

Илья Голубев | Golubev.i.a@gmail.com

# Снижение пульсаций

## в безындуктивных драйверах СИД

**В последнее время для питания светодиодных светильников все чаще предлагают использовать так называемые безындуктивные драйверы, которые имеют очевидные преимущества, такие как простая схема включения, легкая и надежная процедура инженерного расчета и проектирования, низкий уровень помех и т. д. Но у них есть и существенные недостатки. Обычно выделяют две проблемы: отсутствие гальванической развязки между питающей сетью и нагрузкой драйвера и высокий уровень пульсаций светового потока. Именно вопросу снижения пульсаций в безындуктивных драйверах посвящена данная статья. В качестве примера драйвера представлена микросхема DR3062.**

Как уже было сказано, при использовании безындуктивных драйверов возникают две основные проблемы — это гальваническая развязка и пульсации. Первый вопрос решается скорее механическими или конструкционными приемами и в рамках данного материала не рассматривается. Второй вопрос несколько сложнее. Для этого придется использовать электронные или электротехнические устройства. Однако прежде чем перейти к описанию возможных решений, остановимся подробнее на определении безындуктивного драйвера. Само название «безындуктивный драйвер» является дословным переводом английского выражения “Inductor Free Driver”. До недавнего времени выражение не было стандартизировано, однако именно оно обычно встречается в описании новых продуктов, предназначенных для управления светодиодами, и означает драйвер, построен-

ный без применения индуктивности. Строго говоря, под такое определение попадает весьма широкий спектр технических решений. Приведем список наиболее распространенных подходов:

- резистивный балласт;
- реактивный, естественно, емкостный, он же конденсаторный балласт;
- активный, чаще всего транзисторный, балласт (транзисторный стабилизатор тока);
- схемы на основе переключаемых конденсаторов, Charge Pump;
- схемы коммутации нагрузки, т. е. групп светодиодов.

Конечно, есть и другие типы безындуктивных драйверов светодиодов. Но они пока относительно редки, поэтому здесь не упоминаются. Наконец, существует, пожалуй, самый распространенный тип драйвера, про который написано самое большое количество теоретических и практических материалов, — импульсный, SMPS, Switch Mode Power Supply. Но он содержит тот или иной индуктивный компонент и, следовательно, в интересующую нас категорию не попадает.

Из оставшихся вариантов самым любопытным на данный момент представляется решение с коммутированием нагрузки, то есть светодиодов. И именно его мы рассмотрим в качестве примера — Inductor Free Driver. Тем не менее предполагается, что изложенные ниже соображения применимы и для резистивного балласта, и для активного стабилизатора тока на транзисторе.

Итак, коммутирующий нагрузку светодиодный драйвер. Хотя этот тип продуктов занимает целый сегмент, самих примеров подобных продуктов данного типа не так много. Пожалуй, наиболее известный из них — Acrich2 от компании Seoul Semiconductor [1]. Внешний вид типичного изделия серии приведен на рис. 1.

Обратим внимание, что это готовый к использованию светодиодный модуль со встроенным безындуктивным драйвером. Собственно драйвер — это микросхема с выводами по всем четырем сторонам, по три штуки на каждой. В первую очередь нас интересует не модуль, а указанная микросхема. К сожалению, приобрести микросхему на рынке электронных компонентов Москвы непросто, равно как и получить техническую документацию на ее последние версии.

Другой пример безындуктивного светодиодного драйвера — TPS92411 производства Texas Instruments [2]. Это именно микросхема, предназначенная для построения драйвера. Несомненно, в данное решение заложены очень интересные технические идеи. Прежде всего, разные по численности группы светодиодов, что позволяет при относительно небольшом числе каналов, скажем трех, иметь значительное число режимов функционирования, например, восемь. Схема построения такого драйвера не самая простая (рис. 2).

Тем не менее это светодиодный драйвер, не использующий индуктивные элементы, то есть безындуктивный драйвер.

Наконец, третий пример безындуктивного драйвера — микросхема DR3062 производства тайваньской компании «Интегрейт Кристалл Технолоджи» (рис. 3) [3]. Принцип функционирования микросхемы схож с другими безындуктивными драйверами. Когда мгновенное напряжение в сети велико и близко к своему максимуму, все имеющиеся в наличии светодиоды включены последовательно и питаются от сети. По мере снижения мгновенного напряжения сети, датчики тока микросхемы регистрируют, что ток через диоды уменьшился, логическое устройство принимает решение, и высоковольтные ключи шунтируют часть диодов. При этом сокращается число нешунтированных диодов, которые продолжают питаться от сети. Микросхема имеет шесть каналов, соответственно, все светодиоды должны быть разделены на шесть групп. Следующая схема поясняет принцип функционирования (рис. 3).

На ней видны шесть групп светодиодов. Следует иметь в виду, что одна группа может быть образована множеством обычных светодиодов, включенных последовательно. Кроме того, несколько кристал-

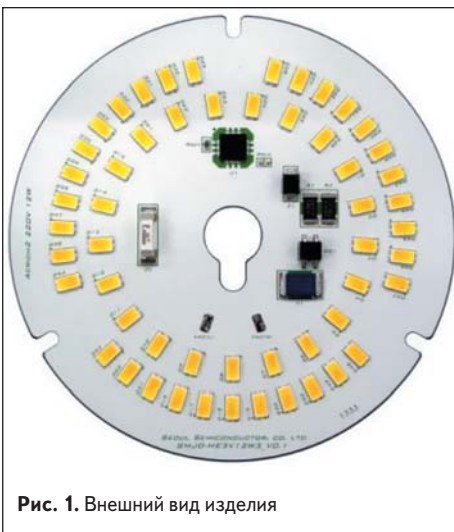


Рис. 1. Внешний вид изделия

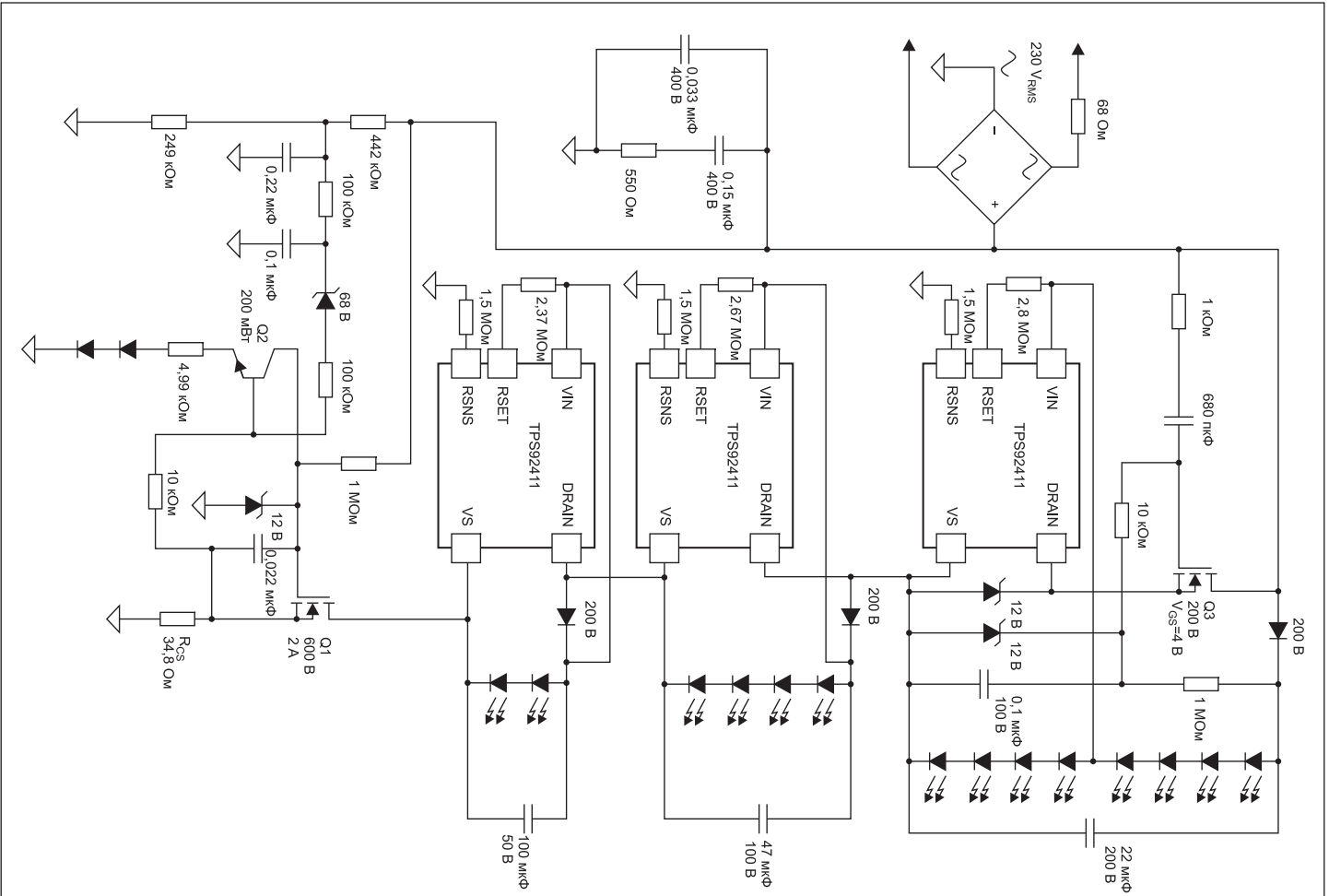


Рис. 2. Схема построения драйвера

лов может быть объединено в одном корпусе, образуя так называемый высоковольтный диод. На схеме такая группа обозначена как High Voltage LED, HV LED. Стабилизаторы тока построены на полевых транзисторах. Управление стабилизаторами тока введено через затворы. Логика работы вполне понятна, в каждый конкретный момент активен один канал. Для определенности

положим, что ток течет через канал 3. Логическая схема держит закрытыми каналы 1 и 2, поскольку в их участии нет необходимости. Каналы 4, 5 и 6 открыты, но мгновенного напряжения питания хватает только для канала 3. В остальные каналы ток не течет. Допустим, мгновенное напряжение питания увеличилось, и появился ток в канале 4. Теперь канал 3 оказался лишним, логическая схема

фиксирует ток в 4-м канале и закрывает 3-й канал. Если теперь мгновенное напряжение питания уменьшится и его перестанет хватать для 4-го канала, логическая схема заметит нехватку тока в 4-м канале и снова откроет 3-й канал, поддерживая таким образом соответствие между фактическим мгновенным питающим напряжением и номером активного канала.

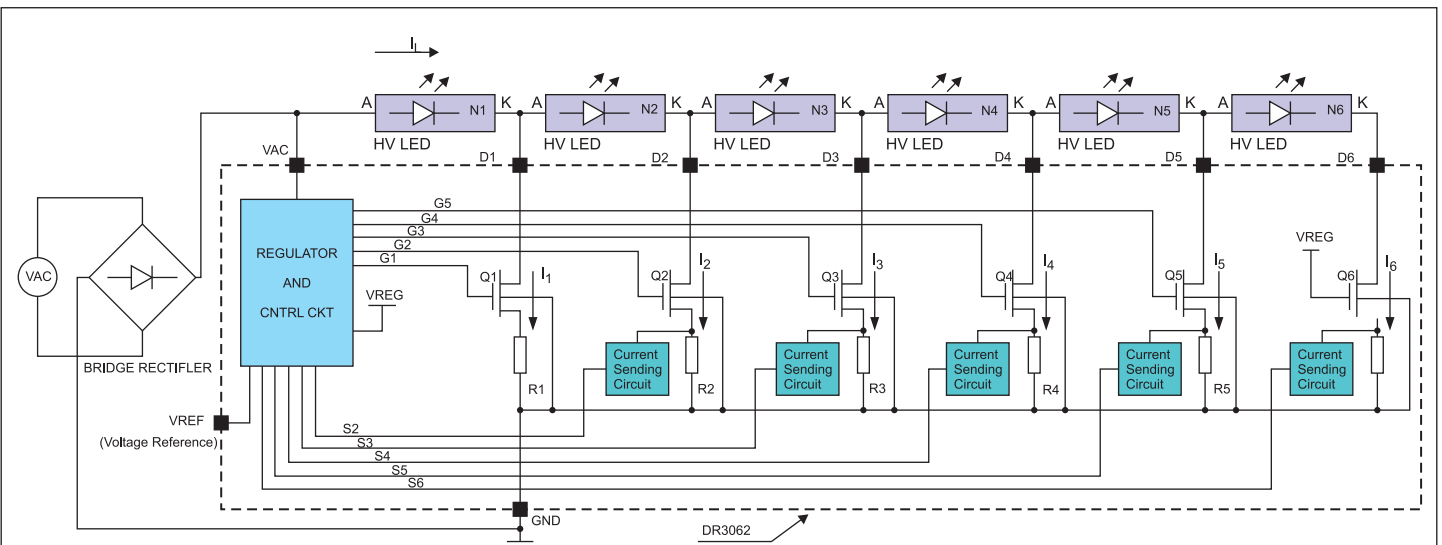


Рис. 3. Пример безындуктивного драйвера

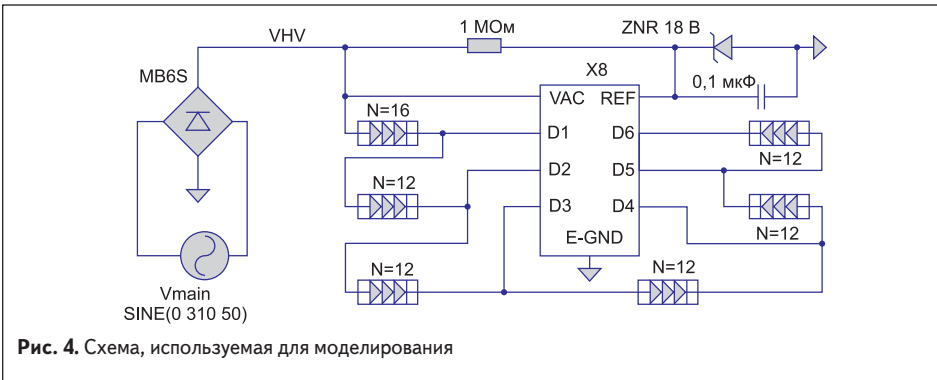


Рис. 4. Схема, используемая для моделирования

Для анализа работы будем использовать схему рис. 4.

Это практически минимальная рабочая конфигурация. Изображенный на схеме источник переменного тока является эквивалентом осветительной сети 220 В/50 Гц. На схеме отсутствуют фильтр импульсных помех и подавитель высоковольтных импульсов. Фильтр для такого типа драйверов не очень важен, а подавитель в практической схеме обязателен.

К каждому каналу микросхемы подключена группа светодиодов. Количество элементов в группе обозначено рядом. Можно использовать другие распределения диодов по группам, но важно соблюдать общее количество светодиодов. Для анализа работы предназначено программное обеспечение LTspice [4]. Модель микросхемы упрощена до минимального функционального уровня.

Для начала посмотрим выпрямленное напряжение и потребляемый ток в пределах одного периода. Соответствующие графики приведены на рис. 5.

Зеленая кривая — напряжение после выпрямительного моста. Синий график — ток источника питания, на нем хорошо видны продукты переключения каналов микросхемы, которые, впрочем, практически не создают помех (рис. 5). Вблизи нулевого входного напряжения устройство, естественно, имеет нулевой потребляемый ток. При низких мгновенных напряжениях потребляемый ток составляет около половины от номинального значения — такова особенность первого канала микросхемы. В остальное время ток номинальный.

Ток через светодиоды имеет более сложную форму. Когда одна группа пропускает макси-

мальный ток, другая может быть обесточена. Для того чтобы оценить эффективный ток через диоды, усредним токи каждой группы диодов с весовыми коэффициентами, пропорциональными количеству элементов в группе. Выражение для вычисления тока имеет примерно следующий вид:

$$I_{\text{эфф}} = (I_{\text{LED1}} \times 16 + I_{\text{LED2}} \times 12 + I_{\text{LED3}} \times 12 + I_{\text{LED4}} \times 12 + I_{\text{LED5}} \times 12 + I_{\text{LED6}} \times 12) / (16 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12).$$

На рис. 6 приведена форма эффективного тока.

Эффективный ток через светодиоды отчасти повторяет потребляемый ток. Но поскольку с изменением напряжения ступенчато меняется количество задействованных светодиодов, то и эффективный ток меняется ступеньками. Кроме того, очевидно, что ток через диоды, а значит, и излучаемый световой поток падает до нуля с частотой 100 Гц. Как сказано в [5], светильник с такими характеристиками пригоден в первую очередь для нежилых помещений общего пользования.

Далее, предположим, мы хотим улучшить характеристики этого драйвера. Добавим в схему фильтрующий конденсатор емкостью 3,3 мкФ сразу после мостового выпрямителя. Конечно, пульсации выпрямленного напряжения и эффективного тока через диоды существенно сократились, что отражено на рис. 7.

Синий график — напряжение после выпрямительного моста, зеленый — эффек-

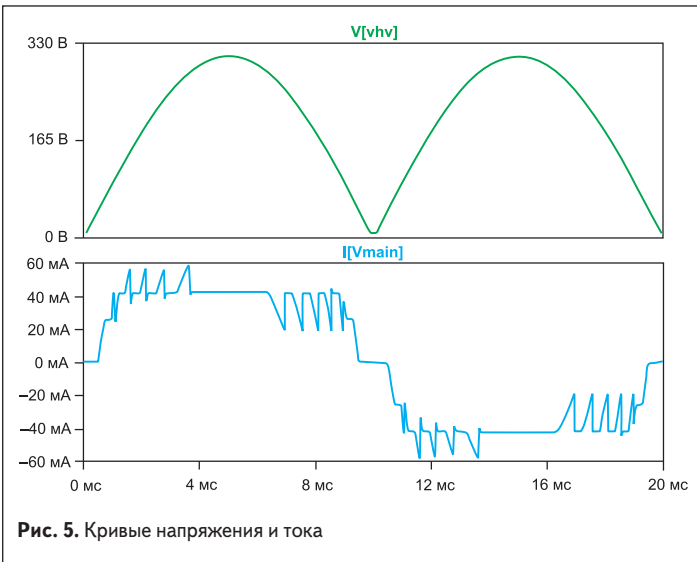


Рис. 5. Кривые напряжения и тока

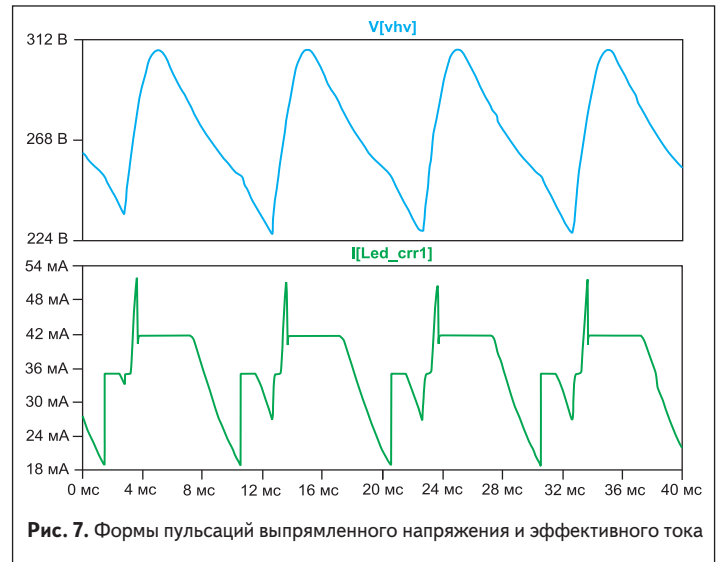


Рис. 7. Формы пульсаций выпрямленного напряжения и эффективного тока

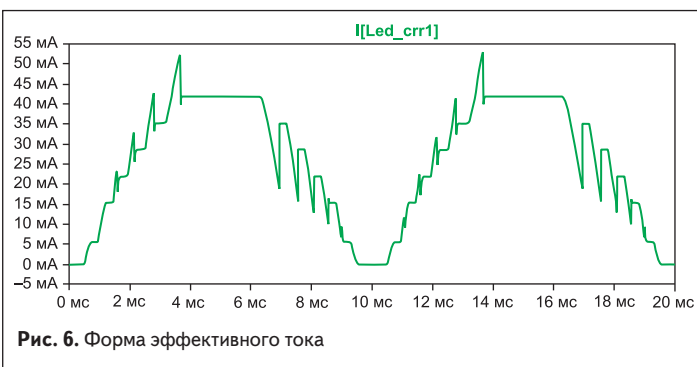


Рис. 6. Форма эффективного тока

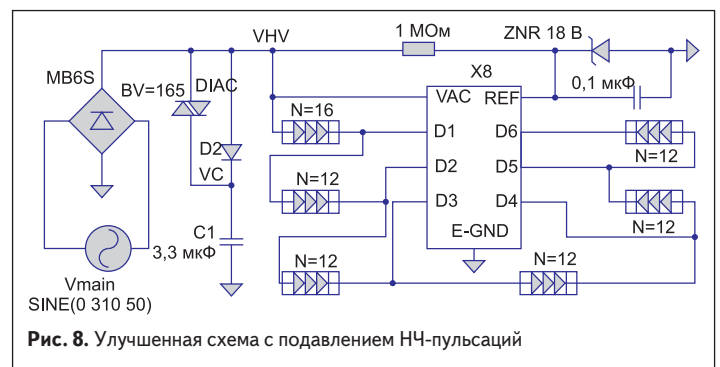


Рис. 8. Улучшенная схема с подавлением НЧ-пульсаций

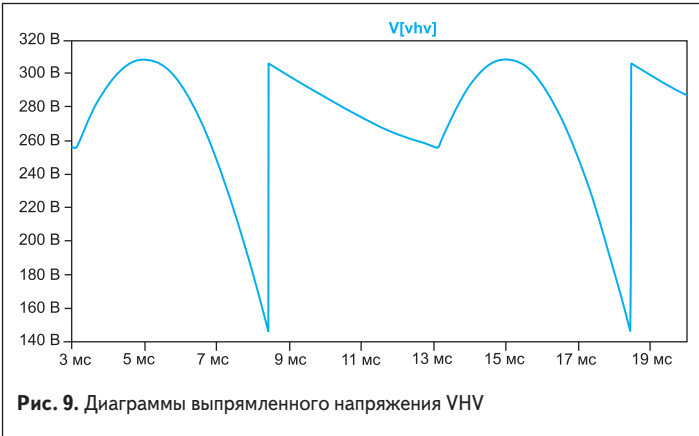


Рис. 9. Диаграммы выпрямленного напряжения VHV

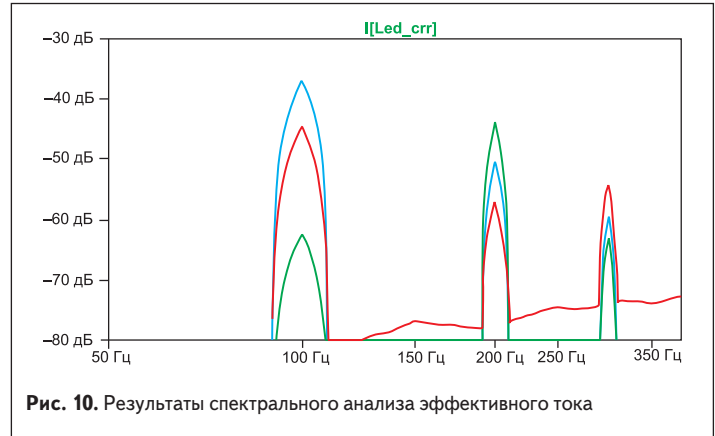


Рис. 10. Результаты спектрального анализа эффективного тока

тивный ток через светодиоды (рис. 7). Проблема состоит в том, что и 100% пульсаций без конденсатора, и около 50% пульсаций с конденсатором вынуждают отнести светильник к одному и тому же типу. Хотя мы и улучшили пульсации, внося в схему крупногабаритный и относительно дорогостоящий компонент, для жилых помещений такой светильник практически не применим. Из того же источника [5] известно, что высокочастотные пульсации оказывают существенно меньшее воздействие, чем низкочастотные. То есть если мы не можем сократить пульсации светового потока, попробуем сместить их в более высокочастотную область спектра, где они будут незаметны и безвредны. Для этого используется схема, изображенная на рис. 8.

Как видно, это прежняя схема, в которой используется тот же конденсатор емкостью 3,3 мкФ. Дополнительно имеются: диод, через который фильтрующий конденсатор заряжается от выпрямительного моста, и диодный тиристор, или динистор, который периодически разряжает конденсатор в основную шину питания нагрузки. Функционирование схемы очевидно из диаграммы выпрямленного напряжения VHV, приведенной на рис. 9.

Пока мгновенное выпрямленное напряжение сети имеет достаточную величину, интервал времени 3–8,5 мс, нагрузка питается от мостового выпрямителя и энергия, запасенная в фильтрующем конденсаторе, сохраняется не расходуясь. Когда мгновенное напряжение уменьшается на величину порогового напряжения динистора, последний лавинообразно открывается, подсоединяя накопительный конденсатор к шине питания нагрузки, момент времени 8,5 мс. Далее нагрузка питается от конденсатора, пока мгновенное входное напряжение не превысит оставшееся напряжение на конденсаторе. Накопительный конденсатор восстановит запас энергии только в следующий полупериод питающего напряжения. Важно, что при таком подходе питающее нагрузку напряжение пульсирует в два раза чаще, чем в обычном выпрямителе, то есть с частотой 200 Гц. Если правильно подобрать емкость конденсатора и пороговое напряжение динистора, которое указано на схеме, то теоретически можно получить нулевые пульсации на частоте 100 Гц. А это именно те пульсации, которые наносят наибольший ущерб качеству освещения. На графике (рис. 10) приведены результаты спектрального анализа эффективного тока, питающего светодиоды.

Синяя кривая приведена для случая отсутствия всякого фильтрующего конденсатора. Обратим внимание на уровень первой гармоники, частотой 100 Гц. Именно этот уровень первой гармоники соответствует 100%-ной пульсации применительно к данной схеме. Красная кривая построена для схемы с обычным включением фильтрующего конденсатора емкостью 3,3 мкФ, непосредственно за выпрямительным мостом. Видно, что уровень первой гармоники уменьшился примерно на 7 дБ, примерно вдвое по амплитуде. Этого недостаточно для перевода светильника в более высокую категорию. Применение схемы с динистором уменьшает уровень первой гармоники на 25 дБ, что соответствует 28 разам по амплитуде! Важно заметить, что улучшение достигнуто ценой существенного роста второй гармоники, которая, впрочем, имеет частоту 200 Гц и не оказывает значимого влияния на качество освещения.

В заключение отметим, что, применив два накопительных конденсатора и два динистора, можно построить схему питания, которая будет относить основную частоту пульсации эффективного тока через светодиоды на частоту 300 Гц. Как показано в [5], такие пульсации безвредны и неразличимы. При этом гармоники 100 и 200 Гц можно и нужно минимизировать. Инженерный расчет такой схемы сложен, а повторяемость полученного изделия труднопредсказуема.

### Литература

1. [www.seoulsemicon.com/acrichnewwave/en.asp](http://www.seoulsemicon.com/acrichnewwave/en.asp)
2. [www.ti.com/product/tps92411](http://www.ti.com/product/tps92411)
3. [www.crystotech.com/products/led-lighting-driver.html](http://www.crystotech.com/products/led-lighting-driver.html)
4. [www.linear.com/designtools/software/#LTspice](http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice)
5. [www.mmp-irbis.ru/content/pulsatsii-vihodnogo-napryageniya.php](http://www.mmp-irbis.ru/content/pulsatsii-vihodnogo-napryageniya.php)