

Евгений Цевелюк | Владимир Котов

Обзор LED-драйверов

для светодиодных ламп широкого применения

Рассмотрена конструкция и схемотехника LED-драйверов, показаны решения, позволяющие получать высокие результаты по эффективности, коэффициенту мощности, уровню гармонических составляющих входного тока и стабильности тока LED в диапазоне входных напряжений 90–255 В.

Введение

Популярность светодиодных (LED) ламп обусловлена рядом объективных факторов: продолжительным сроком эксплуатации, крайне низким уровнем энергопотребления, высокой светоотдачей, отсутствием пульсаций светового потока, нечувствительностью к нестабильной электросети и к частым включениям-выключениям, способностью уверенно работать в условиях повышенной влажности и серьезных морозов, возможностью использования в модульных осветительных системах, где из-за выгорания одного или нескольких светодиодов не медленной замены LED-лампы не потребуется в силу того, что общая светоотдача системы изменится незначительно.

Светодиодные лампы обычно состоят из светодиодного модуля и платы источника тока (LED-драйвера), размещенных в корпусе-радиаторе. LED-драйвер коммутирует светодиодный модуль с сетью переменного тока и представляет собой импульсный преобразователь напряжения с интегрирующим элементом, которым является дроссель. Основными параметрами, характеризующими светодиодные драйверы, являются: эффективность (КПД); коэффициент мощности; зависимость выходного тока от входного напряжения; уровень гармонических составляющих входного тока (соответствие ГОСТ Р 51317.3.2-2006); количество компонентов, влияющее на стоимость конечного изделия. В последнее время разработчики LED-ламп все больше внимания уделяют еще и таким параметрам, как долговечность и надежность, поскольку они делают экономический эффект от использования светодиодных источников света еще более привлекательным, несмотря на то, что цена таких ламп выше. Для этой цели используются качественные комплектующие, особенно LED-диоды и электролитические конденсаторы, и там, где возможно, последние заменяются на керамические. Использование схемотехнических решений, исключая электролитические конденсаторы, позволило бы увеличить срок службы драйвера до 80 000 ч и более.

В настоящее время на рынке появилось много светодиодных ламп для внутреннего освещения с попате светодиодными драйверами производства китайских фирм. Как правило, в них используются LED-драйверы как с гальванической развязкой от сети переменного тока, так и без развязки, т. е. изолированные и неизолированные. В данной статье рассмотрены схемотехника и параметры этих драйверов, показаны их недостатки и преимущества, предложен вариант реализации LED-драйвера ООО НПП «Микроника».

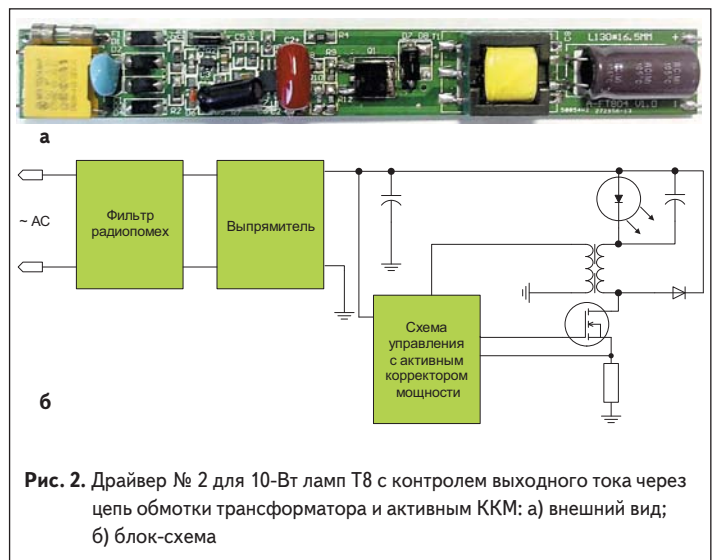
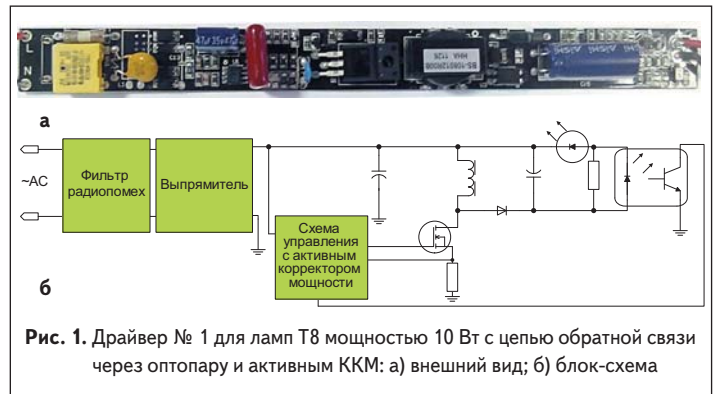
Неизолированные попате светодиодные драйверы

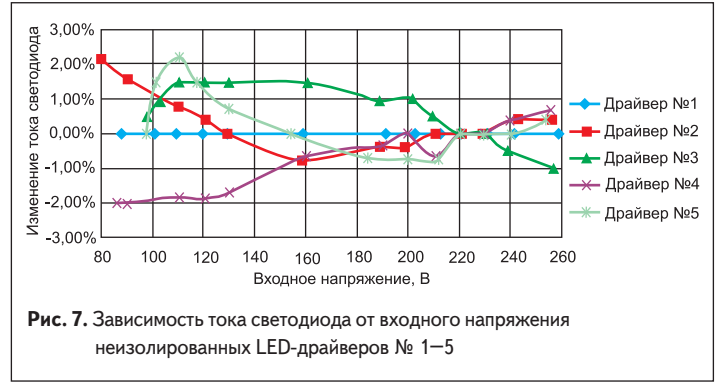
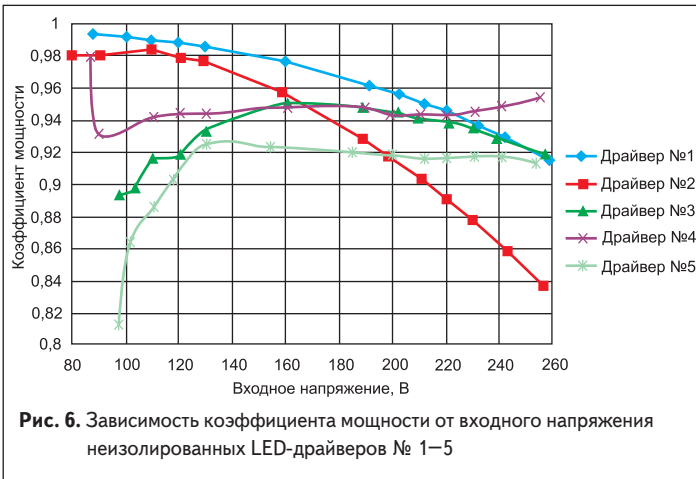
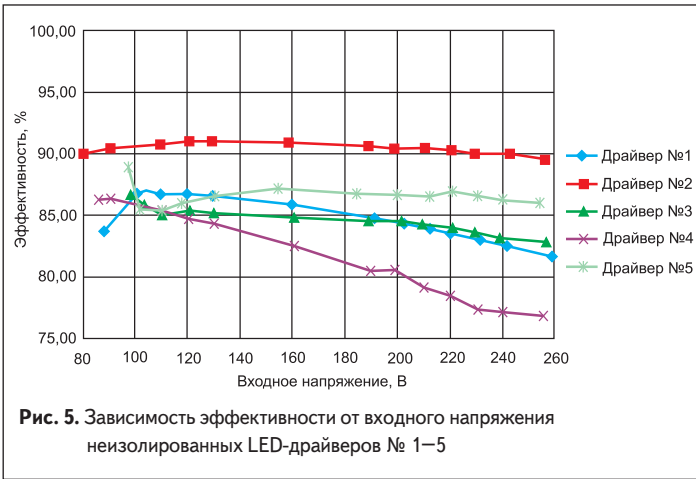
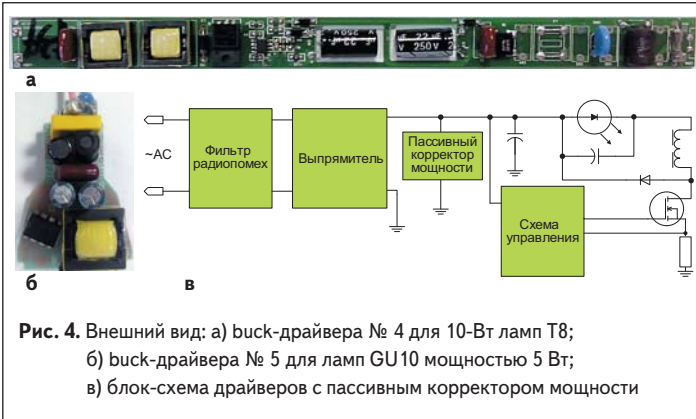
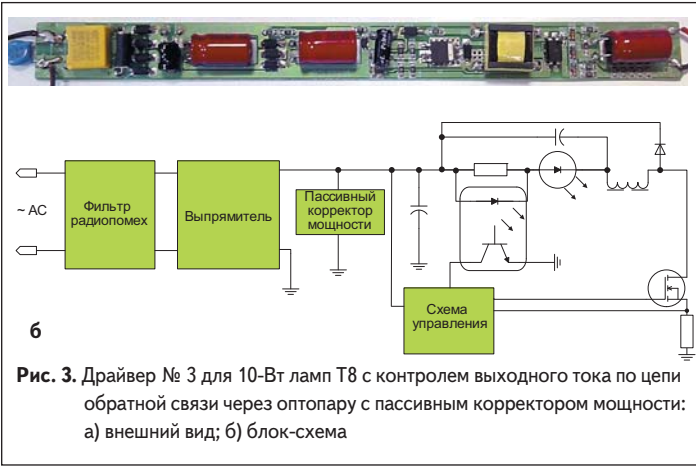
Типовая схема неизолированных светодиодных драйверов содержит фильтр радиопомех, блок выпрямителя, схему управления со встроенным активным либо внешним пассивным корректором мощности, блок ключа с интегрирующим элементом, а также может включать

в себя цепь обратной связи для контроля выходного тока. Были исследованы пять различных неизолированных драйверов, сделанных в Китае, для светодиодных ламп T8 и GU10. Внешний вид драйверов, их блок-схемы и результаты измерений приведены на рис. 1–7 и в таблицах 1, 2. Исследование эффективности, фактора мощности и уровня гармонических составляющих входного тока проводилось с помощью измерителя Chroma 66202.

Светодиодный драйвер № 1 для ламп T8 мощностью 10 Вт представляет собой импульсный преобразователь напряжения с произвольным изменением напряжения (buck-boost converter) с контролем выходного тока по цепи обратной связи через оптопару и с активным корректором коэффициента мощности (ККМ). Внешний вид драйвера и его блок-схема приведены на рис. 1.

Светодиодный драйвер № 2 для 10-Вт ламп T8 представляет собой понижающий импульсный преобразователь напряжения (buck converter) с контролем выходного тока через цепь обмотки трансформатора и активным ККМ. Внешний вид драйвера и его блок-схема показаны на рис. 2.





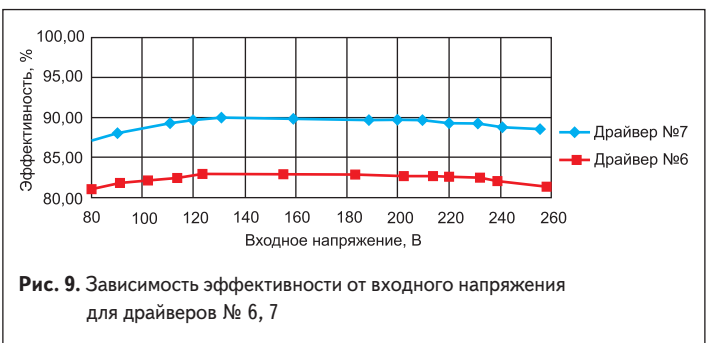
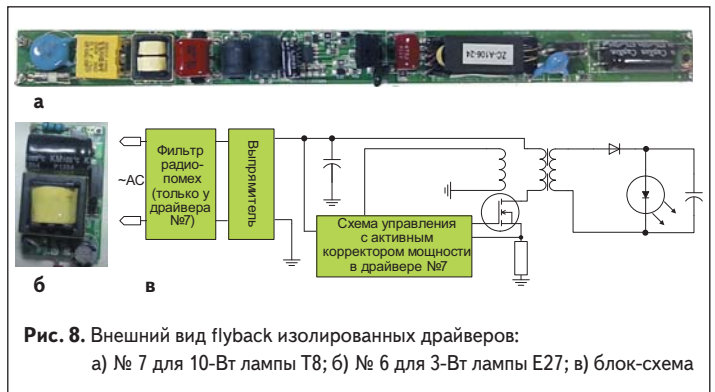
Светодиодный драйвер № 3 для 10-Вт ламп Т8 представляет собой понижающий импульсный преобразователь напряжения (buck converter) с контролем выходного тока по цепи обратной связи через оптотару с пассивным корректором мощности (рис. 3).

Светодиодные драйверы № 4, 5 для 10-Вт ламп Т8 и 5-Вт ламп GU10 представляют собой понижающий импульсный преобразователь напряжения (buck converter) с пассивным ККМ (рис. 4).

Изолированные по цепи светодиодные драйверы

Типовая схема изолированных светодиодных драйверов в отличие от неизолрированных содержит трансформатор, необходимый для развязки первичной и вторичной цепей схемы, что делает драйверы более безопасными. На рынке таких устройств представлено гораздо меньше. Были исследованы два различных изолированных драйвера для светодиодных ламп Т8 и Е27. Внешний вид драйверов, их блок-схемы и результаты измерений приведены на рис. 8–11 и в таблицах 1, 2.

Светодиодные драйверы № 6, 7 для 10-Вт ламп Т8 и 3-Вт Е27 представляют собой обратноточный импульсный преобразователь напряжения (flyback converter) с контролем выходного тока через цепь первичной обмотки трансформатора. Драйвер № 7 содержит ИМС с активным корректором мощности, а в драйвере № 6 отсутствует фильтр радиопомех и какой-либо корректор мощности. Внешний вид драйверов и их блок-схема показаны на рис. 8.



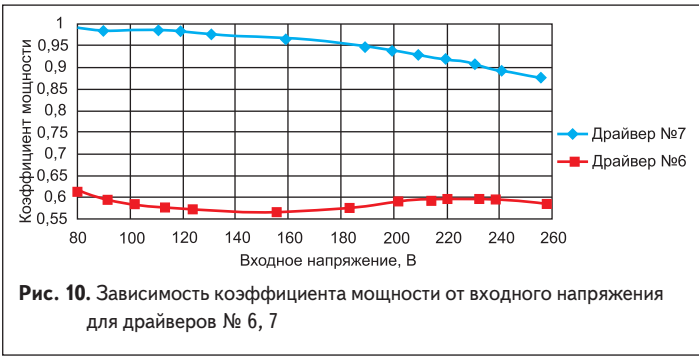


Рис. 10. Зависимость коэффициента мощности от входного напряжения для драйверов № 6, 7

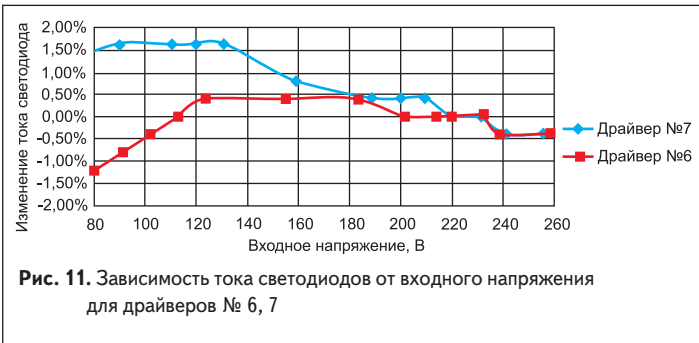


Рис. 11. Зависимость тока светодиодов от входного напряжения для драйверов № 6, 7

Изолированные LED-драйверы компании «Микроника»

Компанией «Микроника» на основе собственной микросхемы MCA1501 разработаны гальванически изолированные от сети драйверы для входных напряжений 170–255 и 90–255 В, отличающиеся хорошей эффективностью, очень точным выходным током, высоким коэффициентом мощности и соответствующие ГОСТ Р 51317.3.22006 по уровню гармоник входного тока во всем диапазоне входных напряжений. Основной упор при разработке драйвера делался на надежность и долговечность посредством использования качественных комплектующих, особенно электролитических конденсаторов, качественных полупроводниковых приборов и применение схемотехнических решений по стабилизации выходного тока, тем самым продлевающих срок службы LED-диодов.

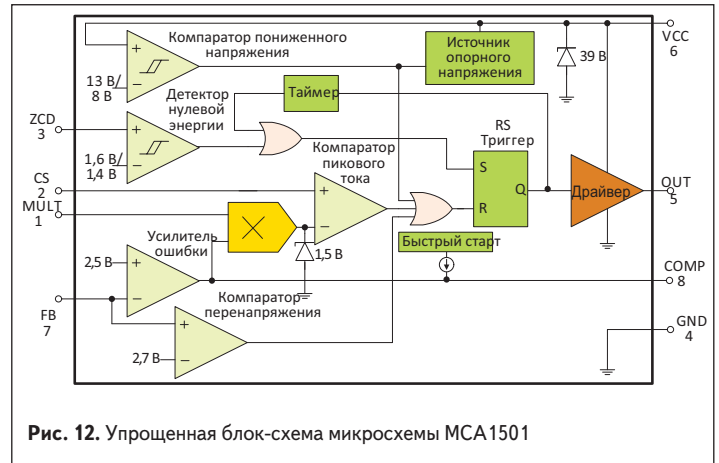


Рис. 12. Упрощенная блок-схема микросхемы MCA1501

Микросхема MCA1501 представляет собой сетевой светодиодный контроллер с ККМ. Контроллер предназначен для использования в сетевых светодиодных источниках света низкой и средней мощности. Он разработан для управления обратноходовыми понижающими или повышающими преобразователями, работающими в режиме критической проводимости (Critical Conduction Mode). В режиме критической проводимости схема находится в автоколебательном режиме, включение которого обеспечивается детектором нулевой энергии трансформатора (вывод ZCD), а выключение обеспечивается компаратором (вывод CS), чувствительным к току. Также в микросхеме имеется усилитель ошибки обратной связи, точный источник опорного напряжения, таймер перезапуска, схема защиты от перенапряжения. Блок-схема микросхемы MCA1501 показана на рис. 12.

Светодиодные драйверы компании «Микроника» были разработаны для 10-Вт ламп T8 и представляют собой гальванически изолированные от сети обратноходовые импульсные преобразователи напряжения (flyback converter) с контролем выходного тока через цепь обратной связи через оптопару и активным ККМ. Драйвер для входных напряжений 90–255 В дополнительно содержит блок быстрого запуска (выделен пунктирной линией). Внешний вид драйверов и их электрическая схема показаны на рис. 13.

Обсуждение результатов

Значения основных гармонических составляющих входного тока (THD) для всех рассмотренных драйверов приведены в таблице 1, а их основные

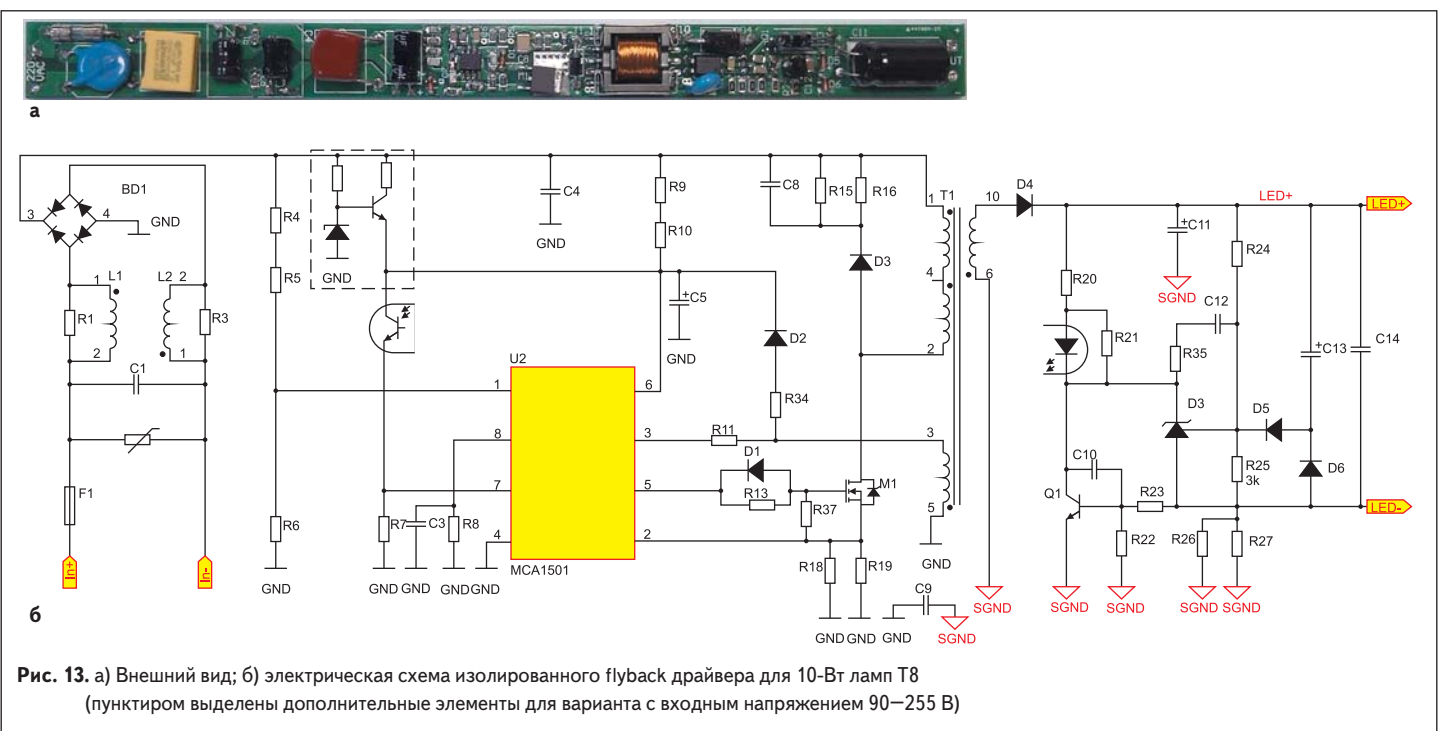


Рис. 13. а) Внешний вид; б) электрическая схема изолированного flyback драйвера для 10-Вт ламп T8 (пунктиром выделены дополнительные элементы для варианта с входным напряжением 90–255 В)

параметры обобщены в таблице 2. Суммарные гармонические искажения в таблице 2 приведены для всех измеренных 40 гармоник.

Из приведенных выше данных можно сделать следующие выводы. Во-первых, для достижения хороших результатов по всем параметрам (эффективность, коэффициент мощности, THD и стабильность тока LED) приходится разрабатывать довольно сложные схемы, содержащие 60 и более элементов на плате, что видно на примере драйвера № 1 и драйвера компании «Микроника», в которых используются блоки, обеспечивающие высокую стабильность тока LED $< \pm 0,25\%$, высокий коэффициент мощности (0,99/0,945 при 110/220 В у образца № 1 и 0,991/0,967 при 110/220 В у драйвера компании «Микроника») и низкий уровень гармонических искажений (13,6/17,3% и 12,1/13,3% соответственно).

Исключив цепи обратной связи в драйверах № 2 и 7 дает увеличение эффективности до 90,7/90,2 и 89,5/89,4% соответственно при 110/220 В, но при этом ухудшается стабильность по току до $\pm(1-1,25)\%$.

Эффективность изолированных драйверов примерно на 1–3% меньше эффективности неизолированных за счет потерь в трансформаторе, что является причиной отличия по этому параметру между образцом № 1 и драйвером компании «Микроника»

Использование пассивной коррекции мощности на 4–11% снижает коэффициент мощности по сравнению с активной коррекцией, а при отсутствии коррекции мощности на драйвере № 6 коэффициент мощности составляет всего лишь 0,576/0,596 при 110/220 В. Тест на соответствие уровню гармонических составляющих входного тока ГОСТ Р 51317.3.2-2006 во всем диапазоне входных напряжений проходят драйверы с активной коррекцией мощности № 1, 2, 7 и драйвер компании «Микроника». Драйверы с пассивной коррекцией мощности № 3, 4, 5 проходят тест только для высоких напряжений, а № 6 из-за отсутствия блока коррекции мощности этот тест не проходит.

Заключение

Проведенные исследования по теме LED-драйверов и драйвера компании «Микроника» показали, что наилучшие результаты по эффективности, коэффициенту мощности, THD и стабильности тока LED в диапазоне входных напряжений 90–255 В показывают LED-драйверы с активной коррекцией мощности и схемой обратной связи.



Рис. 14. Зависимость эффективности от входного напряжения

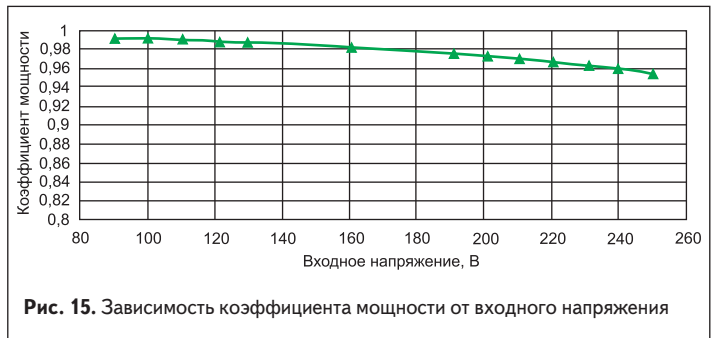


Рис. 15. Зависимость коэффициента мощности от входного напряжения

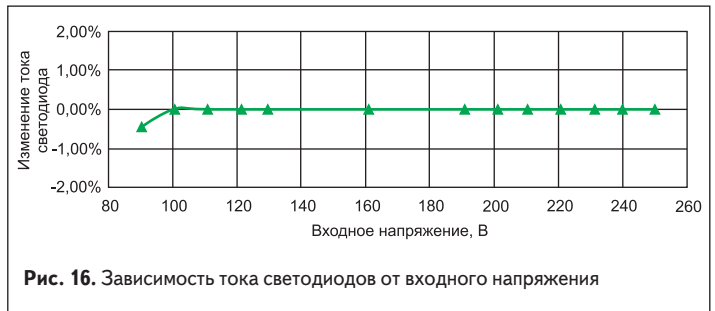


Рис. 16. Зависимость тока светодиода от входного напряжения

Таблица 1. Значения гармонических составляющих входного тока по основным гармоникам

Номер гармоники	Значение гармоники входного тока светодиодного драйвера, мА							Драйвер компании «Микроника»
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
Входное напряжение 110 В								
3	11,3	5,1	15,3	28,1	13,7	32,8*	12,1	11,1
5	2,2	7,4	16,8*	21,9	12,2*	20,5*	2,0	4,1
7	1,3	5,7	1,9	4,8	7,8*	20,8*	0,6	1,4
9	0,1	4,9	8,1*	6,8*	2,9	20,0*	1,0	1,4
11	0,3	3,0	5,0*	0,9	3,6	15,5*	1,5	1,4
13	0,2	0,7	8,0*	1,8	3,7	13,8*	1,0	0,8
Входное напряжение 220 В								
3	7,1	8,5	6,3	18,5	4,3	18,6*	5,0	6,4
5	3,0	5,5	3,5	7,2	2,9	12,8*	3,8	2,2
7	1,7	1,4	3,5	1,9	4,7	7*	0,2	0,2
9	0,3	1,9	2,4	0,6	3,9	4,6	0,3	0,3
11	0,8	2,7	2,3	0,7	4,1	5,5*	0,9	0,7
13	0,6	1,4	3,3	1,8	0,8	5,7*	0,7	0,1

Примечание: * – значения гармоник, выходящие за пределы норм ГОСТ Р 51317.3.2-2005

Таблица 2. Сравнение основных параметров LED-драйверов

Драйвер/Параметр	Эффективность, %		Коэффициент мощности		Суммарные гармонические искажения, %		Соответствие ГОСТ Р 51317.3.2-2006		Количество элементов на плате	Изменение тока LED от U _{вх} , %
	110	220	110	220	110	220	110	220		
Входное напряжение, U _{вх} , В	110	220	110	220	110	220	110	220	-	U _{вх} 90–255 В
Драйвер №1	86,7	83,6	0,99	0,945	13,6	17,3	+	+	61	< $\pm 0,25$
Драйвер №2	90,7	90,2	0,984	0,891	12,9	21,6	+	+	32	$\pm 1,25$
Драйвер №3	85,2	83,9	0,916	0,939	34,2	26,7	-	+	46	$\pm 1,25$
Драйвер №4	85,4	78,5	0,94	0,94	30,9	31,9	-	+	25	$\pm 1,25$
Драйвер №5	85,5	86,9	0,886	0,917	40,1	38,3	-	+	32	$\pm 1,5$
Драйвер №6	82,6	82,7	0,576	0,596	120,7	125	-	-	23	± 1
Драйвер №7	89,5	89,4	0,987	0,918	13,6	13,8	+	+	53	± 1
Драйвер компании «Микроника»	82,6	80,4	0,991	0,967	12,1	13,3	+	+	60	< $\pm 0,25$