рис. 6. Структура микросхемы NCP1379

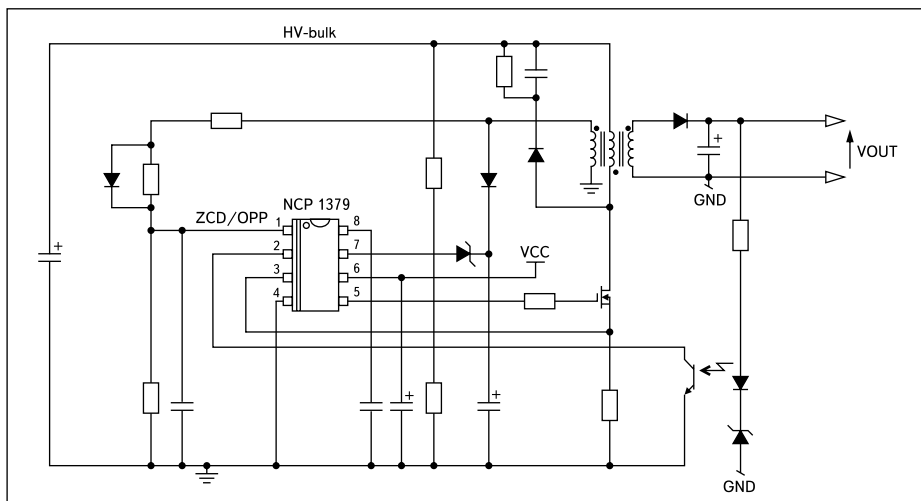


Рис. 7. Типовая схема включения ШИМ-контроллера NCP1379

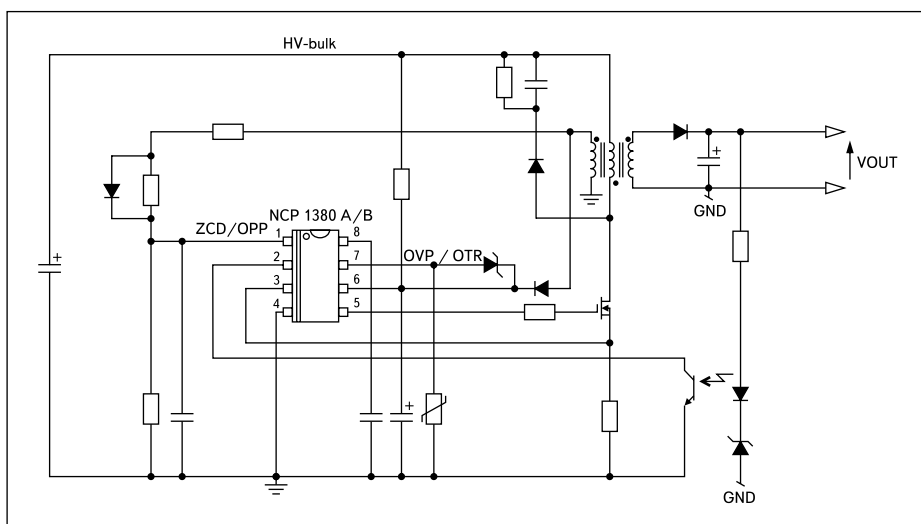


Рис. 8. Типовая схема включения модификаций микросхем NCP1380A/B

(Zero Crossing Detection), но и оценивается превышение тока в нагрузке выше критического порога. На рис. 7 показана типовая схема включения ШИМ-контроллера NCP1379.

В микросхемах NCP1379/80 реализована внутренняя термозащита (Internal Shutdown).

Различия между модификациями микросхем NCP1380 определяются логикой схем начального запуска и работой цепей защиты.

В модификациях или реализуется блокировка (Latch), или разрешается автовосстановление после сбоя (AutoRecovery). Блокировка срабатывает при обнаружении повышенного тока в цепи нагрузки, например при коротком замыкании. Условие короткого замыкания определяется таймером длительностью 80 мс. Если повышенный ток детектируется более 80 мс, то ситуация оценивается как аварийная и работа преобразователя блокируется.

Защита от перенапряжения, пониженного напряжения на входе, а также защита от перегрева выходного транзистора реализуется посредством двухпорогового детек-

тора, стоящего на входе вывода 7 микросхем NCP1379/80. Следует только учесть, что не все типы защит реализуются сразу в одной микросхеме, а только определенные

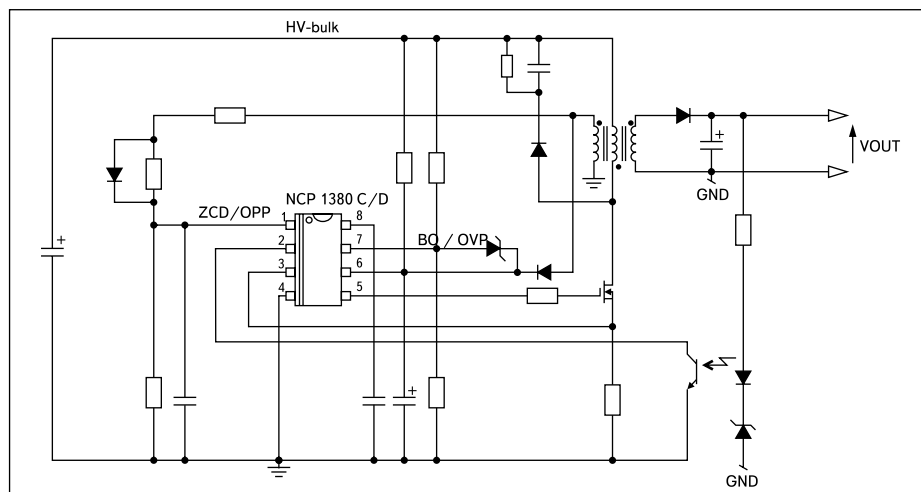


Рис. 9. Типовая схема включения модификаций микросхем NCP1380C/D

Таблица 4. Базовые различия модификаций ШИМ-контроллеров серии NCP1379/80

Модификация	Режим блокировки работы (Latch)	Режим с пуском таймера с автовосстановления после блокировки (autorecovery)	Защита от перенапряжения (OVP) и термозащита (OTR)	Защита от понижения питания (Brown Out) + защита от перенапряжения (OVP)
NCP1379	-	+	-	+
NCP1380A	+	-	+	-
NCP1380B	-	+	+	-
NCP1380C	+	-	-	+
NCP1380D	-	+	-	+

комбинации. Четыре модификации микросхем NCP1380 позволяют выбрать набор определенных защит.

Соответственно, немного отличаются и типовые схемы включения для модификаций NCP1380 (рис. 8, 9).

Рассмотренные ШИМ-контроллеры предназначены для тех приложений, где устойчивость к жестким условиям эксплуатации и стоимость устройства — ключевые факторы выбора.

Литература

- AND8344/D Implementing an LCD TV Power Supply with the NCP1392B, NCP1606 and NCP1351B Prepared by: Jaromir Uherek ON Semiconductor.
- Ромадина И. Контроллеры ON Semiconductor для сетевых источников питания с экономичным дежурным режимом // Компоненты и технологии. 2009. № 7.
- Datasheet NCP1237 Fixed Frequency Current Mode Controller for Flyback Converters.
- Datasheet NCP1288 Fixed Frequency Current Mode Controller for Flyback Converters.
- Datasheet NCP1379 Quasi-Resonant Current-Mode Controller for High-Power Universal Off-line Supplies.
- Datasheet NCP1380 Quasi-Resonant Current-Mode Controller for High-Power Universal Off-Line Supplies.