

# Контроллеры корректора коэффициента мощности ON Semi

ИРИНА РОМАДИНА, менеджер по продукции ON Semiconductor, «Компэл»

*Применение технологии коррекции коэффициента мощности (ККМ) — один из ключевых аспектов в разработке эффективных и мощных сетевых источников питания. В статье рассказывается о новейших контроллерах коэффициента мощности компании ON Semi и содержатся полезные рекомендации по выбору базовых элементов схемы корректоров коэффициента мощности.*

В большинстве своем бытовые и промышленные потребители электроэнергии используют импульсные сетевые преобразователи, AC/DC-преобразователи. Типовая структура сетевого преобразователя содержит: диодный мост, емкостной фильтр, а также преобразователи выходных стабилизированных напряжений. При необходимости AC/DC-преобразователи могут содержать и гальваническую развязку от сети.

Эффективность преобразования определяется эффективностью базовых узлов — выпрямителя с фильтром и DC/DC-преобразователей. Слабым по части эффективности энергопередачи является звено «диодный мост — конденсатор». Заряд емкости, а, следовательно, и потребление энергии от сети, производится только в короткие фазы во время «верхушек» синусоида сетевого напряжения, а передача энергии из накопительной емкости в нагрузку может происходить неравномерно по времени. Для обеспечения требуемой токовой нагрузки емкость конденсатора должна выбираться довольно большой. По мере возрастания мощности преобразователя проблема становится критической. При зарядке большой накопительной емкости в короткий момент времени происходят броски тока в сети, которые в начальный момент подключения источника к сети могут достигать сотни ампер. Это приводит к искажению формы сетевого напряжения.

## КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ

Для оценки эффективности передачи электрической энергии от сетевого источника в нагрузку используется коэффициент мощности ( $K_m$ ), который определяется, как отношение активной мощности, потребляемой нагрузкой, к полной мощности. Коэффициент мощности сетевых источников питания с мощностями более 100 Вт без использования активных корректоров коэффициента мощности (ККМ) не превышает 0,7. Коэффициент мощности обычного выпрямителя не превышает 0,25—0,3, тогда как у хорошего ККМ он составляет не менее 0,92—0,95.

## КОРРЕКТОР КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ И СТАНДАРТЫ

Основная задача ККМ — уменьшить (в идеальном случае до нуля) сдвиг фазы между потребляемым током и напряжением в сети при сохранении синусоидальной формы тока. Для этого необходимо, чтобы сетевой ток протекал от сети в нагрузку не короткими интервалами во время зарядки накопительного конденсатора, а непрерывно. Мощность, отбираемая от источника, должна оставаться постоянной даже в случае изменения напряжения сети. Это значит, что при снижении напряжения сети ток нагрузки должен быть увеличен, и наоборот. Со стороны сети блок питания будет выглядеть как чисто активное сопротивление. ККМ представляет собой преобразователь напряжения с индуктивным накопителем и передачей энергии на обратном ходу. Ступень ККМ в структуре мощного AC/DC-преобразователя (см. рис. 1) представляет собой промежуточный источник стабилизированного

напряжения, от которого питаются другие преобразователи напряжений.

Во всех современных мощных источниках питания широко применяется активная коррекция коэффициента мощности. Использование ступени коррекции коэффициента мощности позволяет повысить КПД преобразования и уменьшить уровень сетевых помех. Необходимость ККМ в мощных сетевых источниках вторичного электропитания регламентируется требованиями по электромагнитной совместимости ГОСТ Р 51317-2000. Нормы по гармоническим составляющим потребляемого тока и коэффициенту мощности для систем электропитания мощностью более 50 Вт и всех типов осветительного оборудования определяет стандарт МЭК IEC 1000-3-2. Для устройств питания аппаратуры связи с марта 2001 г. введён Минсвязи РФ ОСТ 45.188-2001, в котором указано, что коэффициент мощности оборудования электропитания для устройств с коррекцией мощности должен быть не менее 0,95.

## КОНТРОЛЛЕР КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Модуль корректора коэффициента мощности (см. рис. 2) содержит микросхему контроллера ККМ, дроссель, MOSFET, мощный ключ, выпрямительный диод, цепи датчика обратной связи, выходную емкость. Регулирование и стабилизация выходного напряжения осуществляется ШИМ-сигналом. На схеме не показаны цепи питания и цепи управления режимами и порогами срабатывания защитных цепей. Схема практически ничем не отличается от классических схем импульсных преобразователей напряжения. Стоит отметить лишь несколько особенностей. Для соответствия требованиям стандартов по электромагнитной совместимости преобразование в корректорах всегда осуществляется на постоянной частоте. При мощностях свыше 200 Вт большинство ККМ организованы как бустерные преобразователи, работающие в режиме непрерывной проводимости (РНП, в англоязычной транскрипции: Continuous Current Mode (CCM)).

Основным элементом корректора мощности является контроллер. Его структура и реализованный алгоритм управления определяют эффективность работы всего модуля. Первые микросхемы контроллеров корректоров мощности появились еще в 80-х гг., в одно время с микросхемами контроллеров импульсных источников питания. Сегодня микросхемы контроллеров выпускают десятки производителей, и уже долгие годы заслуженным доверием пользуется продукция компании ON Semi. ON Semi постоянно совершенствует структуру и алгоритм управ-

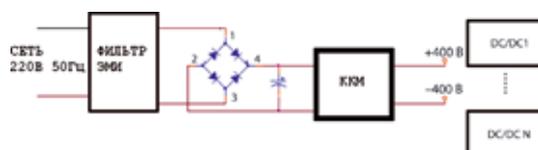


Рис. 1. Структура AC/DC-преобразователя с корректором коэффициента мощности

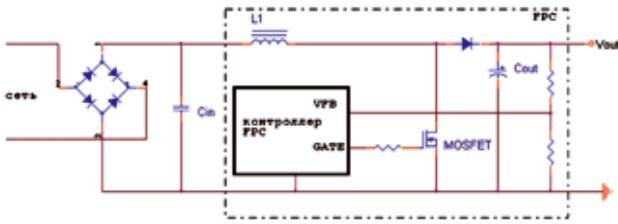


Рис. 2. Структура корректора коэффициента мощности

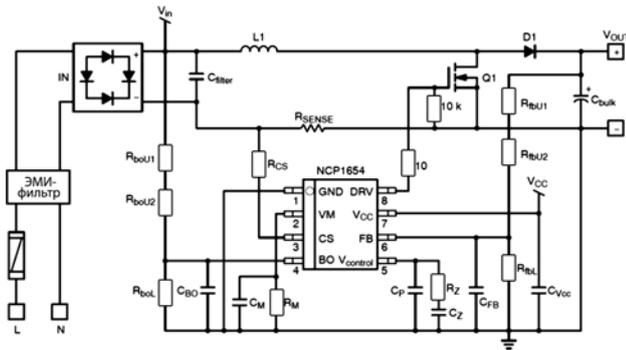


Рис. 3. Схема включения контроллера NCP1654

ления своих контроллеров FPC. Недавно выпущенные ею на рынок контроллеры FPC NCP1653\NCP1654 отражают последние достижения технологии ККМ.

#### СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНТРОЛЛЕРОВ NCP1653/1654

Микросхемы NCP1653/1654 спроектированы с учетом требований IEC61000-3-2 и полностью им соответствуют. Использование непрерывного режима для преобразования обеспечивает уменьшение бросков тока в цепях регулирования.

Контроллер NCP1653 создавался как базовая модель. NCP1654 считается более совершенным развитием структуры NCP1653. Несмотря на «родственные связи» структура и цоколевка, а также назначение выводов этих микросхем отличаются и не могут использоваться в качестве аналогов при заменах. Основной принцип организации обратной связи в NCP1654 унаследован от NCP1653. Главное отличие заключается в том, что NCP1654 обеспечивает по сравнению с NCP1653 более точное слежение и быструю реакцию на изменение входных, выходных сигналов в процессе регулирования. Базовые отличия между NCP1653 и NCP1654 будут представлены ниже (см. табл. 1), а пока рассмотрим структуру и параметры контроллера NCP1654.

На рисунке 3 показана базовая схема применения контроллера NCP1654. Как видно, применение контроллера

Таблица 1. Базовые отличия контроллеров NCP1653 и NCP1654

Параметр	NCP1653	NCP1654
Выбор частоты внутреннего генератора	67 кГц – NCP1653A 100 кГц – NCP1653	65/133/200 кГц задается в суффиксе NCP1654xxx
Диапазон питающих напряжений микросхемы, В	8,75...18	9...20
BrownOut Detection — обнаружение и отключение при падении сетевого напряжения на входе ниже порога	—	Есть (порог задается через пин Vbo-4). Дезактивация секции корректора при падении напряжения на линии питания
Порог защиты от перенапряжения на входе	107% от номинального выходного уровня	105% от номинального выходного уровня
Защелка при падении напряжения с гистерезисом	8,7/13,25 В	9/10,5 В

требует минимального количества внешних компонентов, что значительно упрощает процесс реализации корректоров мощности. NCP1654 характеризуется быстрой реакцией на броски по питанию, что обеспечивает надежную работу устройства. Интегрированные функции защиты, включая защиту от провалов напряжения (brown-out), делают устройство защищенным и компактным решением для коррекции коэффициента мощности. В контроллере NCP1654 имеется встроенный генератор частоты преобразования. Выпускается несколько модификаций микросхемы, отличающихся различными частотами внутреннего генератора — 65, 133, 200 кГц. Для реализации корректоров большей мощности используется и большая частота преобразования, например 200 кГц. Нагрузочная способность выхода DRV для управления затвором MOSFET-транзистора:  $\pm 1,5$  А. Потребление в режиме Shutdown — менее 400 мкА.

Для увеличения надежности работы в микросхеме контроллера реализован ряд защит:

- защита от перенапряжения на входе;
- защита от пониженного напряжения на входе;
- защитное ограничение тока при повышении мощности (по току в цепи индуктивности);
- защита от неправильного функционирования при понижении напряжения питания микросхемы на входе Vcc (BrownOut);
- защита от перегрева с гистерезисом для автоматического восстановления при случайном перегреве (порог срабатывания защиты и дезактивации выходного ключа — 150°C; при остывании корпуса ниже 120°C работа возобновляется).

В контроллере NCP1654 реализован также режим мягкого старта при включении питания корректора. На базе контроллера можно реализовать режимы регулирования с использованием в цепи обратной связи как среднего так и пикового токовых значений. Выбор осуществляется установкой конденсатора  $C_M$  на входе VM. При установленном конденсаторе будет использоваться слежение по среднему значению тока на выходе. Алгоритм слежения обеспечивает эффективное преобразование и точность как в цепи сетевого напряжения, так и в цепи нагрузки.

#### ПРИМЕР РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КОРРЕКТОРА МОЩНОСТИ

Ниже приведена последовательность шагов по выбору и расчету параметров активных и пассивных компонентов схемы на примере проектирования корректора с выходной мощностью 300 Вт.

Исходные данные:

- выходная мощность: 300 Вт;
- диапазон входных напряжений сети: 85...265 В;
- выходное номинальное напряжение: 390 В;
- частота переключения: 65 кГц.

На рисунке 4 показана принципиальная электрическая схема корректора с рассчитанными параметрами.

#### ЦЕПИ ПИТАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА

Во многих приложениях питание контроллера корректора мощности производится от источника напряжения преобразователя напряжения, стоящего после корректора, поэтому на приведенной схеме нет отдельного источника для питания микросхемы контроллера корректора мощности. На плате используется напряжение питания 15 В, которое подается от внешнего источника через клеммы TB3.

Формат статьи не позволяет привести подробные расчеты компонентов. Более подробная спецификация на компоненты, используемые в данном проекте, представлена в [4].

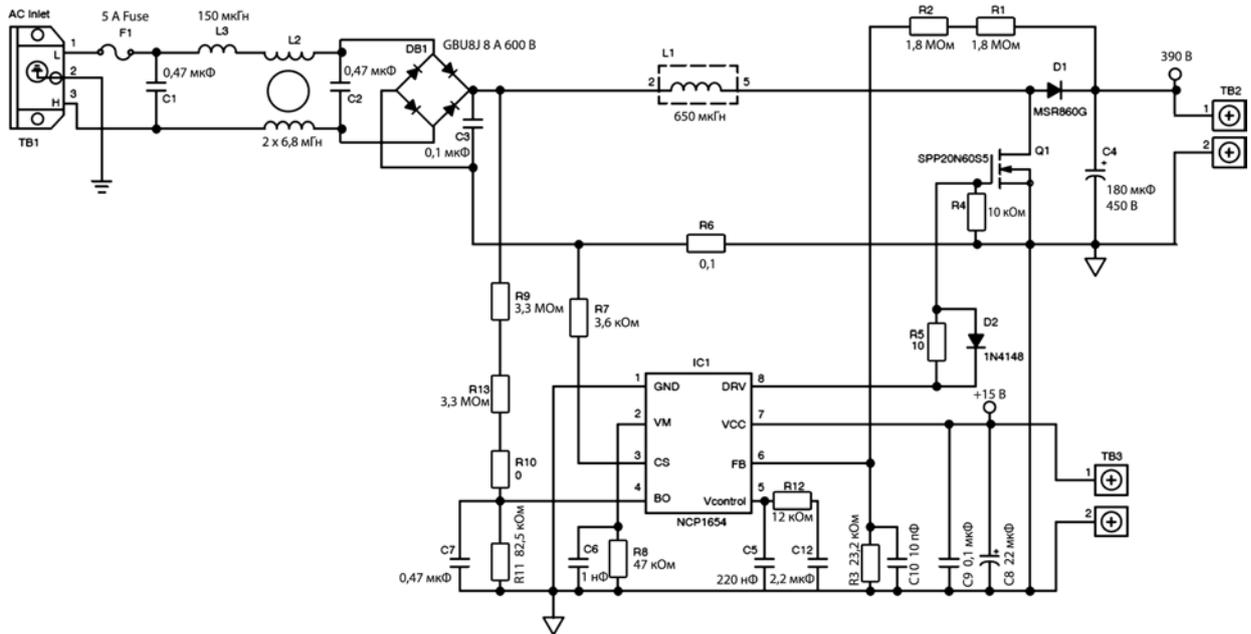


Рис. 4. Принципиальная схема модуля корректора коэффициента мощности на основе NCP1654

### ПЕРВЫЙ ШАГ: ВЫБОР БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

#### Выбор дросселя

Номинал индуктивности 650 мкГн выбран исходя из того, чтобы обеспечить снижение уровня пульсаций по отношению к пиковому напряжению на 36%.

#### Выбор силовых элементов (MOSFET-ключа, диодов моста и выходного диода)

Выбор этих компонентов происходит по классической схеме, как при выборе компонентов AC/DC-преобразователя. Основные параметры — напряжение и ток. Диодный мост выбирается исходя из требуемых значений тока и напряжения с запасом. В данном проекте используется диодный мост VISHAY типа GBU8J на 600 В и 8,0 А. В качестве MOSFET-транзистора выбран SPP20N60C3 фирмы Infineon (рабочий ток 20 А, напряжение исток-сток — 600 В,  $R_{ds(on)}$  — 0,19 Ом). Выпрямительный диод выходной цепи — MSR860G ON Semiconductor (8,0 А, 600 В).

#### Емкости выходного фильтрующего конденсатора

Номинал емкости выбирается исходя из двух требований — обеспечение уровня пульсаций на двойной частоте сети ниже порога и времени удержания выходного напряжения при полной нагрузке в течение сетевого полупериода. Для того чтобы не срабатывала защита OVP по перенапряжению на входе, уровень пульсаций на конденсаторе C4 должен быть менее  $\pm 3\%$  от номинального выходного напряжения.

### ВТОРОЙ ШАГ: ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

К цепям обратной связи относятся конденсатор фильтра CFB и резистивный делитель датчика сигнала обратной связи ( $R_{fbU1}$ ,  $R_{fbU2}$ ,  $R_{fbL}$ ). Конденсатор обычно выбирают в диапазоне от 100 пФ до 1 нФ. Два резистора вместо одного в верхней цепи делителя ставят исходя из соображений безопасности, поскольку в случае электрического пробоя единственного сопротивления напряжение 400 В пробьет вход сигнала обратной связи контроллера. Выбор конкретных номиналов резистивного делителя определяется исходя из выходного напряжения и значения опорного напряжения (2,5 В). Чем больше сопротивление делителя, тем меньше потребление этих цепей и больше эффективность корректора. Однако при очень больших номиналах будет уменьшаться помехоустойчивость преобразователя. Поэтому не рекомендуется делать ток через делитель

менее 100 мкА. В данном примере выбраны следующие параметры делителя:

$$R_{fbU1} + R_{fbU2} = 3,6 \text{ МОм}, R_{fbL} = 23,2 \text{ кОм}.$$

### ТРЕТИЙ ШАГ: РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ДАТЧИКА ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Мониторинг входных цепей выпрямленного моста напряжения осуществляется резистивными делителями  $R_{BOU1}$ ,  $R_{BOU2}$ ,  $R_{BOL}$ ,  $C_{BO}$  вместе с резистором  $R_{BOL}$  образует низкочастотный фильтр входного сигнала. Верхний резистор делителя, исходя из соображений безопасности, также составной. В данном случае он состоит даже из трех резисторов (один — переключатель с нулевым сопротивлением резервирует место для юстировочного резистора). Этот сигнал используется для отслеживания уменьшения входного напряжения ниже порога (BrownOut), а также для мониторинга отбираемого из сети входной мощности (OPL — Over Power Limitation)

### ЧЕТВЕРТЫЙ ШАГ: РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ДАТЧИКА ТОКА И МОЩНОСТИ

Датчиком тока является резистор  $R_{SENSE}$ . RCS устанавливает порог ограничения тока. RM — подстройка порога защиты по превышению мощности. На рисунке 5 показана конструкция платы модуля корректора мощности на 300 Вт.

### РАСЧЕТ БЮДЖЕТА МОЩНОСТИ

Все силовые полупроводниковые компоненты (диодный мост DV1, MOSFET-транзистор Q1, выпрямительный диод D1), на которых в процессе работы происходит выделение тепла, размещены на одном общем радиаторе. При выходном напряжении 390 В и мощности 300 Вт получим значение протекающего тока = 0,77 А. Потери на выпрямительном диоде D1 составят 0,77 Вт ( $U_f = 1$  В). Мощность, выделяемая на диодном мосте, равна 6,9 Вт.

Потери на ключе зависят от  $R_{ds(on)}$  сопротивления в открытом состоянии и максимального тока. Не стоит забывать и том, что при максимально допустимой температуре корпуса транзистора сопротивление удваивается. Например, для ключа с сопротивлением канала  $R_{ds(on)} = 0,19$  Ом и при повышенной температуре потери составят около 4,1 Вт. Общая тепловая мощность, выделяемая на радиаторе, составит, таким образом, около 11,77 Вт.

## Корректор коэффициента мощности

- Работа в режиме непрерывных токов
- Частоты преобразования 65/133/200 кГц
- Выходной ток драйвера -1.5 А/+1.5 А
- Компактный корпус SO-8
- Мягкий старт
- Комплексная система защиты
- Минимум внешних компонентов



Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902  
E-mail: msk@compel.ru

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403  
E-mail: spb@compel.ru

**Компэл**  
www.compel.ru



Рис. 5. Конструкция платы корректора коэффициента мощности на 300 Вт

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРРЕКТОРА МОЩНОСТИ

На рисунке 6 показан график зависимости эффективности преобразования и коэффициента мощности от величины входного напряжения, а на и рисунке 7 — зависимость коэффициента мощности от мощности в нагрузке при разных напряжениях сети. Коэффициент мощности повышается при приближении к номинальной мощности (300 Вт) и уменьшается при высоких сетевых напряжениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. NCP1653, NCP1653A Compact, Fixed-Frequency, Continuous Conduction Mode PFC Controller//Datasheet ON Semiconductor.
2. NCP1654 Power Factor Controller for Compact and Robust, Continuous Conduction Mode Pre-Converters//Datasheet ON Semiconductor.
3. Turchi J. AND8321/D Compensation of a PFC Stage Driven by the NCP1654//Application Note ON Semiconductor.

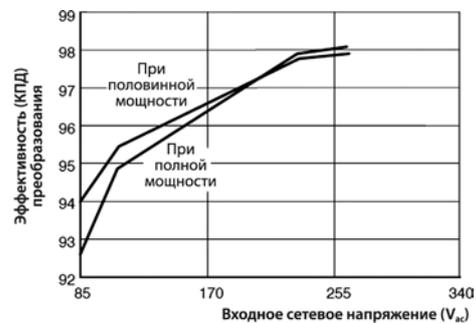


Рис. 6. Эффективность преобразования корректора в зависимости от входного напряжения

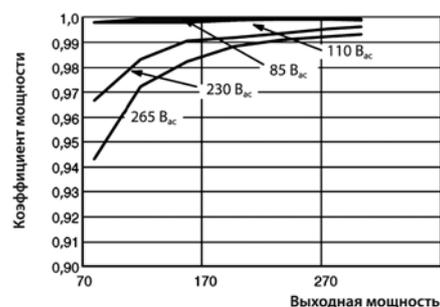


Рис. 7. Зависимость коэффициента мощности от мощности в нагрузке при разных напряжениях сети

4. Wang P. AND8324/D 300 W, Wide Mains, PFC Stage Driven by the NCP1654//Application Note ON Semiconductor.
5. Васильев А., Худяков В., Хабзузов В. Анализ современных методов и технических средств коррекции коэффициента мощности у импульсных устройств//Силовая электроника №2, 2004.