

# Анализ современных методов и технических средств коррекции коэффициента мощности у импульсных устройств

**В статье описаны различные методы коррекции коэффициента мощности, указаны их особенности, преимущества и недостатки. Приведена информация, позволяющая сравнить некоторые существующие микросхемы для реализации коррекции.**

**Александр Васильев  
Владимир Худяков  
Василий Хабузов**

akva@aanet.ru

В настоящее время трудно себе представить импульсный источник вторичного питания средней мощности от 100 Вт и выше, который бы не имел во входной цепи так называемой коррекции коэффициента мощности, обеспечивающей потребление устройством от питающей сети энергии так, как если бы оно несло активную нагрузку. Необходимость корректора коэффициента мощности (ККМ) регламентируется требованиями по электромагнитной совместимости (ЭМС) ГОСТ Р 51317-2000. Для импульсных преобразователей используются активные ККМ, обеспечивающие такое импульсное потребление тока, что форма кривой, соответствующей среднему за период преобразования значению этого тока (сглаживание осуществляется входной фильтр электромагнитных помех — ФЭМП), близка к форме кривой напряжения питающей сети. В случае, когда формы этих кривых совпадают, коэффициент мощности (КМ), определяемый как отношение активной мощности к полной, равен единице. В остальных случаях КМ меньше указанной величины. Значение 0,99 является в большинстве практических случаев достаточным для того, чтобы считать влияние потребителя на питающую сеть несущественным.

Сейчас существует довольно широкая номенклатура специализированных микросхем, содержащих схемы управления ККМ. Эти микросхемы реализуют различные методы коррекции КМ. В данной работе рассматриваются основные методы, применяемые в схемах с повышением напряжения, называемых также «бустерами». Каждый метод имеет определенные преимущества и недостатки, влияющие на выбор микросхемы. Для каждого метода приведены типы отдельных серийно выпускаемых микросхем, доступных на российском рынке электронных компонентов, а также указаны их особенности, которые могут быть использованы для первичного сравнения этих изделий. Кроме того, в качестве примеров приведены рекомендуемые производителями практические схемы применения некоторых микросхем.

## Метод «граничного» управления

Метод реализует управление на границе между режимами безразрывных и разрывных токов. Это наиболее простой для понимания общих принци-

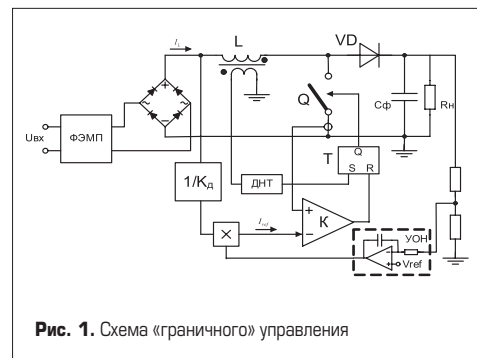
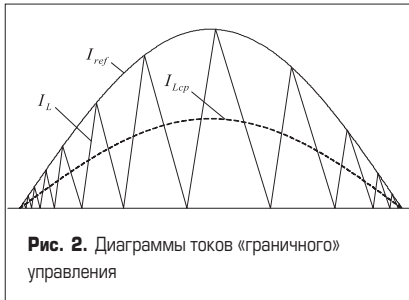


Рис. 1. Схема «граничного» управления

пов работы ККМ метод. Функциональная электрическая схема реализации данного метода представлена на рис. 1.

Входное синусоидальное напряжение от питающей сети подается на выпрямитель через входной ФЭМП, защищающий питающую сеть от высокочастотных помех корректора. Выпрямленное напряжение через делитель с коэффициентом  $1/K_d$  подается на умножитель, формируя эталонное напряжение  $U_{ref}$ . Второй множитель определяется сигналом с усилителя ошибки по напряжению ( $U_{OH}$ ), служащим для предварительной стабилизации выходного напряжения. Эталонное напряжение сравнивается компаратором  $K$  с напряжением, снимаемым с датчика тока в цепи истока ключа  $Q$  (в этом качестве используется MOSFET-транзистор). Сигнал с компаратора и сигнал с датчика нулевого тока (ДНТ) дросселя отвечает за переключение триггера  $T$ , управляющего ключом  $Q$ . Силовая часть выполнена по схеме повышающего импульсного преобразователя и остается неизменной в остальных методах, что позволит рассматривать принципы работы последующих схем менее подробно.

Цикл работы схемы выполняется следующим образом. В начальный момент времени ток в дросселе равен нулю, ДНТ устанавливает в единичное состояние триггер и происходит открывание ключа  $Q$ . Дроссель  $L$  начинает накапливать электрическую энергию, что сопровождается линейным ростом его тока  $I_L$ . Когда напряжение с датчика тока, пропорциональное току дросселя, становится равным напряжению  $U_{ref}$ , происходит закрывание ключа  $Q$ . Энергия, запасенная в дросселе, отдается через от-



крытый диод VD в нагрузку  $R_H$ . Ток в дросселе падает, напряжение с дополнительной вторичной обмотки дросселя L используется датчиком нулевого напряжения для определения момента снижения тока дросселя до нуля. При этом происходит открытие ключа Q, что соответствует началу нового цикла. Временные диаграммы токов, поясняющие работу схемы, представлены на рис. 2. Здесь и далее частоты преобразования снижены для более наглядного восприятия.

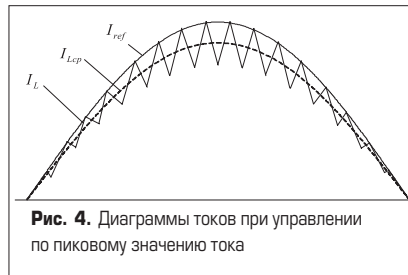
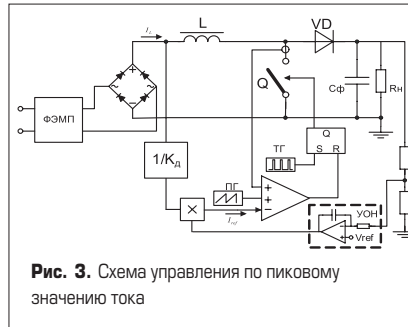
Преимущества данного метода:

- простая схема управления;
  - «мягкие» условия переключения силового диода VD;
  - малые динамические потери при открытии ключа Q.
- Недостатки:
- изменение частоты переключения в течение полупериода питающего напряжения и ее зависимость от нагрузки и входного напряжения;
  - возникновение режима разрывных токов, сопровождающегося значительными бросками тока при относительно большом его среднеквадратическом значении, что требует применения входного фильтра большой массы и габаритов и вызывает увеличение потерь при закрытии ключа Q.

Данный метод реализуют такие контроллеры, как TDA4817, TDA4818 (Siemens), UC1852 (Unitrode), L6560 (SGS-Thomson) и наиболее популярные MC33261 и MC33262 фирмы Motorola. Микросхема MC33262 является самой доступной по цене, кроме того, она широко распространена в продаже и не требует сложной схемы для реализации.

#### Метод управления по пиковому значению тока

Функциональная электрическая схема системы управления представлена на рис. 3. Открытие силового ключа осуществляется по сигналу от тактового генератора (ТГ). За закрытие ключа отвечает сигнал, полученный перемножением мгновенного значения эталонного входного напряжения, снимаемого с выпрямителя, и напряжения усилителя ошибки выходного напряжения (УОН). Этот сигнал сравнивается компаратором К с суммой сигналов с датчика тока и с источника пилообразного напряжения (ПГ) той же частоты, что и у тактового генератора. Таким образом, характер изменения потребляемого тока отличается от приведенного выше и имеет вид, представленный на рис. 4.



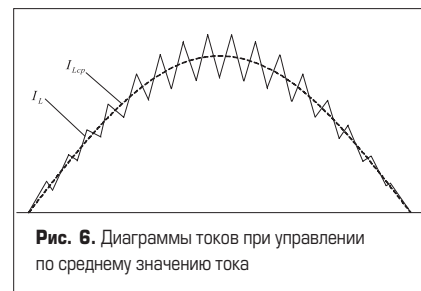
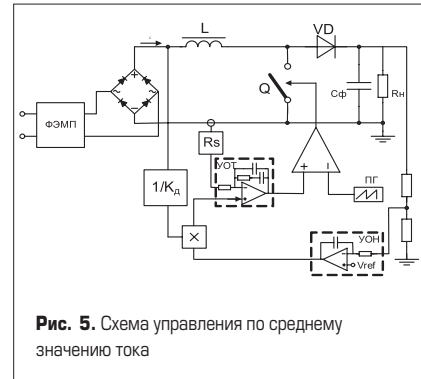
Преимущества данного метода:

- постоянная частота переключения;
  - режим безразрывных токов, сопровождающийся малыми выбросами тока при меньшем его среднеквадратическом значении, что позволяет применять малогабаритный входной фильтр;
  - необходимость только одного датчика тока, позволяющего ограничить пиковое значение тока дросселя в пределах каждого такта.
- Недостатки:
- искажения формы кривой входного тока, возрастающие при уменьшении нагрузки и при увеличении входного напряжения;
  - чувствительность к помехам, возникающим при коммутации;
  - жесткие условия закрытия силового диода, приводящие к увеличению динамических потерь и, как следствие, к высокому уровню высокочастотных помех.

Для реализации данного метода можно использовать контроллер ML4812 фирмы Micro Linear, а так же ML4819 того же производителя, выполняющий помимо функции коррекции КМ функции ШИМ-преобразователя. Микросхема ML4819 может стать удобным интегрированным решением для создания импульсного преобразователя со входным ККМ.

#### Метод управления по среднему значению тока

Функциональная электрическая схема ККМ представлена на рис. 5. Управляющий сигнал формируется усилителем ошибки по току (УОТ), который сравнивает сигнал с датчика тока с произведением мгновенных значений эталонного напряжения  $U_{ref}$  и напряжения усилителя ошибки выходного напряжения (УОН). Сигнал управления подается на ШИМ-модулятор. Он представляет собой компаратор К, сравнивающий этот сигнал с сигналом, поступающим с генератора пилооб-



разного напряжения (ПГ). Форма кривой потребляемого тока показана на рис. 6.

Преимущества метода:

- постоянная частота переключения;
  - режим безразрывных токов;
  - устойчивость к коммутационным помехам.
- Недостатки метода:
- относительно сложная схема управления, требующая включения датчика тока в цепь дросселя и наличия инверсного входа;
  - жесткие условия закрытия силового диода.

Для реализации данного метода производители предлагают на выбор контроллеры: UC1854/A/B, UC1855 (Unitrode), ML4821 (Micro Linear), TDA4815, TDA4819 (Siemens), L4981A/B (SGS-Thomson), LT1248, LT1249 (Linear Tech.). Кроме того, данный метод осуществляется при помощи микросхем ML4824 и ML4826 (Micro Linear), содержащих также логику ШИМ-преобразователя (в ML4826 — двухкаскадного) для реализации одновременно и преобразователя, и ККМ. Так же перспективна ИМС FAN4822 (Fairchild Semiconductor), имеющая средства для реализации метода переключения силового ключа по нулевому напряжению, который в зарубежной литературе получил название ZVS — Zero Voltage Switching или ZVT — Zero Voltage Transition. В этом случае можно построить ККМ со сниженными динамическими потерями и меньшим уровнем высокочастотных помех.

#### Метод разрывных токов с использованием ШИМ

Данный метод близок к «граничному» методу. Различие заключается в том, что открытие ключа Q осуществляется не по достижению нуля тока дросселя L, а по сигналу от тактового генератора (ТГ). В этом случае

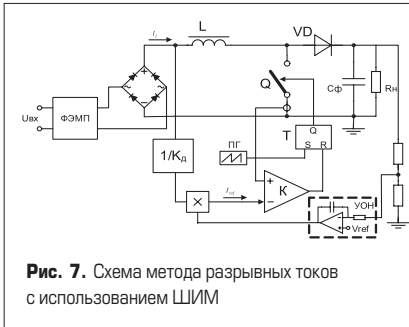


Рис. 7. Схема метода разрывных токов с использованием ШИМ

определенное время ток дросселя будет равен нулю, что и характеризует режим разрывных токов. Функциональная схема показана на рис. 7, а форма кривой тока — на рис. 8.

Преимущества:

- постоянная частота переключения;
- постоянное время открытого состояния ключа;
- простая схема ШИМ-управления;
- «мягкие» условия переключения силового диода.

Недостатки:

- режим разрывных токов;
- увеличенные масса и габариты ФЭМП.

Попрактиковаться в применении данного способа управления можно, например, с помощью контроллера ML4813 от Micro Linear.

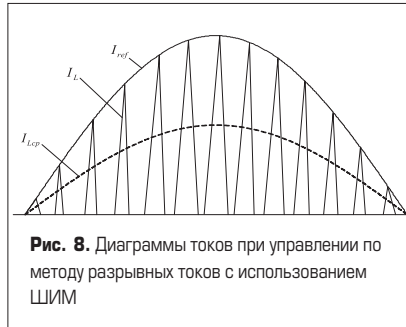


Рис. 8. Диаграммы токов при управлении по методу разрывных токов с использованием ШИМ

Как правило, трудно дать однозначный ответ, какая микросхема будет наиболее эффективна для применения в каждом конкретном случае. Так, например, MC33262 может быть предложена как недорогое решение, дающее неплохие результаты для большинства типичных применений. Если требуется высокая эффективность работы при большой мощности, чтобы преобразование происходило на высокой частоте (сотни килогерц), удачным решением может стать микросхема FAN4822. Кроме того, у нее есть возможность гальванически развязать «силовую землю» и «управляющую землю». Более сложная в создании и настройке схема ККМ на FAN4822. Она рекомендуется для преобразователей мощностью порядка 500 Вт и выше. Микросхема LT1248

полезна, например, когда требуется обеспечить синхронизацию тактов работы ККМ с другим устройством. Для создания ККМ с последующим ШИМ-преобразованием подойдут микросхемы ML4819, ML4824 и ML4826, однако следует учесть, что обеспечить минимальное взаимное влияние каскадов устройства проще, когда есть возможность разнести между собой на плате микросхему управления ККМ и микросхему ШИМ-преобразователя. В случае же выполнения обоих каскадов на одной микросхеме сделать это сложнее. ККМ на TDA 4817, как заявляет производитель, может обеспечивать работу нагрузки при подключении к сети 110 или 220 В без каких-либо дополнительных переключений (актуально, если существует перспектива экспорта разрабатываемой продукции).

В качестве сравнения на рис. 9–15 приведены принципиальные электрические схемы некоторых практических реализаций ККМ, рекомендованных производителями соответствующих микросхем. Естественно, этой информации будет недостаточно для построения ККМ — придется обратиться к документации на микросхемы в Интернете. Часть этой информации, переведенной на русский язык, можно найти в специальном справочнике [1]. Обращаясь к документации, следует помнить, что

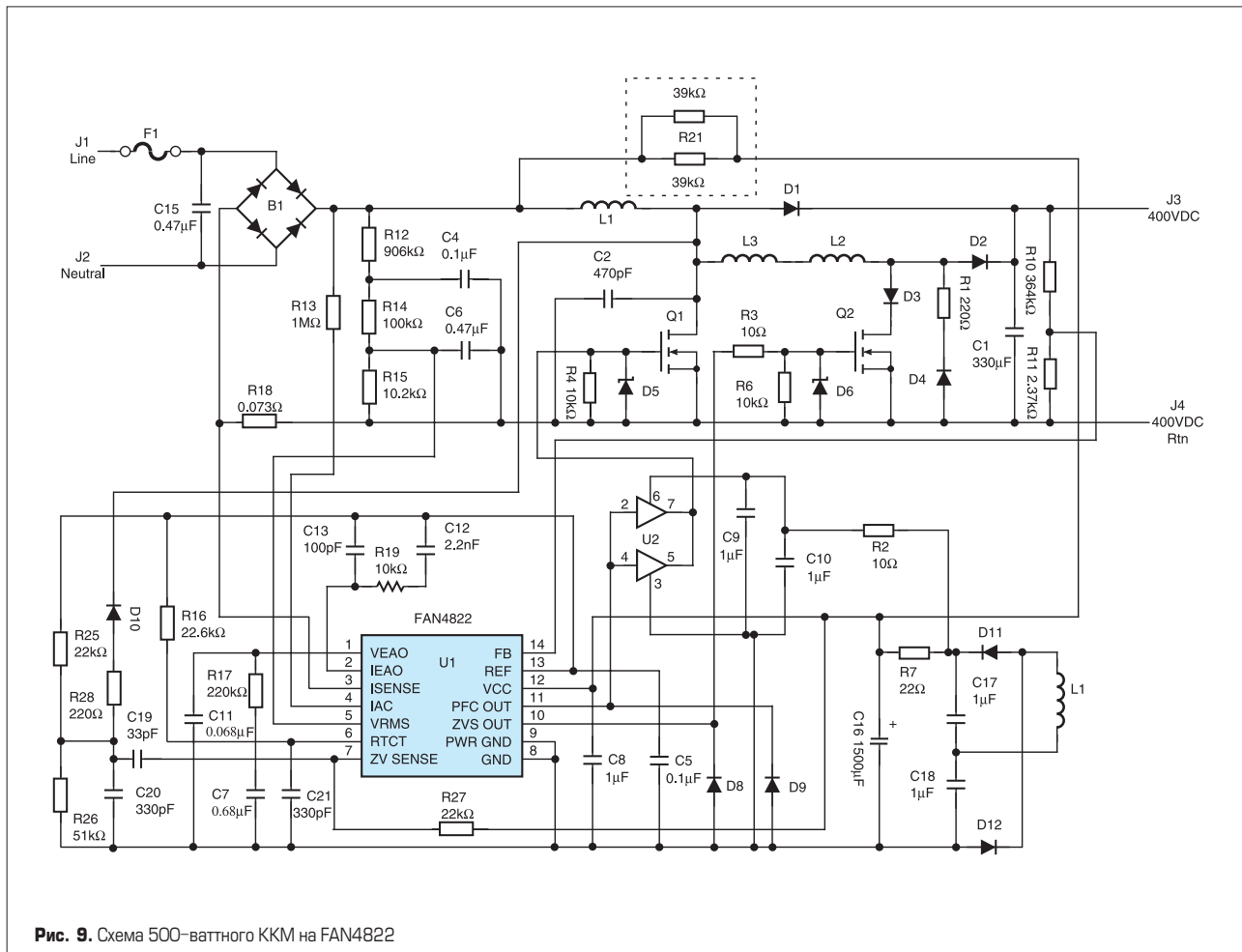


Рис. 9. Схема 500-ваттного ККМ на FAN4822

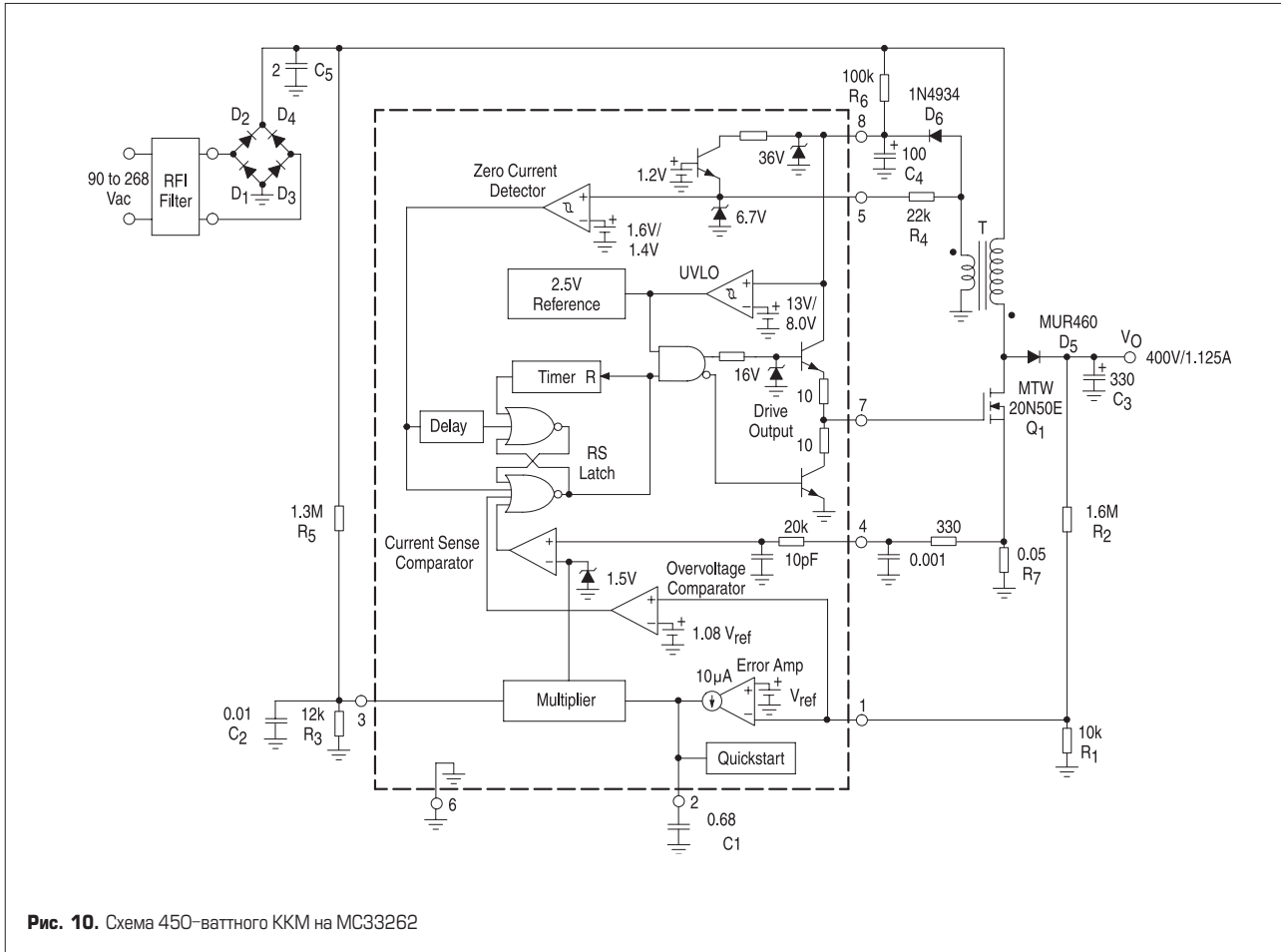
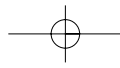


Рис. 10. Схема 450-ваттного ККМ на MC33262

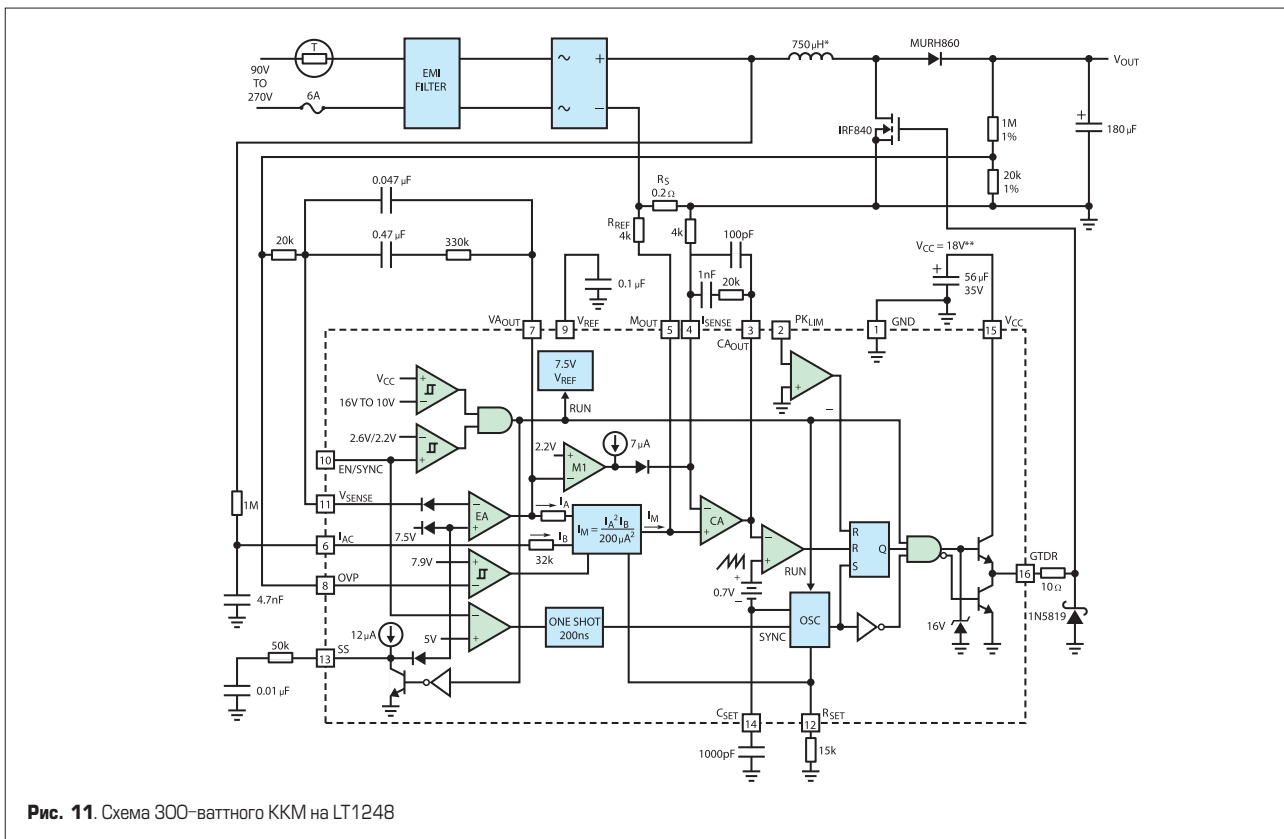
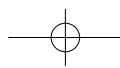


Рис. 11. Схема 300-ваттного ККМ на LT1248



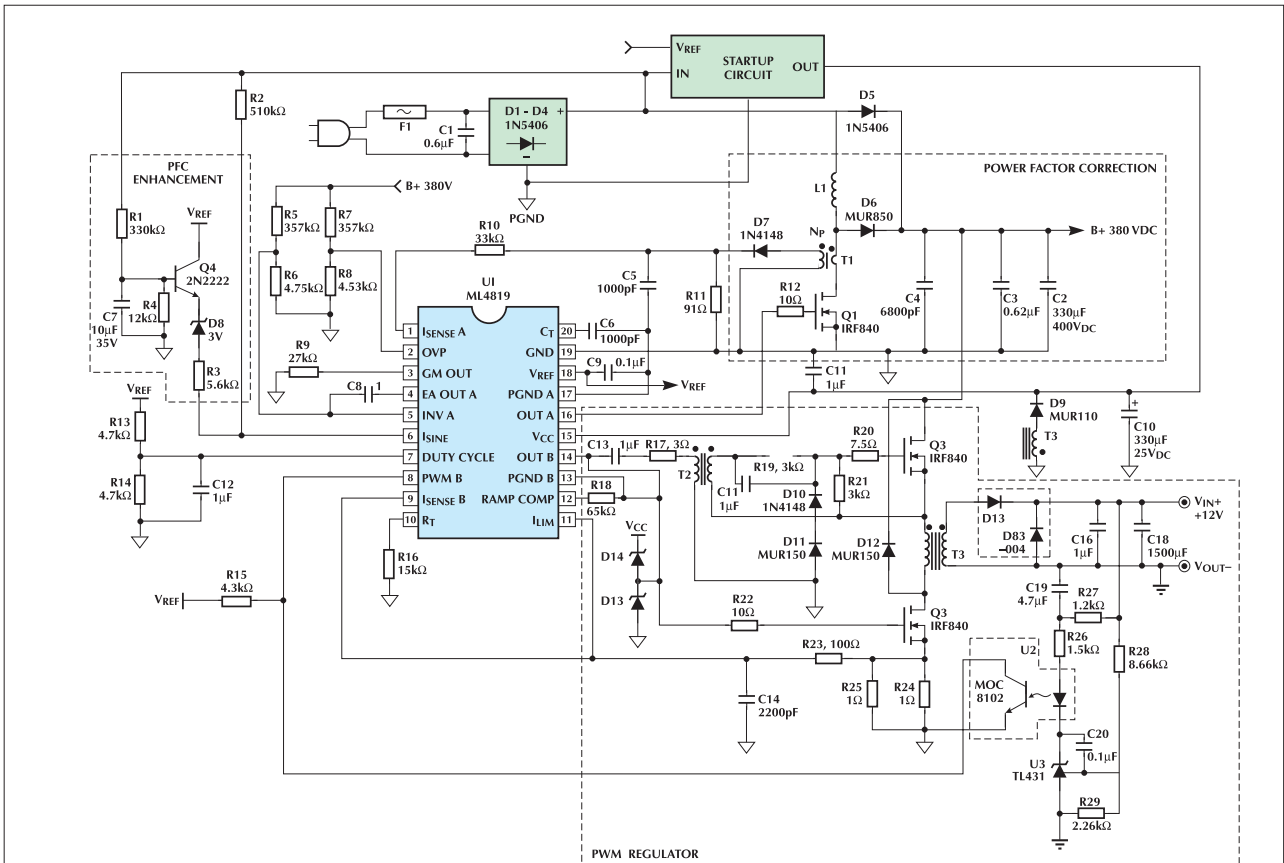


Рис. 12. Схема источника питания на 12 В и 180 Вт с ККМ на ML4819 (ML4819.pdf)

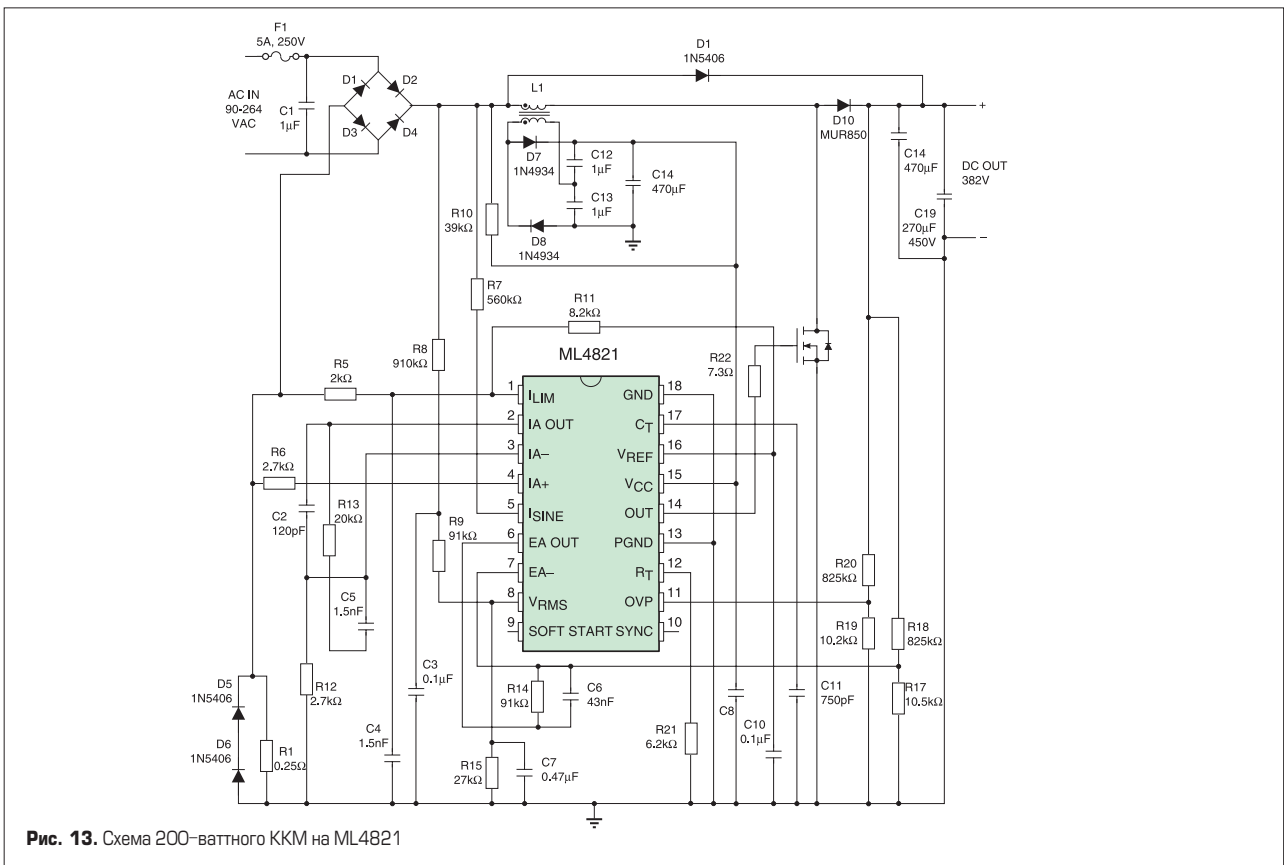


Рис. 13. Схема 200-ваттного ККМ на ML4821

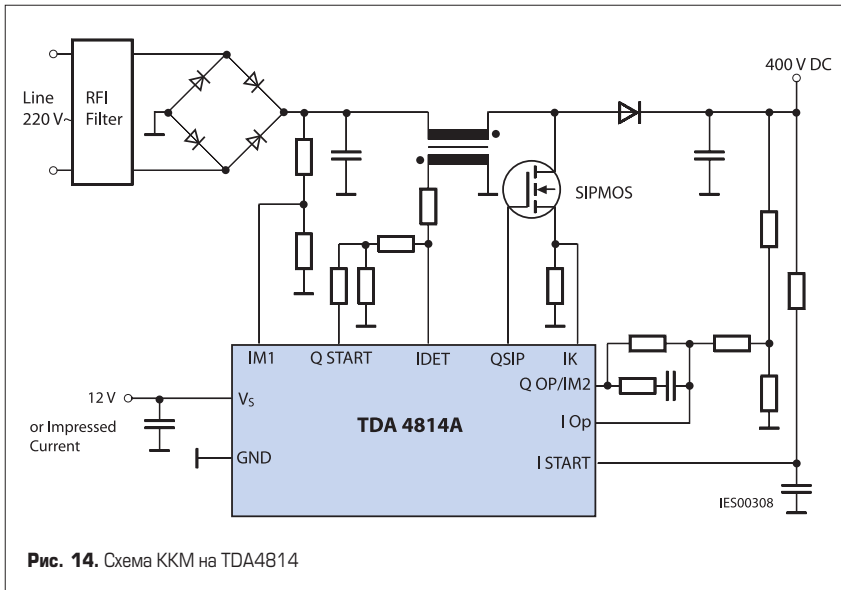
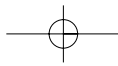


Рис. 14. Схема ККМ на TDA4814

ККМ — зачастую довольно сложное в настройке устройство, а предлагаемые производителями схемотехнические решения редко обеспечивают должные работоспособность и эффективность без дополни-

тельной доработки. Подбор параметров цепей обратных связей, выбор ФЭМП, параметров дросселя, реализация удовлетворительного для стабильной работы микросхемы питания, борьба с помехами и само-

возбуждением — с этими и другими задачами, свойственными устройствам силовой электроники, приходится сталкиваться при разработке ККМ. Возможно, приведенные схемы в совокупности с рассмотренными особенностями реализуемых методов управления помогут выбрать микросхемы для каждого случая, а также позволят читателям на основе сравнения выделить те или иные схемотехнические реализации отдельных цепей, которые окажутся полезными при синтезе ККМ.

Литература

1. Микросхемы для современных импульсных источников питания: Справочник. 2-е издание / Сост.: Э. Т. Тагворян, М. М. Степанов. М.: Додэка. 2000.
2. Семенов Б. Ю. Силовая электроника. М.: Солон-Р. 2001.
3. P. Tenti, G. Spiazzi. Tutorial on «Harmonic limiting standards and power factor correction techniques» // European Power Electronics and Drives Conference. Севилья, Испания. 1995.  
<http://www.dei.unipd.it/~pel/Articoli/1995/Epe/tutorial.pdf>

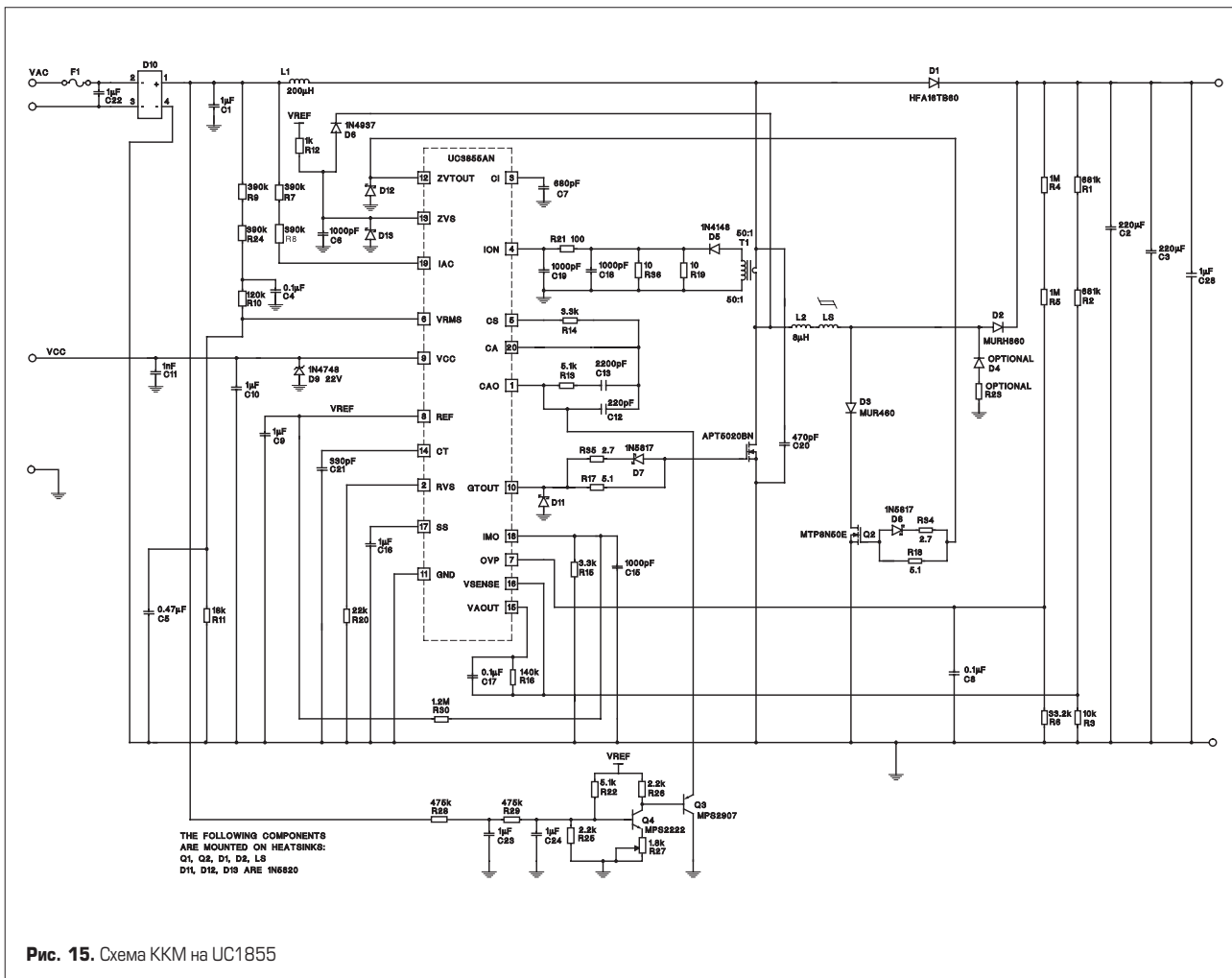


Рис. 15. Схема ККМ на UC1855

