

СХЕМА БАЛЛАСТА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАССИВНОЙ КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ (P.F.C.) И УПРАВЛЕНИЕ ПИК-ФАКТОРОМ.

Введение

Стандарты качества электрической мощности распространяется во всем мире с целью достижения максимальной эффективности использования всей производимой энергии. Ввод новых мощностей в дополнение к имеющимся связан с возрастающими трудностями и большими затратами из-за ограничений, накладываемых окружающей средой, поэтому ответственность за эффективное использование мощности ложится скорее на потребителей чем на производителей электроэнергии.

В сетевых конвертерах, к которым относятся электронные балласты, более не допускаются низкие значения коэффициента мощности и высокие гармоники тока, генерируемые в силовую электрическую сеть. Действительно, все виды аппаратуры, где они используются, от двигателей до телевизоров и компьютеров в настоящее время или в ближайшем будущем должны будут соответствовать требованиям качества мощности.

Обычно требуется, чтобы электронные балласты подчинялись техническим требованиям качества мощности, например стандарту IEC-1000-3, который устанавливает максимальные пределы гармоник токов до 39-ой гармоники.

Другие страны будут создавать технические требования качества мощности, аналогичные Европейскому стандарту IEC1000, поэтому ожидается, что мировой рынок осветительной аппаратуры будет иметь аналогичные требования.

1. Способы коррекции коэффициента мощности

Существуют два основных вида схем улучшения коэффициента мощности: активная и пассивная. Типичная схема активной коррекции коэффициента мощности генерирует стабилизированный постоянный ток, но с более высоким напряжением, чем максимальное пиковое напряжение источника переменного тока, и использует простую конструкцию с добавлением напряжения, показанную на рис. 1.

Конструкция с добавлением напряжения, представленная на рис. 1, может работать на постоянной высокой частоте с непрерывным током индуктора, или в режиме критической проводимости,

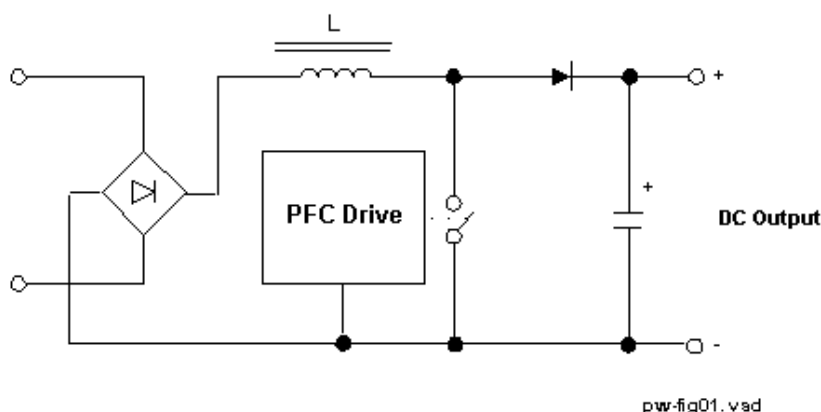
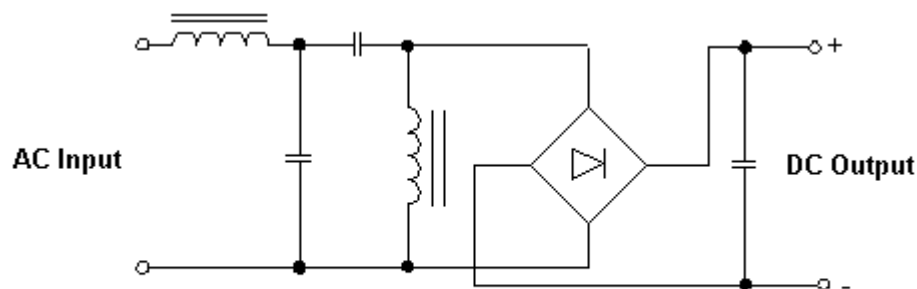


Рис. 1. Схема активной коррекции коэффициента мощности.

где допускается, что индуктор разряжается до нулевой энергии к началу нового цикла зарядки. Большая часть выпускаемых управляющих ИС относится к последнему типу. Схема активной коррекции коэффициента мощности полностью достигает гармонического соответствия, но

стоимость дополнительных схем часто бывает неприемлемой при массовом производстве недорогих балластов.

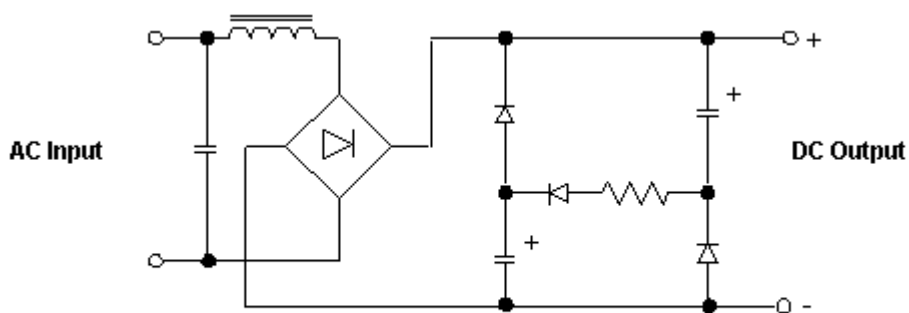
С другой стороны, схемы пассивной коррекции коэффициента мощности работают на промышленных частотах (50 или 60 Гц), используя конденсаторы и катушки индуктивности с сердечником из электротехнической стали, настроены на частоту напряжения сети питания в схемах фильтра нижних частот или полосового фильтра. К сожалению, физический размер и вес этих фильтров на промышленных частотах делает их непривлекательными, особенно, если учесть, что остальная часть балластных схем может быть меньше компонентов, чем в корректоре коэффициента мощности.



pw-fig02.vsd

Рис. 2. L-C схема пассивной коррекции коэффициента мощности.

Другой новый способ достижения улучшенного коэффициента мощности (более 95%) с использованием простой и недорогой схемы представлен на рис. 3.



pw-fig03.vsd

Рис. 3. 50 % ограничительная с заполнением схема пассивной коррекции коэффициента мощности.

В этой схеме конденсаторы фильтра заряжаются последовательно через диод и резистор в каждой полуволне выпрямленной сети переменного тока. Каждый конденсатор заряжается до половины пикового напряжения переменного тока минус три падения напряжения на диодах - два в мостовом выпрямителе, а одно на диоде между двумя конденсаторами. Назначение резистора - снизить пики на кривой тока при зарядке конденсаторов.

Поскольку каждый конденсатор заряжается до половины пикового напряжения переменного тока, то они питают выходной ток только после того, как напряжение на шине примет синусоидальную форму сигнала вплоть до $V_{peak}/2$. В это время конденсаторы по-прежнему являются параллельными и питают ток нагрузки до тех пор, пока входное выпрямленное переменное напряжение снова не превысит значение $V_p/2$ в следующей половине цикла. Скважность при разряде для этих конденсаторов составляет приблизительно 37% с последующим реактивным периодом, во время которого нагрузка питается непосредственно от выпрямленного входного переменного напряжения. На пике входного переменного напряжения существует дополнительный ток для подзарядки конденсаторов до V_{peak} . Величина и продолжительность этого тока зависит от глубины разрядки и параметра резистора в схеме зарядки.

L-C схема на клеммах источника питания переменного тока является фильтром выбросов от инвертора при переключении, которые обычно появляются в сети переменного тока. Кроме того, она сглаживает ступеньки на кривой тока в ограничивающей с двухсторон сигнал схеме пассивной коррекции коэффициента мощности.

Несмотря на то, что эта схема дает достаточно хорошее значение коэффициента мощности (более 0,95), а гармоники могут быть сглажены входным фильтром LC, основным недостатком этой схемы является 50% пульсация напряжения на шине, что в типичной балластной схеме приводит к значению пик-фактора выше 2,1.

Примечание: Производители ламп рекомендуют максимальное значение пик-фактора, равное 1,7, но даже оно может привести к некоторому уменьшению срока службы лампы.

В настоящее время производится много дешевых балластов, аналогичных тому, что приведен на рис. 4. Некоторые из них управляются автогенераторными драйверами, например IR 2153. В других используется известный запуск токовым трансформатором, однако все они имеют аналогичную форму сигнала тока лампы. Для таких приборов типичен ожидаемый срок службы лампы менее 5000 часов, даже если при поджиге лампы используется предварительный подогрев.

Примечание: При измерении тока лампы в этой схеме оба вывода катода пропускаются через токовый зонд. Ток нити лампы откалиброван и измеряется только истинный ток дуги лампы.

Очевидно, что ток лампы прямо пропорционален напряжению на лампе, а следовательно на шине. Срок службы лампы укорачивается не только за счет 50% пульсации напряжения на шине ограничивающей схемы пассивной коррекции коэффициента мощности, но и за счет изменений в истинном напряжении в сети переменного тока. Таким образом балласт, рассчитанный для обеспечения номинальной мощности на лампе при номинальном напряжении сети, реально будет обеспечивать либо недостаточную яркость свечения при пониженном напряжении сети либо пониженный срок службы лампы при повышенном напряжении.

Поэтому необходим дешевый балласт, который сохранит постоянный ток лампы во всем диапазоне значений напряжений сети переменного тока (~ 150 В - 270 В в некоторых районах мира) и включает в себя достаточно быструю схему считывания тока чтобы регулировать на частоте 120 Гц схему с 50% заполнением.

На рис. 4 предоставлена простой автогенераторный балласт, где частота переключения определяется значениями R_T и C_T и задается нижеследующим уравнением:

$$f_{i\delta} = \frac{1}{1,38 \cdot \tilde{N}_0 (R_T + 75 \hat{I})}$$

Схема на рис. 4 фиксирует частоту, но отсутствует предварительный разогрев катодов лампы и, следовательно не рекомендуется использование таких балластов в лампах для которых важен срок службы.

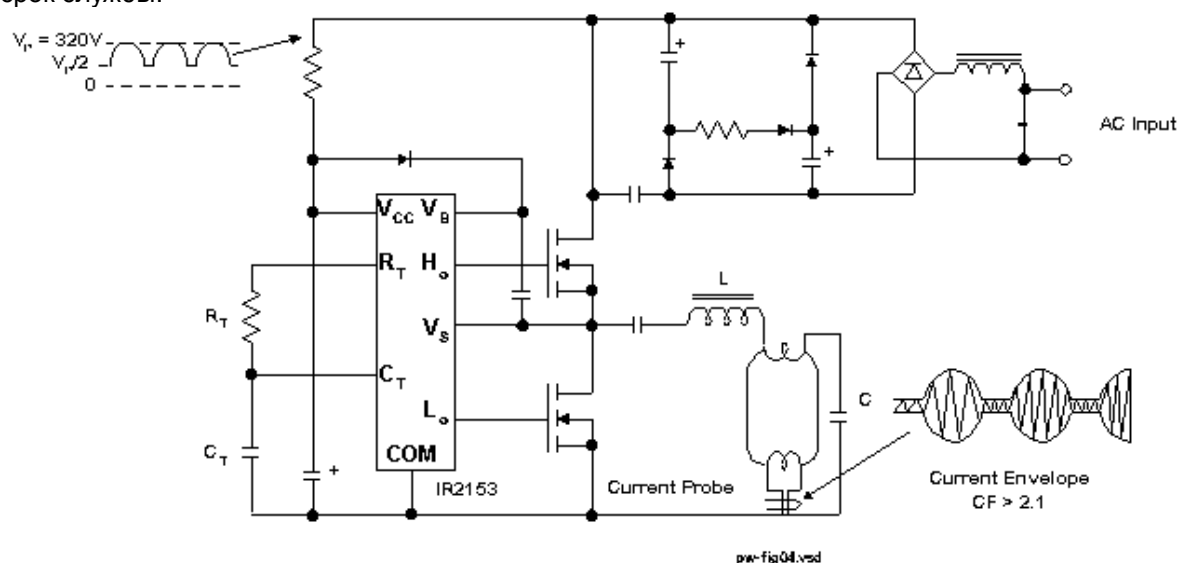


Рис. 4. Электронный балласт без регулирования пик-фактора.

Предварительный разогрев в балластах люминесцентных ламп может достигаться использованием частоты превышающей рабочую частоту тока в лампе в течение рассчитанного периода времени, обычно около 1 секунды, а затем путем снижения частоты в направлении резонанса для зажигания ламп с нагретыми катодами.

Схема генератора, представленная на рис. 5, обладает этой возможностью, если опорное напряжение приложено к времязадающему конденсатору. Последующее описание принципа действия схемы реализацию этой возможности.

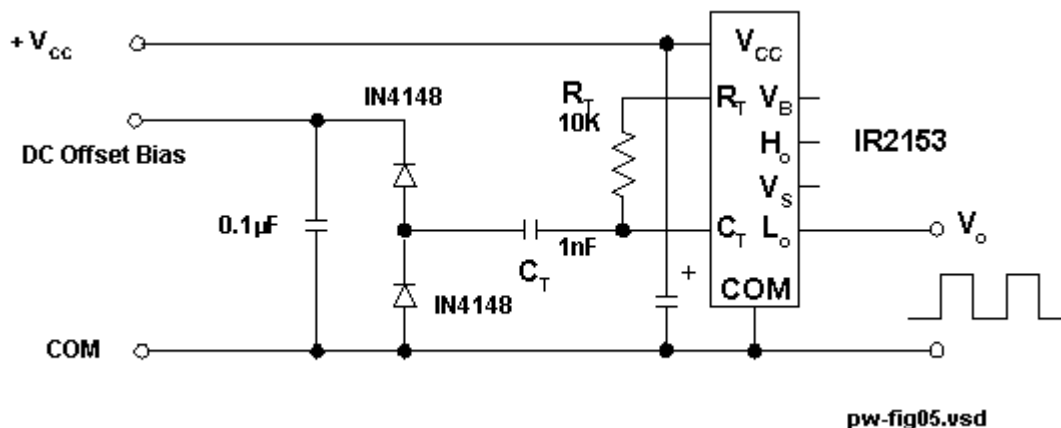


Рис. 5. Управление частотой смещающим опорным напряжением.

2. Работа генератора, управляемого напряжением, с использованием управляющих ИС IR215x.

ИС IR2155, 2151, 2152, 2153 являются автогенераторными драйверами со сдвигом уровня, включающими генератор аналогичный всегда популярный ИС таймера серии 555.

Этот генератор использует времязадающий конденсатор и резистор и переключается когда конденсатор заряжается и разряжается до напряжений $1/3 V_{cl}$ и $2/3 V_{cc}$. Все управляющие ИС IR215x имеют внутренний зенеровский уровень V_{cc} около 15,6 В (постоянное напряжение), поэтому истинные уровни переключения выводов C_T составляют 5,1 и 10,2 В, соответственно, а это означает, что времязадающий конденсатор заряжен и разряжен при напряжении 10,2 - 5,1 В = 5,1 В при достижении напряжений переключения.

При добавлении переменного опорного напряжения к времязадающему контуру, истинное изменение напряжения на времязадающем конденсаторе синхронизации уменьшается на величину этого опорного напряжения. Таким образом, если опорное напряжение составляет, например, 3 В, то конденсатор заряжается и разряжается в диапазоне значений 5,1-3=2,1 В, поэтому очевидно, что для процесса где ΔV равно 2,1 В, потребуется меньше времени, чем когда ΔV равно 5,1 В.

Поскольку R_T и V_{cc} являются постоянными, то можно легко видеть, что время достижения уровней переключения 5,1 и 10,2 В уменьшается примерно на 60%, следовательно, частота переключения также должна возрасти на 60%.

Кроме того, очевидно, что опорное напряжение переменного тока равно опорному смещению постоянного тока + $2V_F$ диода IN 4148. Отметим также, что при изменении опорного смещения постоянного тока, нижний вывод C_T принимает значение смещения постоянного тока, но на возросший заряд это не влияет.

Графики рис. 6 представляют собой экспоненциальные кривые, зависимости заряда на C_1 , когда заряд идет через R_1 от фиксированного напряжения V_{cc} . Вследствие этой нелинейности метод управления с помощью опорного напряжения не подходит для применения в разомкнутом контуре, в котором необходимо использовать часть выпрямленного напряжения рис. 4 в качестве управляющего параметра.

Однако, когда используются схемы с замкнутым контуром, где управляемым параметром является ток лампы, нелинейность становится переменной второго порядка малости, при условии, что существует достаточно большой коэффициент усиления обратной связи, чтобы подавить эффекты второго порядка.

С точки зрения температурной стабильности два диода в схеме опорного сигнала стремятся уменьшить опорный сигнал переменного тока при высокой температуре, немного снижая таким образом частоту. Этот сдвиг может быть скомпенсирован выпрямлением формы кривой тока

лампы с помощью аналогичного диода, который стремится увеличить напряжение считывания постоянного тока, а с ним и рабочую частоту.

Схема, представленная на рис. 7, показывает, каким образом это достигается когда температурный коэффициент близок к нулю. Используя вышеописанный метод управления, можно спроектировать балласты для люминесцентных ламп с коэффициентом мощности выше 0,95, с ТНД (полный коэффициент гармоник) менее 15%, пик-фактором менее 1,7 без дополнительного усложнения и значительного увеличения цены конструкции за счет применения активного повышающего корректора коэффициента мощности и возможностью адаптации к широкому диапазону входного напряжения, т.к. управляемым параметром является только ток лампы.

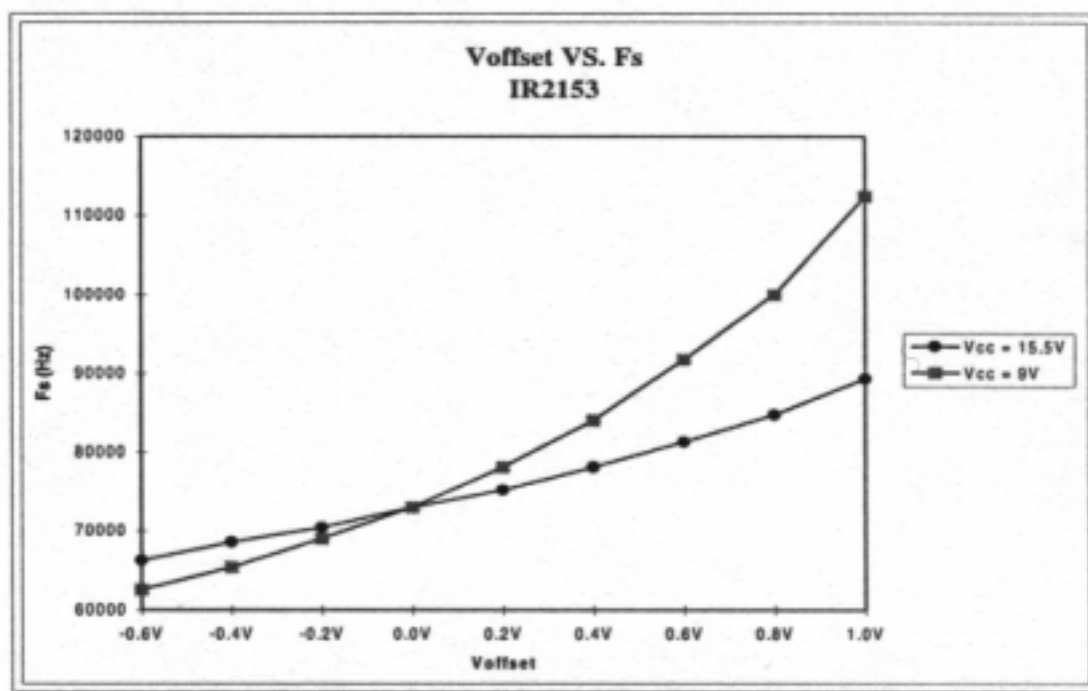


Рис. 6. Зависимость частоты от компенсирующего смещения ДС.

Конечно, поскольку ток лампы регулируется этой схемой, необходим лишь небольшой шаг по замене резистора-датчика изменяющегося тока для реализации регулирования яркости лампы, которая сохраняя состояние предварительного разогрева дополнительно может быть зажжена и будет работать в режиме регулирования освещенности.

Схема на рис. 7 работает в очень широком диапазоне входного напряжения переменного тока и обеспечивает яркости. Ограничительная с 50% заполнением схема пассивной коррекции коэффициента мощности, представленная на рис. 3, используется для запитывания положительной шины, имеющей размах пульсирующего напряжения от 160 до 330 В при удвоенной промышленной частоте.

Небольшой трансформатор тока используется для считывания тока дуги лампы, и несмотря на то, что на рис. 7 это выглядит сложно, он реально является просто тороидом с одной обмоткой и с обоими катодными выводами, проходящими через тороид с образованием одновитковых противофазных обмоток. При работе противофазные обмотки подавляют токи катодов лампы, оставляя только ток дуги в качестве измеряемого параметра. Сам тороид представляет собой малый ферритовый сердечник, такой, какие используются в балластных схемах с трансформаторным возбуждением, стоимостью около 0,1\$.

Вторичная обмотка создает напряжение на резисторе 2,7 К, пропорциональное току лампы, и это напряжение используется в качестве опорного смещения для управления частотой генератора, как описано на рис. 5.

Постоянная времени схемы управления составляет менее 100 мс, что достаточно для регулировки вида кривой тока к мгновенным значениям 50% заполненного ограниченного напряжения. Управляющая цепь помогает достичь значения пик-фактора лампы ~ 1.6, по сравнению со значением выше 2.1 без регулировки тока лампы.

Примечание: Температура нити поддерживается главным образом током дуги при стационарном режиме работы.

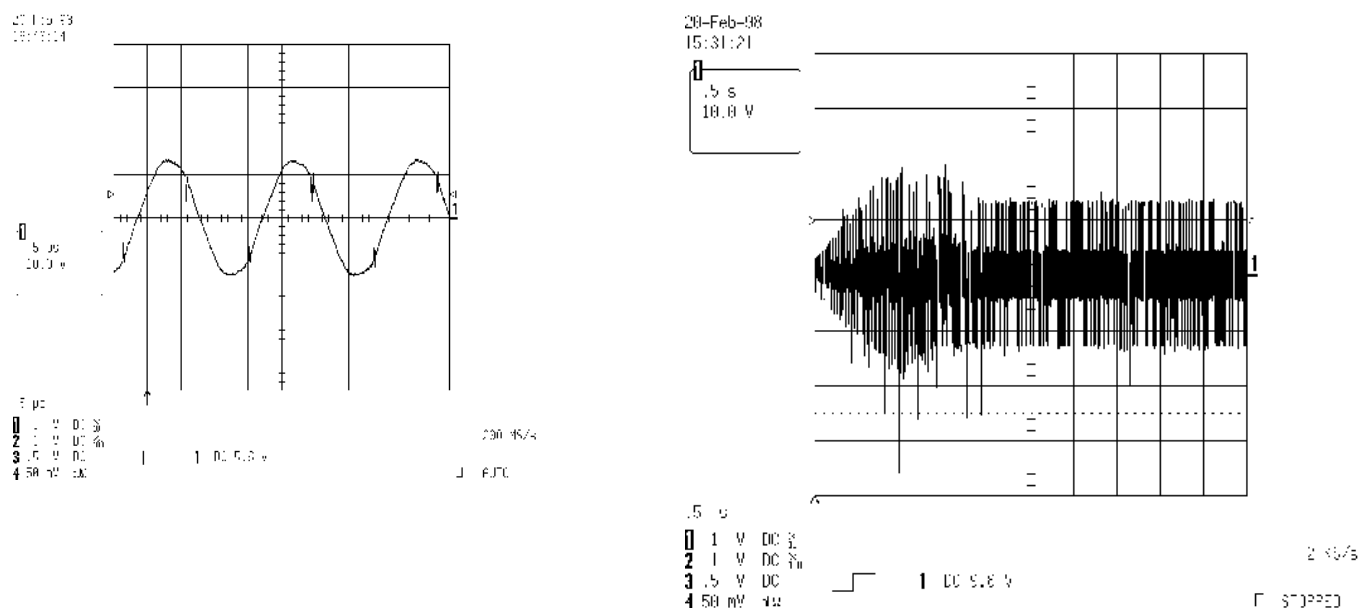


Рис. 8. Зависимость напряжения на нити от времени. Мягкий поджиг после прогрева в течение 1,25С

Из рис. 8. Видно, что отсутствует большой выброс тока при старте лампы, что помогает удлинить срок службы лампы. Форма кривой тока лампы на рис. 9. показывает расширение в точке поджига и постепенное увеличение тока вплоть до стационарного режима. Кроме того, показано регулирование тока лампы в зависимости от больших пульсаций 120 Гц на выходе полумостового инвертора. Измерения формы кривой тока дают значения пик-фактора меньше 1,63, где:

$$CF (\text{пик-фактор}) = \text{Пиковый ток} / \text{Действующее значение тока} = 130 \text{ мА} / 180 \text{ мА} = 1,625$$

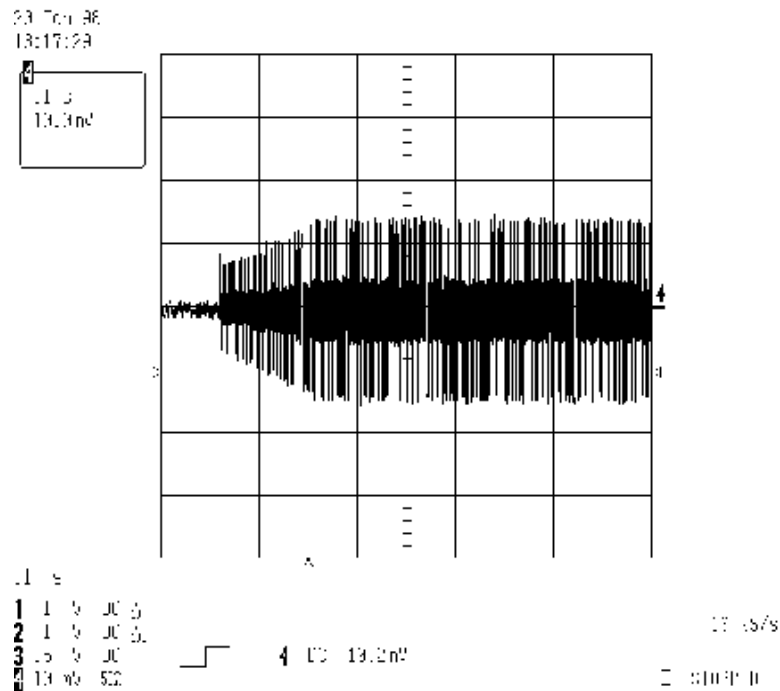
Значения пик-фактора менее 1,7, которые рекомендуются производителями ламп, максимально связанные с мягким стартом, как показано в этом балласте, приводят к максимальному ожидаемому сроку службы лампы.

На рис. 9. отмечено 50%-ное напряжения пульсаций на выходе инвертора. Сравним это с верхней кривой тока. Показанный ток лампы управляется колебанием частоты, как описано в данной статье по применению. Эта форма кривой тока определяет ток в лампе с пик-фактором, равным 1,625.

4. Работа при напряжении сети переменного тока 100 В - 120 В

Основной проблемой в работе балласта при напряжении сети переменного тока 100 В - 120 В является необходимость повышения напряжения на лампы выше напряжения сети. Необходимо обязательно использовать методы для повышения высокой частоты источника питания лампы. Одним из таких методов является использование повышающего трансформатора, но это значительно увеличивает стоимость. Другой метод использует добротность Q цепи лампы для повышения напряжения при частотах, немного превышающих резонансную частоту. В случае схем с разомкнутым контуром, в которых не используется управление с обратной связью, стабилизация этой рабочей точки является почти невозможным. Тем не менее, когда используется регулирование тока лампы при уменьшенных напряжениях на шине формируемой из сетевого напряжения переменного тока 120 В, рабочая точка может быть стабилизирована, но на нижней границе напряжения может быть недостаточная добротность Q схемы для поддержания надежной работы и гашения лампы.

Для балластов, используемых с лампами, требующими более высокого рабочего напряжения, чем напряжение сети переменного тока, следует использовать схему активной повышающей коррекции коэффициента мощности.



Изменение тока лампы до установившегося значения после мягкого поджига

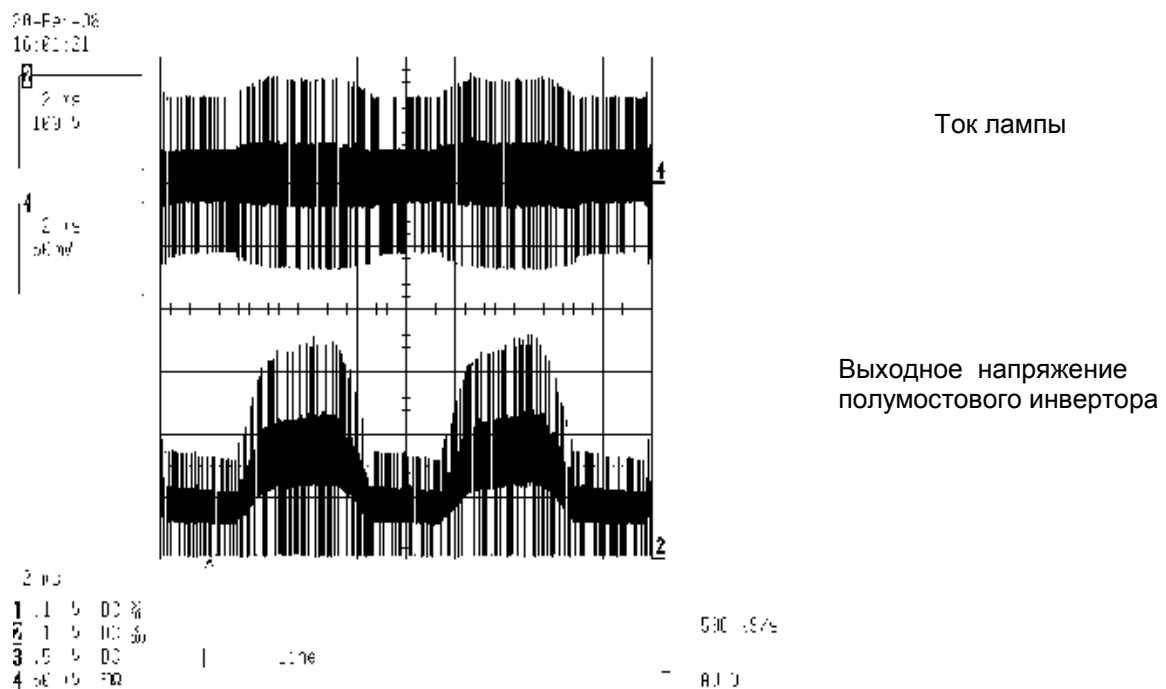


Рис.9 Ток лампы

имеют трубки малого диаметра и полная длина дуги также мала. Эти лампы обычно работают в диапазоне действующих значений напряжения 80-100 В и поэтому подходят для использования в случае метода управления током с ограниченным заполнением, работающим от переменного напряжения сети ~100-120 В. Компактный балласт такого типа может работать от универсальных сетевых входов от 85 В до 280 В переменного тока, используя 500-вольтовые МОП ПТ, хотя при этом появляется расплата в виде $R_{DS(on)}$ при нижних входных напряжениях. Поэтому преимущественно следует проектировать для специфического диапазона входных напряжений, например, от ~85 до 130 В или от ~180 до 280 В.

Независимо от типа схемы коррекции коэффициента мощности (активной или пассивной), регулирование тока лампы обеспечивает лучшую работу лампы, а следовательно, более продолжительный срок службы лампы.