

Сергей Гасанов (Санкт-Петербург)

С ПОВЫШЕННЫМ КПД: НОВЫЕ ККМ-КОНТРОЛЛЕРЫ ОТ ON-SEMICONDUCTOR



Отличие корректоров коэффициента мощности (ККМ) NCP1611/12 компании **ON Semiconductor** от изделий этого типа других производителей — запатентованная технология, реализующая режим **обратного управления частотой по току (Current Controlled Frequency Fold-Back)**. Этот режим позволяет добиться **высокого КПД** на всем диапазоне токов нагрузки.

Для сети импульсные преобразователи электрической энергии являются нелинейной нагрузкой. Форма потребляемого ими тока отличается от синусоидальной, что может привести к возникновению дополнительных гармоник, следовательно, к появлению реактивной составляющей мощности, дополнительному нагреву и потерям в линии электропередач. Существуют международные и государственные стандарты, регламентирующие ограничения на наводки в сети от работающего прибора. Например, по современным мировым стандартам IEC 1000-3-2, японскому LS C 61000-3-2 и китайскому CCC (China Compulsory Certificate), источник питания мощностью более 75 Вт должен быть оснащен корректором коэффициента мощности, иначе ему будет закрыт доступ на рынок.

Активные или пассивные корректоры применяются для снижения влияния потребителя тока на сеть. Пассивные в основном используются в устройствах небольшой мощности, некритичных к габаритным размерам, и представляют собой, как правило, дроссели. В остальных случаях целесообразно применение активных корректоров коэффициента мощности — ККМ (Power Factor Corrector — сокращенно PFC). К основным задачам активных ККМ можно отнести: придание потребляемому из сети току формы близкой к синусоидальной (происходит повышение коэффициента мощности); ограничение выходной мощности; защиту от короткого замыкания в нагрузке; защиту от различного рода дестабилизирующих факторов (изменение уровня сетевого напряжения, скачкообразное изменение тока нагрузки и т.д.). Обобщенно, ККМ представляет собой промежуточный каскад (рисун-

нок 1), снижающий влияние потребителя на сеть.

В феврале 2012 года компания ON Semiconductor выпустила ККМ-контроллеры NCP1611/12 являющиеся дальнейшим развитием контроллера NCP1607. Микросхемы NCP1611/12 (рисунок 2) предназначены для использования в повышающем преобразователе

ККМ в качестве устройства, управляющего коммутациями ключевого элемента (его роль, как правило, выполняет силовой MOSFET).

Ключевые особенности NCP1611 (см. также табл. 1):

- Режим предельной проводимости (Critical Conduction Mode — CrM);
- Режим обратного управления частотой по току (Current Controlled Frequency Fold-Back — CCFF). При малых токах нагрузки производится переход на более низкую частоту преобразования;
- Длительность времени коммутации MOSFETа формируется таким образом, чтобы форма потребляемого из сети тока была как можно более приближена к синусоидальной;

Таблица 1. Основные характеристики микросхемы NCP1611

Параметр	Значение
Питающее напряжение, В	9,5...35
Ток запуска, мА	20...50
Пиковый ток накачки затвора, мА	-500, 800
Рабочая температура, °С	-40...150
Частота ШИМ, кГц	>20

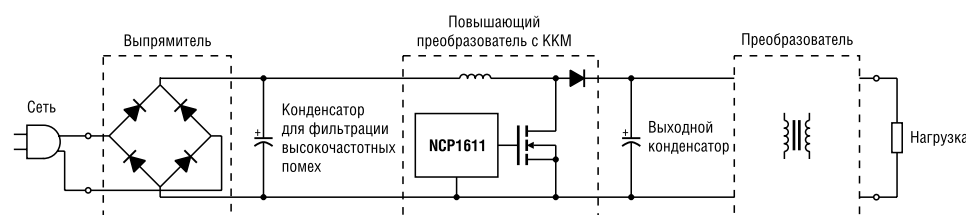


Рис. 1. Типовая схема включения корректора коэффициента мощности

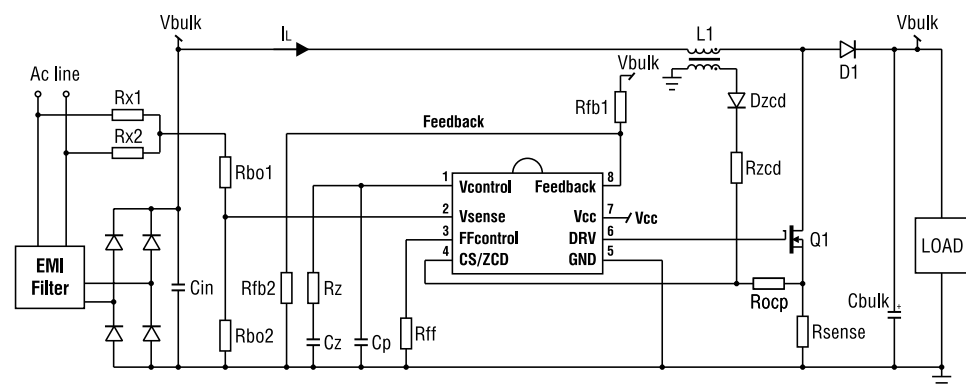


Рис. 2. Схема включения NCP1611 в повышающем преобразователе

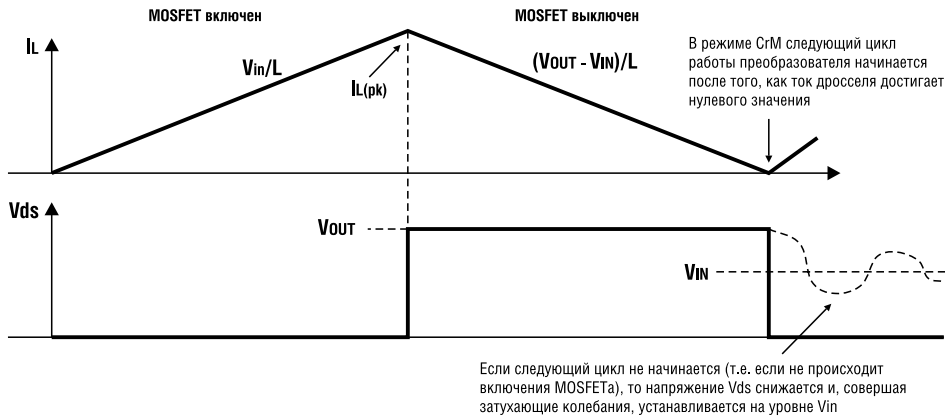


Рис. 3. Цикл работы повышающего преобразователя в методе предельной проводимости (CrM)

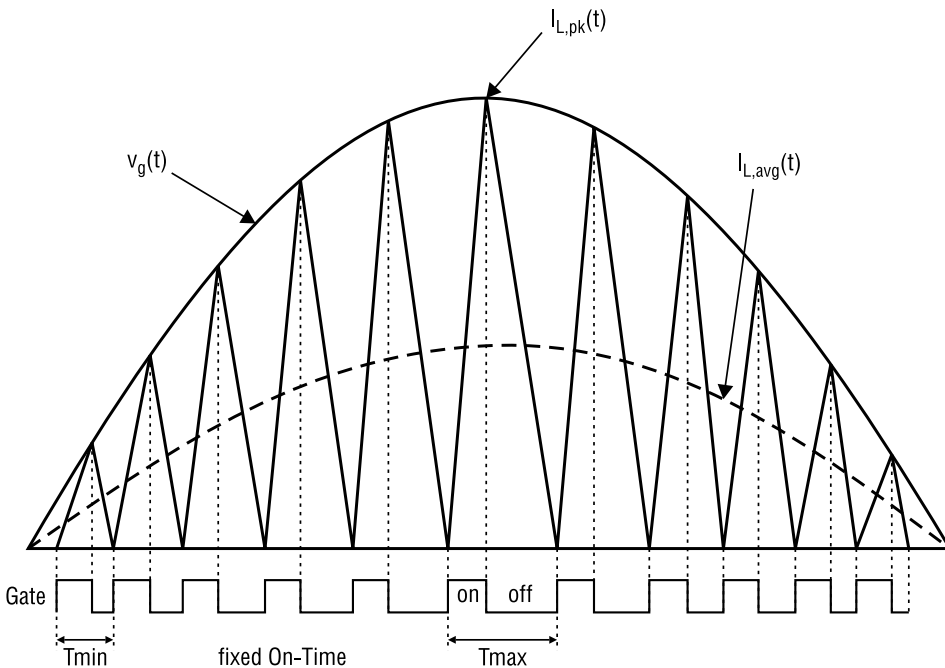


Рис. 4. Временные диаграммы выпрямленного напряжения сети – $V_g(t)$, тока дросселя $i_L(t)$, а также сигнала управления MOSFET – Gate

- Для очень малых токов нагрузки поддерживается переход ККМ-контроллера в специальный режим пропуска (Skip Mode);
- Компенсация проседания сетевого напряжения и скачкообразного изменения нагрузки;
- Мощный выходной каскад для управления MOSFETом напрямую без драйверов;

- Широкий диапазон напряжения питания: от 9,5 до 35 В.
- Низкий ток запуска (от 20 до 50 мкА);

Теория работы

Классический метод предельной проводимости (**Critical Conduction Mode**, сокращенно – CrM) используется для коррекции коэффициента мощности в

повышающих преобразователях. Данный метод имеет две фазы в цикле работы (рисунок 3). В течение первой фазы силовой MOSFET, выступающий в роли управляемого ключа, включен. Нагрузку питает выходной конденсатор, а диод не дает ему разрядиться через MOSFET. Выпрямленное сетевое напряжение прикладывается к дросселю, ток дросселя при этом линейно нарастает с наклоном равным V_g/L . При выключении MOSFETA ток протекает через дроссель, диод и нагрузку. Выпрямленное напряжение сети и ЭДС самоиндукции дросселя приложены в одном направлении и складываются в нагрузку. Напряжение на дросселе будет равняться $V_0 - V_g$. Ток дросселя линейно уменьшается с наклоном $(V_0 - V_g)/L$ до нуля.

Время выключения MOSFETA фиксировано, определяется величиной сетевого напряжения и требуемым уровнем мощности в нагрузке. Пиковое значение тока дросселя автоматически повторяет форму выпрямленного сетевого напряжения (см. рисунок 4), как следствие, потребляемый из сети ток будет близок по форме к синусоидальному и по фазе будет практически совпадать с сетевым напряжением. Таким образом достигается высокое значение коэффициента мощности повышающего преобразователя.

Обратное управление частотой по току

Микросхема NCP1611/12 реализует более эффективный инновационный метод коррекции коэффициента мощности за счет обратного управления частотой по току (**Current Controlled Frequency Fold Back**, сокращенно – CCFF). Суть этого метода заключается в том, что отслеживается величина среднего тока через дроссель: когда она превышает запрограммированное значение, ККМ-контроллер работает в вышеописанном режиме CrM, в том же случае, если ток дросселя ниже установленного значения, контроллер линейно понижает частоту включения MOSFETA до значения приблизительно в 20 кГц, при котором ток будет равняться нулю. Данный ме-

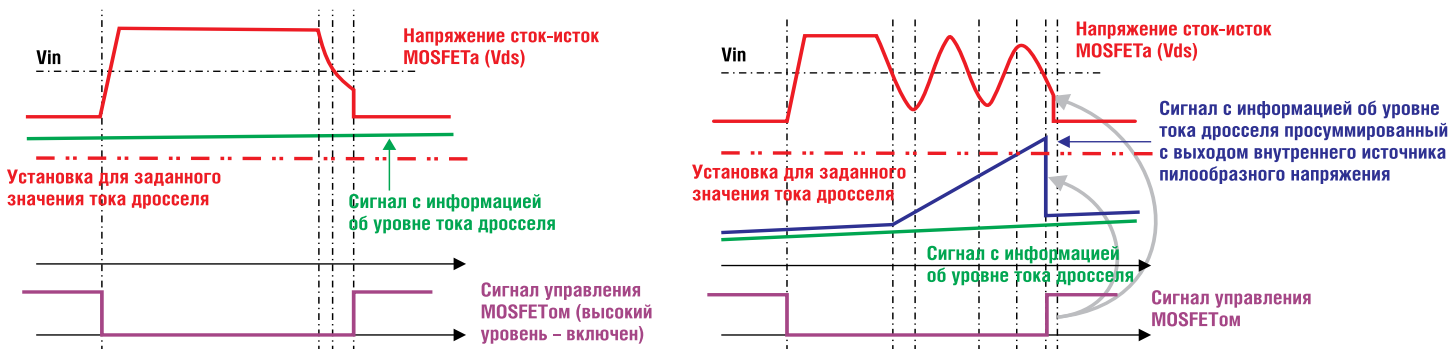


Рис. 5. Временные диаграммы, иллюстрирующие принцип работы метода CCFF

тод позволяет добиться максимальной производительности повышающего преобразователя как при номинальном, так и при малом токе нагрузки. В частности, потери в преобразователе на холостом ходу будут сведены к минимуму.

Понижение частоты включения MOSFETа достигается за счет того, что в цикле работы преобразователя вводится пауза после достижения током дросселя нулевого значения. Данный механизм проиллюстрирован на рисунке 5.

Режим пропуска – дополнительная опция режима CCFF

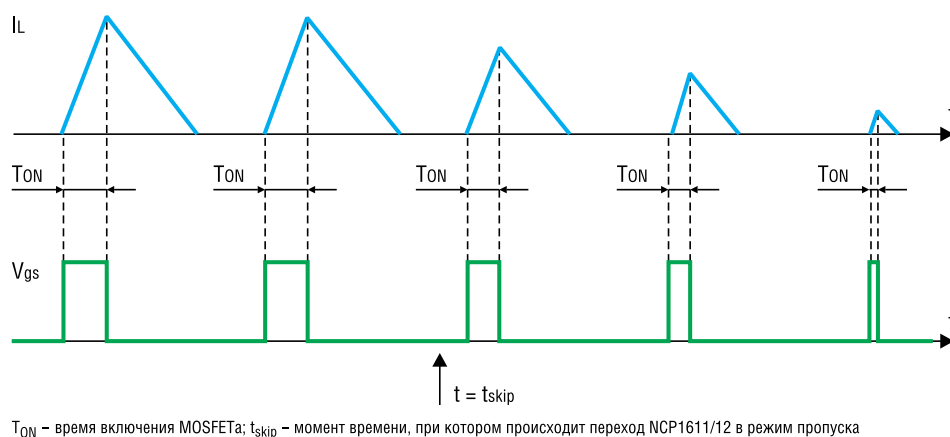
При очень малых значениях тока нагрузки повышающего преобразователя микросхема NCP1611/12 может переключиться в режим пропуска (**Skip Mode**). В данном режиме прекращается коммутация MOSFETа, за счет чего пропускаются циклы работы преобразователя. Для реализации режима пропуска, внутренний компаратор NCP1611/12 отслеживает напряжение на выводе 3 (FFcontrol). В случае если это напряжение меньше значения напряжения внутренней опоры 0,65 В, то управление MOSFETом приостанавливается. Управление возобновляется, когда напряжение на выводе 3 достигнет значения 0,75 В (гистерезис напряжения составляет 0,1 В). Данная функция позволяет повысить КПД преобразователя за счет незначительного искажения формы потребляемого из сети тока. Если необходимо максимальное значение коэффициента мощности, работа данной функции может быть запрещена путем смещения вывода FFcontrol на 0,75 В.

Особенностью данной функции является тот факт, что при снижении напряжения на выводе FFcontrol ниже 0,65 В не происходит мгновенного прекращения подачи сигнала управления MOSFETом. Вместо этого происходит постепенное снижение длительности управляющих импульсов и, как следствие – снижение времени включения MOSFETа до нуля в течении 3-4 циклов работы повышающего преобразователя (рисунок 6).

Подводя итог сравнения режимов работы NCP1611, можно сделать следующие выводы:

- В классическом для ККМ режиме обратной проводимости (CrM) при понижении тока нагрузки происходит увеличение частоты коммутации в цепи повышающего преобразователя. При очень малых значениях тока нагрузки преобразователь может перейти в режим высокочастотных пульсаций – результат работы в диапазоне звуковых частот.

- В режиме обратного управления частотой по току (CCFF) при понижении тока нагрузки происходит уменьшение частоты коммутаций в цепи повышающего преобразователя, при этом



T_{ON} – время включения MOSFETа; t_{skip} – момент времени, при котором происходит переход NCP1611/12 в режим пропуска

Рис. 6. Временные диаграммы тока дросселя – I_L и импульсы управления MOSFETом – V_{gs}

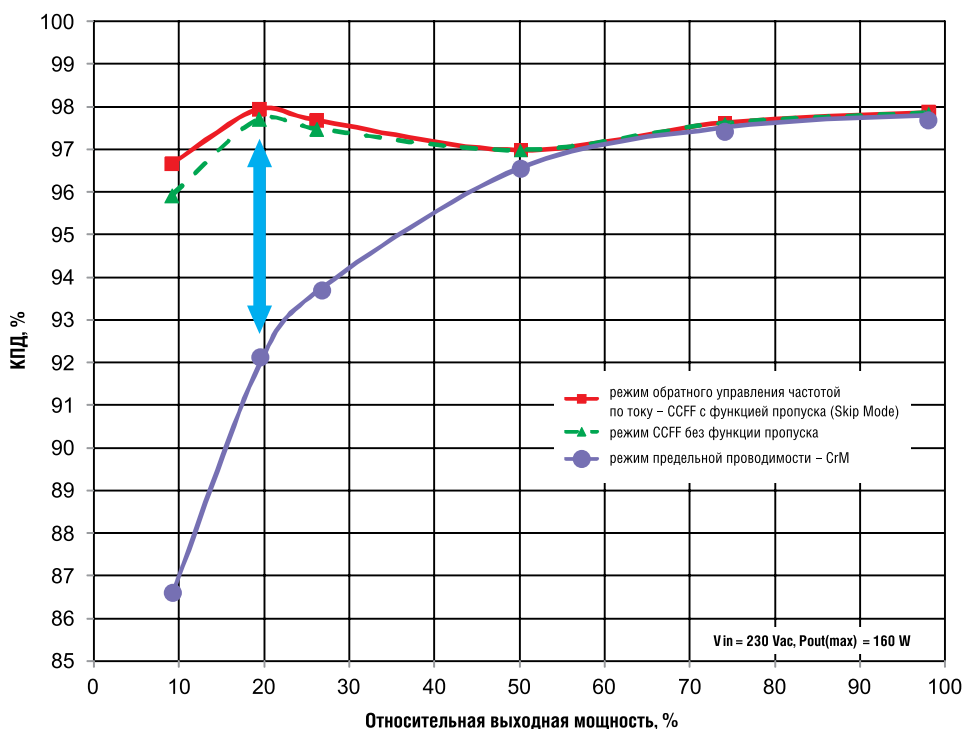


Рис. 7. Графики зависимостей КПД повышающего преобразователя от выходной мощности при питании от сети переменного тока с напряжением 220 В

сокращаются потери мощности. При очень малых токах нагрузки частота преобразования будет уменьшаться, но остановится до того, как достигнет верхнего значения частоты звукового диапазона. Также на очень малых токах нагрузки может быть задействован режим пропуска (Skip Mode).

Сравнение эффективности вышеперечисленных режимов в количественном отношении приведено на рисунке 7:

Из рисунка 7 видно, что режим CCFF при малых токах нагрузки позволяет добиться существенного увеличения производительности по сравнению с классическим режимом CrM (разница КПД составляет приблизительно 5,5% при 20% относительной выходной мощности).

Коэффициент мощности преобразователя при работе в режиме CCFF не много ниже, чем при работе в классическом режиме CrM. Незначительное

искажение гармоник потребляемого тока – это плата за высокий КПД режима CCFF на малых токах нагрузки (рисунок 8).

Функции защиты

NCP1611 обладает рядом защитных функций, которые предотвращают выход системы из строя. Вот некоторые из них:

- **Защита от превышения максимально допустимого тока.** Микросхема NCP1611 отслеживает ток MOSFETа и прекращает коммутацию ключа, если происходит превышение установленного значения тока. Также микросхема переходит в режим работы с малым коэффициентом заполнения импульсов управления, если будет достигнуто значение тока в 150% от установленного предела – такая ситуация может возникнуть, например, в результате насыщения дросселя.

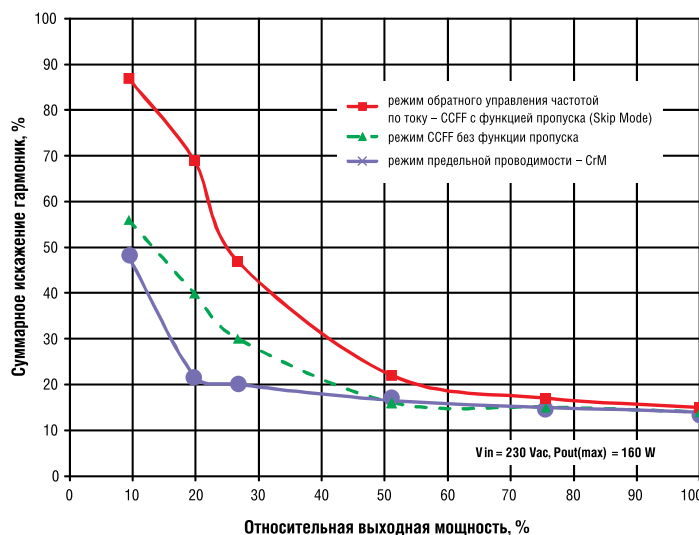
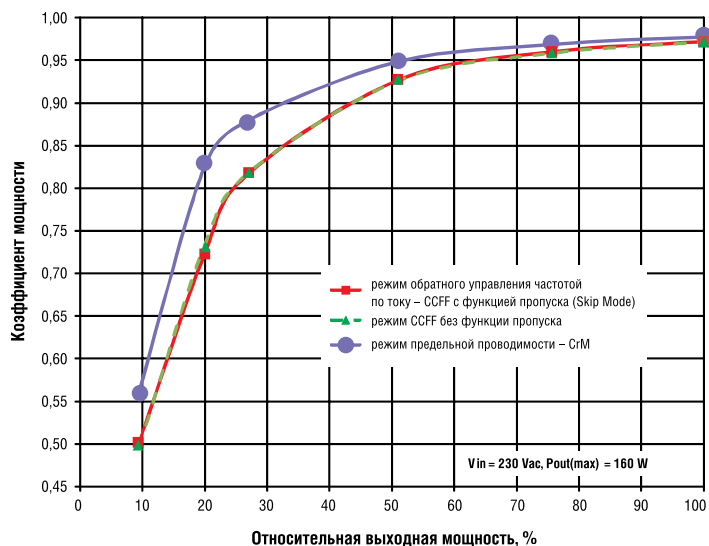


Рис. 8. Зависимость коэффициента мощности и суммарного искажения гармоник от выходной мощности



Рис. 9. Осциллограммы работы повышающего преобразователя, иллюстрирующие функцию компенсации скачкообразного изменения нагрузки: а) – ток нагрузки скачкообразно увеличивается; б) – ток нагрузки скачкообразно уменьшается



Рис. 10. Внешний вид платы NCP1611GEVB

- **Защита от просадки выходного напряжения.** Работа преобразователя прекращается, если будет определено понижение выходного напряжения на 12% от контрольного значения. Данная функция защищает повышающий преобразователь, если сетевое напряжение становится очень низким или происходит обрыв в цепи обратной связи.

- **Защита от проседания сети.** Если NCP1611 определяет проседание сетевого напряжения, то работа преобразователя останавливается. Это предотвращает преобразователь от чрезмерных перегрузок.

- **Защита от перегрева.** NCP1611 прекращает осуществлять коммутацию MOSFETа, если температура внутренних цепей микросхемы превышает 150°C. Коммутация возобновляется после того, как температура понизится до 100°C (гистерезис температуры составляет 50°C).

Компенсация скачкообразного изменения нагрузки и сетевого напряжения

Скачкообразные изменения в нагрузке или напряжении сети (например, при включении) могут стать причиной чрезмерного недо- или перерегулирования. Для предотвращения подобных отклонений выполняются следующие действия:

Контроллер NCP1611 линейно понижает мощность, выдаваемую в нагрузку до нуля, если выходное напряжение превышает 105% от желаемого значения. Эта функция именуется «мягкой» защитой от перенапряжения (soft over-voltage protection, сокращенно – soft-OVP). Если данное плавное понижение мощности, выдаваемой в нагрузку,

не останавливает повышения выходного напряжения (достигается 107% от желаемого значения), то система останавливает преобразование, таким образом, мощность в нагрузке становится равной нулю. В случае понижения выходного напряжения ниже 95,5% от желаемого значения происходит ускорение работы преобразователя, выражающееся в том, что в нагрузку передается большая мощность (рисунок 9).

Демонстрационная плата NCP1611GEVB

NCP1611GEVB представляет собой законченный модуль ККМ на базе NCP1611 с выходной мощностью 160 Вт и выходным напряжением 390 В (рисунок 10), питающийся от сети переменного тока с действующим значением напряжения в диапазоне 90...265 В. Данная плата имеет низкий профиль – толщина менее 13 мм – и может быть использована в панельных телевизорах и компактных ПК. При полной нагрузке платы КПД достигает значения свыше 95%, коэффициент мощности свыше 0,95, что соответствует стандарту EN61000-3-2 (Класс С и D). Существует также аналогичная демонстрационная плата для микросхемы NCP1612.

Расчет корректора мощности

Для новых микросхем коррекции мощности компания ON Semiconductor представила на своем сайте удобный инструмент (рисунок 11) для расчета параметров и номиналов элементов цепи модуля ККМ.

Данный инструмент представляет собой файл Microsoft Excel, который можно найти на сайте <http://www.onsemi.com>. Для этого нужно зайти в раздел посвященный NCP1611 (например, через процедуру поиска), затем перейти в подраздел «Documents», после чего

NCP1611 Design Tool		
Please enter your specification		
f_{ac} (Hz)	50	Ac line frequency
V_{min} (V)	90	Ac line rms lowest level (generally 85 V or 90 V in wide mains applications)
V_{max} (V)	264	Ac line rms highest level (generally 265 V in wide or European mains applications)
$V_{out,nom}$ (V)	390	Targeted regulation level for the output voltage (generally 390 V or 400 V in wide mains apps)
η_{eff} (%)	95	Expected efficiency at low line, full load - use 94 % as a default value if you don't know
P_{out} (W)	160	Maximum output power
$R_{DS(on)}$ (Ω)	0.25	MOSFET on-time resistance @ 25 °C
$T_{hold-up}$ (ms)	10	Hold-up time. Put 0 if no hold-up time is specified or if you don't know
$V_{out,min}$ (V)	350	Minimum output Voltage you can accept at the end of the hold-up time - Don't fill this cell or put any value if no hold-up time is specified
$\Delta V_{out,reg}$ (%)	7	Peak to peak low frequency ripple acceptable across the bulk capacitor as a percentage of $V_{out,nom}$. Choose 7% if you don't know
F_c (Hz)	10	Targeted Crossover Frequency @ V_{out} , full load. You can use (1/(4)) by default
ϕ_m (°)	60	Phase margin at V_{out} , full load. You can use 60° by default
V_{bus0} (V)	81	Minimum line rms voltage allowing for PFC stage operation, 90% of V_{min} can be a good starting value
I_{bus} (μ A)	10	Accepted leakage in the BO sensing network at the BO line level (@ V_{bus}). Take 10 μ A if you don't know
Bulk Capacitor and Inductor		
$C_{bulk,min}$ (μ F)	108	Minimum C_{bulk} capacitance meeting the low frequency ripple and hold-up time constraints (*)
C_{bulk} (μ F)	136	Your C_{bulk} selection
L_{calc} (μ H)	481	Calculated maximum L_1 inductance allowing for the full power delivery
L_1 (μ H)	200	Your inductance choice. It is recommended to select it 25% lower than L_{calc} for a healthy margin.
$I_{L1,max}$ (A)	5.3	Maximum current flowing through L_1 and L_2
$I_{L1,rms}$ (A)	2.2	Maximum rms current in L_1 and L_2
$F_{bulking}$ (kHz)	83	Bulking frequency at low line, full load (top of the sinusoid)
$(N_p/N_{sec})_{max}$ (-)	13	Maximum Turns Ratio (N_{sec} : turns number for auxiliary winding)
N_p/N_s (-)	10	Your selected turns ratio
Main Conduction Losses		
P_{MOS} (W)	3.4	
P_{D1} (W)	1.7	
P_{Di} (W)	0.4	

Рис. 11. Внешний вид инструмента для расчета параметров и номиналов цепи модуля ККМ

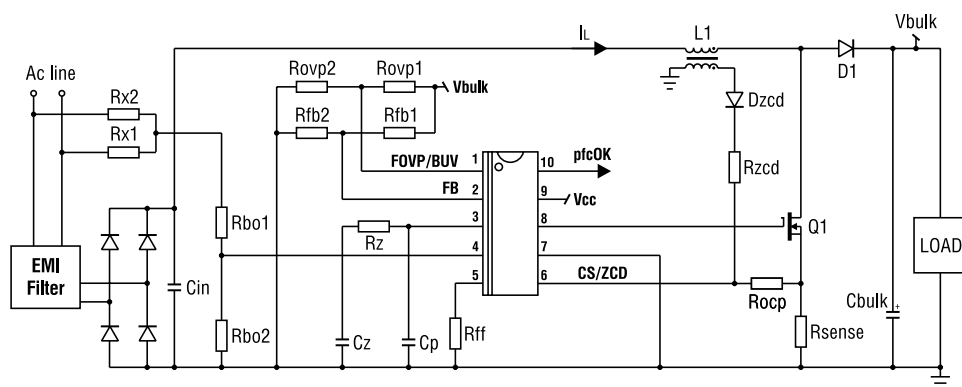


Рис. 12. Схема включения NCP1612 в повышающем преобразователе

скачать документ «NCP1611 Design Worksheet».

Также на сайте ON Semiconductor приведено пошаговое руководство по проектированию модуля ККМ с использованием NCP1611. Данное руководство можно найти, воспользовавшись поиском по индексу документа – AND9062/D (5 Key Steps to Design a Compact, High-Efficiency PFC Stage using the NCP1611).

ККМ-контроллер NCP1612

Помимо стандартных функций и возможностей контроллеры коэффициента мощности серии NCP1612 (рисунок 12) имеют ряд опций, улучшающих характеристики конечных устройств, работающих на их основе.

NCP1612 по сравнению с NCP1611 имеет дополнительные выводы: pfcOK – для сигнала взаимодействия со следующим каскадом и FOVP/BUV – обособленный вывод для определения превышения или проседания выходного напряжения независимо от вывода Feedback.

Вывод pfcOK соединен с общим выводом внутри микросхемы до тех пор, пока преобразователь не выйдет на номинальный режим работы, а также при срабатывании функции защиты, останавливающей работу микросхемы. Когда же на выходе повышающего преобразователя номинальное напряжение, вывод pfcOK находится в высокоимпедансном состоянии (сопротивление между этим выводом и общим выводом велико).

Заключение

Новые улучшенные ККМ-контроллеры компании ON Semiconductor являются дальнейшим развитием микросхемы NCP1607; за счет расширения режимов работы они могут обеспечивать высокое значение КПД как при малом, так и при номинальном токе нагрузки. Также микросхемы NCP1611/12 обладают рядом дополнительных функций, с помощью которых можно добиться высокой стабильности в работе ККМ. Для всего спектра приложений осуществляется информационная и техническая поддержка разработчика – от рекомендаций по применению, инструментов для расчета блоков и узлов до отладочных и демонстрационных плат.

ON Semiconductor **ON** Enabling Energy Efficient Solutions

NCP1611

НОВЫЙ КОРРЕКТОР
КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

- Режим обратного управления частотой по току
- Режим предельной проводимости
- Оптимальное формирование времени коммутации MOSFETа – наиболее синусоидальная форма потребляемого из сети тока

Москва
Тел.: (495) 234-7764, доб. 2457
Ромадина Ирина
E-mail: ons@compel.ru

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-9404, доб. 4231
Романов Олег
E-mail: support.spb@compel.ru

www.compel.ru

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: analog.vesti@compel.ru