УДК 621.328:621.316

С.Н. Литовченко[1,2], Л.А. Назаренко[1], А.Г. Литвинов[1,2], М.С. Тихомирова[2], А.А. Фомин[2]

[1] *Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова*

[2] *ООО «Светодиодные технологии Украина»*

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ И ИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Приведены результаты предварительного исследования светодиодного драйвера для офисного светильника. Приведенные в статье расчеты и измерения позволяют обосновать конфигурацию выходного каскада соответствующего драйвера, а также оптимизировать его электрические параметры, в результате чего появилась возможность использования менее дорогостоящей микросхемы с сохранением высоких показателей данных параметров.

Ключевые слова: *светодиодный драйвер, диммирование светового потока, светодиодный кластер, индуктор, ШИМ контроллер.*

Введение

Обладая определенным опытом разработок силовой электроники для осветительных приборов на основе LED-компонентов (сверхъярких светодиодов и светодиодных модулей), мы открываем цикл статей, в которых будут рассмотрены вопросы выбора и расчета схемы электрической принципиальной, критерии и обоснование применяемой элементной базы, расчет и изготовление необходимых при этом моточных элементов (трансформаторов и дросселей). Также будут затронуты особенности проектирования помехозащитных фильтров.

Изложение основного материала

В этой статье будет проведен анализ элементной базы и компонентов для проектирования драйвера обеспечивающего питанием светильник офисного типа при стандартном напряжении электрической сети AC 220 V и потребляемой мощностью 44 W. Драйвер светильника включает в себя схему управления мощностью светового потока (диммирования светового потока), что позволяет использовать как локальную систему управления (СУ) для одного светильника так и комплексные СУ управления и мониторинга для одной или нескольких групп осветительных приборов.

Для обеспечения диммирования светового потока, а также соблюдения норм стандартов, таких как ДСТУ IEC 61000-3-2:2004, ДСТУ SIPR 15:2007, ДСТУ IEC 61000-4-3:2007, регламентирующих нормы на радиопомехи и электромагнитную совместимость необходимо применить как минимум двухкаскадную компоновку драйвера. Первый (входной) каскад будет обеспечивать соответствие параметров изделия вышеперечисленным ДСТУ, а второй (выходной) – диммирование светового потока.

Анализ схемы электрической принципиальной начнем с выходного каскада. В качестве примера рассмотрим две микросхемы HV9910 и HV9961, которые представляют собой универсальный стабилизатор тока сверхъярких светодиодов с напряжением питания от 8 до 450 V, выходным током более 1 A с использованием внешнего силового ключа. На рис. 1 приведена типовая схема включения этих микросхем.

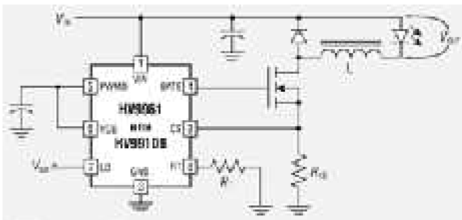

Рис.1. Типовая схема включения микросхем HV9910 и HV9961

В HV9910 как и в HV9961 предусмотрены два режима управления мощностью выходного сигнала: ШИМ диммирование с частотой до нескольких килогерц и диапазоном от 0% до 100% и аналоговое диммирование напряжением от 0 до 250 мВ для HV9910 и от 0,2 (0,15) до 1.5 Vдля HV9961. Для обоснования выбора как типа микросхемы и так режима управления мощностью выходного сигнала проанализируем источник света, применяемый в данном светильнике. В нашем случае, это группа светодиодов типа FM-R3528WNS-460W-R80 соединенных параллельно-последовательно. На рис.2 приведена зависимость изменения цветовой температуры данных кристаллов от общей подводимой мощности (верхняя кривая). Измерения произведены с использованием спектрорадиометра SPL530.

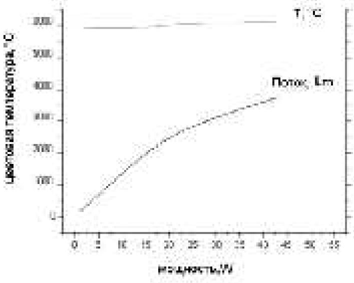

Рис.2. Зависимость цветовой температуры от мощности

Как видно из графика, отклонения цветовой температуры кристаллов от типовой (6000 К) в диапазоне от 2% до 100% подводимой мощности не превышают 1%. Таким образом, отпадает необходимость в использовании метода ШИМ диммирования для поддержания постоянного значения тока через светодиод (управление мощностью происходит за счет изменения скважности управляющего импульса). Кроме того, при использовании режима аналогового диммирования полностью исключается паразитная модуляция выходного светового потока на частоте ШИМ диммирования.

На рис.3 приведена полная схема электрическая принципиальная двухкаскадного драйвера офисного светильника. Микросхемы HV9910 и HV9961 имеют некоторые функциональные различия. В HV9910 применено регулирование по пиковому току Buck преобразователя, отличающееся своей простотой и соответственно низкой стоимостью драйвера. Однако такой способ регулирования вызывает проблемы с точностью стабилизации выходного тока. Первая проблема возникает вследствие ошибки разницы между пиковым током и реальным значением среднего тока через индуктор по причине пульсации протекающего через него импульсного тока. Вторая причина -- это задержка распространения сигнала в токочувствительном компараторе.

На рис.4 приведен график зависимости тока индуктора от времени (фирма производитель Supertex inc.), поясняющий механизм возникновения соответствующих ошибок. Здесь $I_{L(PK)}$ - пиковый ток индуктора, $I_{L(CS)}$ - пороговый ток компаратора, $I_{L(AVG)}$ - средний ток индуктора. Таким образом разница между $I_{L(PK)}$ и $I_{L(AVG)}$ при V_0 - напряжение на светодиодах, представляет собой половину тока пульсаций через дроссель:

$$0,5\Delta I_L = \frac{(V_0 t_{OFF})}{2L} \quad (1)$$

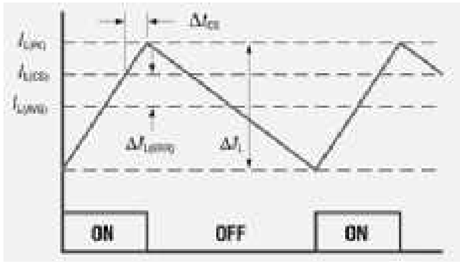

Рис.4. График зависимости тока индуктора от времени

С учетом ошибки задержки токового компаратора Δt_{CS} общая ошибка среднего значения тока может быть выражена формулой:

$$\Delta I_{L(ERR)} = \frac{(V_0 t_{OFF} - 2(V_{IN} - V_0)\Delta t_{CS})}{2L}, \quad (2)$$

где V_{IN} - напряжение входного источника питания, Δt_{CS} - задержка распространения компаратора.

Вышеперечисленные параметры ШИМ контроллера требуют уделять внимание стабильности питающего его напряжения. Однако, это существенно только в схемах, работающих в режимах предусматривающих прохождение зарядного тока индуктора при отключении его от цепи светодиодов, например, в преобразователе с повышением выходного напряжения Boost converter $(V_0 > V_{IN})$, приведенном на рис.5.

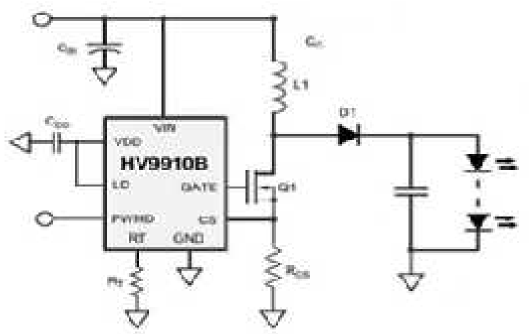

Рис.5. Схема преобразователя Boost converter

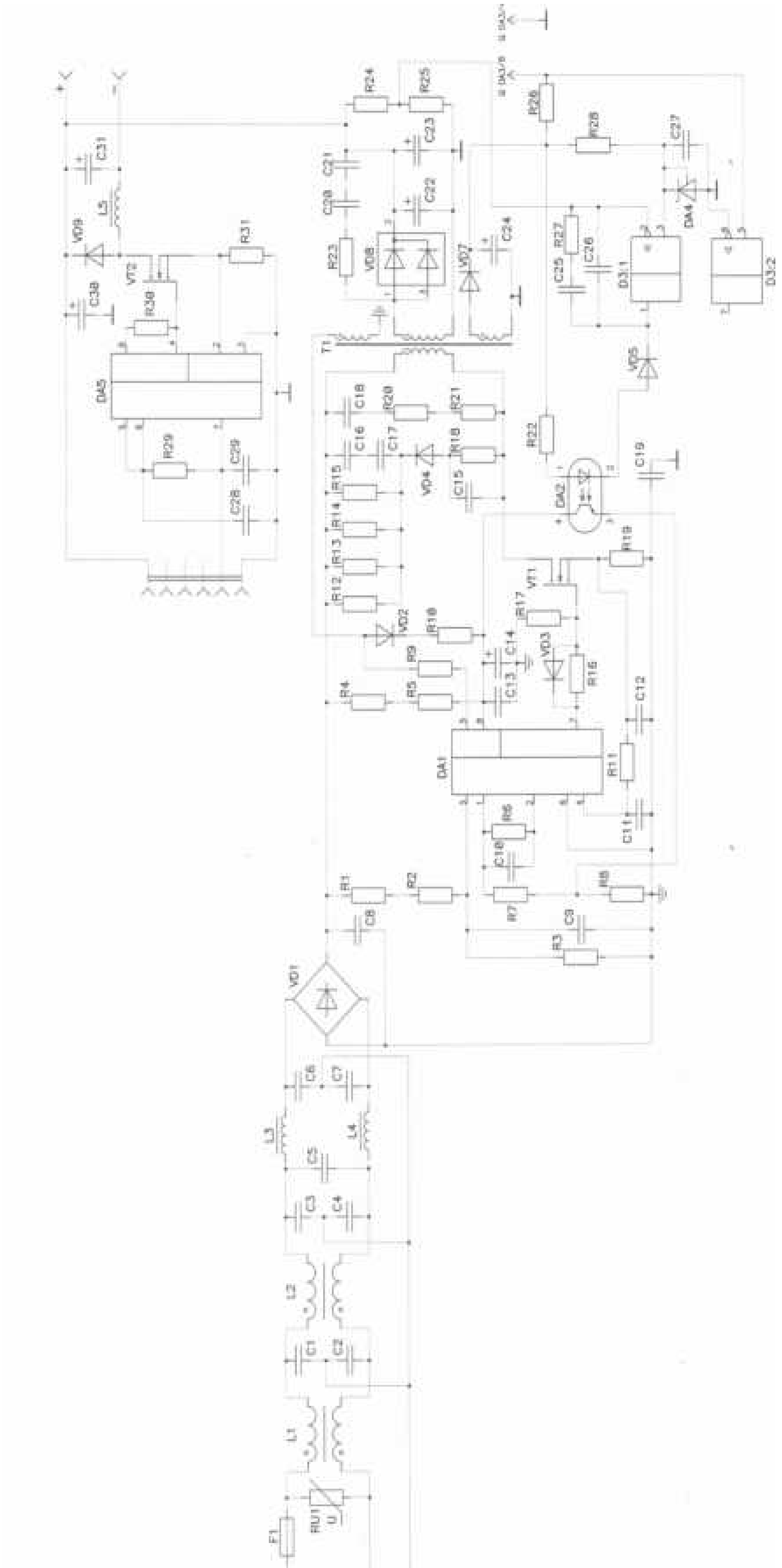

Рис.3. Полная схема электрическая принципиальная двухкаскадного драйвера офисного светильника

В качестве примера исследуем светодиодный кластер (далее «кластер») т.е. цепь соединённых параллельно - последовательно светодиодов 3 × 3 с номинальным током $I =$ 1 А и напряжением $V_0 = 10$ V, подключенный согласно схеме на рис.1 (типовая схема включения в режиме понижения V_0 – Buck converter). При этом схема включения R_T будет изменена согласно рис.6. Это режим с фиксированной длительностью выключенного состояния $t_{OFF} = const$, который позволяет избежать субгармонических колебаний ШИМ при скважности более 0,5 (специфика работы HV9910). Входное напряжение V_{IN} = 20 V. На рис.7 приведена соответствующая осциллограмма тока через индуктор L1.

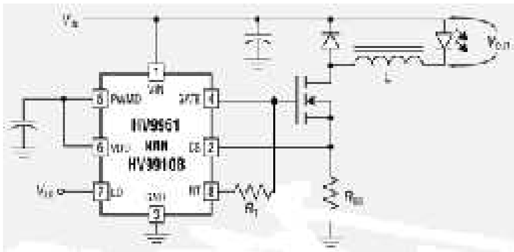

Рис.6. Типовая схема с измененным подключением R_T, $t_{OFF} = const$

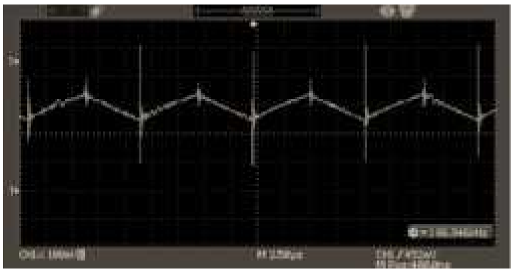

Рис.7. Осциллограмма тока через индуктор при $V_L = 10$ V, $V_0 = 10$ V $(t_{ON} = t_{OFF})$

Контроль тока кластера производился цифровым мультиметром UTM 171E. Так как напряжение на индукторе в режиме накопления тока $V_L = V_{IN} - V_0 =$ 10 V мы имеем $t_{ON} = t_{OFF}$. При этом ток через кластер имеет значение I = 1,00 А при частоте ШИМ $f_ш$ = 93,5 кГц.

Уменьшим V_{IN} до 15 V, таким образом $V_L = V_{IN} - V_0 =$ 5 V и следовательно $2t_{ON} = t_{OFF}$ как следует из рис.8. При этом ток через кластер имеет то же значение I = 1,00 А при частоте ШИМ $f_ш$ = 70,1 кГц.

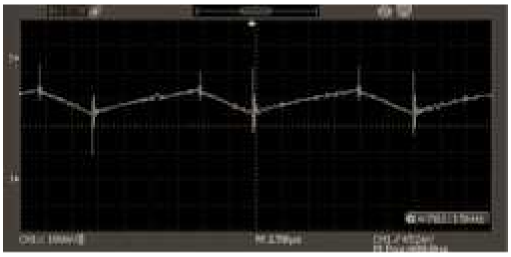

Рис.8. Осциллограмма тока через индуктор при $V_L = 5$ V, $V_0 = 10$ V $(2t_{ON} = t_{OFF})$

А теперь увеличим V_{IN} до 30 V. При этом $V_L = V_{IN} - V_0 =$ 10 V и теперь $t_{ON} = 2t_{OFF}$ как следует из рис.9. При этом ток через кластер нисколько не изменился и составляет I = 1,00 А при частоте ШИМ $f_ш$ = 128,3 кГц.

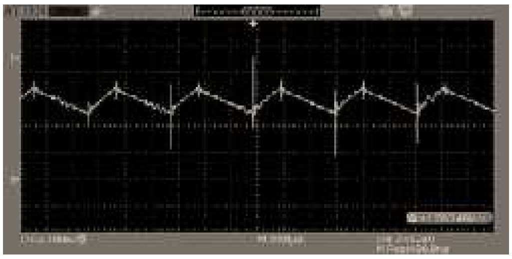

Рис.9. Осциллограмма тока через индуктор при $V_L = 20$ V, $V_0 = 10$ V $(t_{ON} = 2t_{OFF})$

Следует отметить, что реальные значения соотношений t_{ON} и t_{OFF} несколько отличаются от указанных выше ($t_{ON} = t_{OFF}$, $2t_{ON} = t_{OFF}$, и $t_{ON} = 2t_{OFF}$). На это указывают соответствующие значения частот синхронизации, отмеченные на осциллограммах рис.7-9, что объясняется дополнительным падением напряжения на силовом ключе и выпрямительном диоде. Особенно это заметно при пониженном напряжении питания V_{IN}.

Таким образом, при типовой схеме включения HV9910 с коррекцией подключения R_T согласно рис.6 видно, что при изменении питающего напряжения V_{IN} в пределах 15 ÷ 30 V$(-25 \div +50\%)$ и соответственно напряжении на индукторе V_L в пределах 5 ÷ 20 V (-50 ÷ +100 %) ток через кластер остался неизменным. Причина такой стабильности заключается в следующем. Сравним осциллограммы на рис. 7-9 с графиком тока индуктора на рис.4. Очевидно, что t_{OFF} на всех трех осциллограммах имеет постоянное значение $(t_{OFF} = const)$. Исходя из схемы включения ШИМ контроллера, согласно рис.6, мгновенные значения тока индуктора I_L и тока через нагрузку I_0 при включенных последовательно индукторе и нагрузке всегда равны $I_L = I_0$. При неизменном значении величины индуктивности дросселя L, а также при $V_0 = const$ и $t_{OFF} = const$ значение ΔI_L из формулы (1) и соответственно средний ток через кластер I_0 также будет неизменным при постоянном заданном пороговом токе компаратора $I_{L(CS)}$. Это видно из формулы разряда индуктора:

$$\Delta I_L = \frac{V_0 t_{OFF}}{L}, \quad (3)$$

Тогда из формулы заряда индуктора

$$\Delta I_L = \frac{(V_{IN} - V_0) t_{ON}}{L}, \quad (4)$$

следует, что при постоянном значении L и ΔI_L время заряда индуктора t_{ON} будет обратно пропорционально изменяемому входному напряжению V_{IN} осуществляя стабилизацию выходного тока нагрузки.

Некоторые отклонения среднего тока индуктора при изменении V_{IN} могут возникать по причине изменения наклона части осциллограммы соответствующей t_{ON} при изменении V_{IN}. На графике рис.4. это участок, соответствующий времени Δt_{CS}. Однако как показали предыдущие исследования, эти отклонения малы и не влияют на среднее значение тока нагрузки.

В предыдущих измерениях был использован индуктор L1 индуктивностью 220 мкГн. Заменим его на соответствующий со значением индуктивностью 150 мкГн. Осциллограммы при изменении V_{IN} приводить не будем, так как они по временным параметрам полностью соответствуют рис.7-9 по причине $t_{OFF} = const$. Ток через кластер при этом уменьшился до значения I = 0,95 А, что следует из формулы (3) при $V_0 = const$ и $t_{OFF} = const$. Следовательно, изменение индуктивности более чем на 30 % привело к изменению тока через светодиоды не более чем на 5 %. Очевидно, что эта погрешность будет обратно пропорциональна отношению $\frac{I_{L(PK)}}{\Delta I_L}$. Современные технологии позволяют при изготовлении индукторов обеспечить параметры разброса значения индуктивности не более 10 %. Кроме того при проектировании выходного каскада драйвера необходимо выбирать режим работы дросселя с возможно большим отношением $\frac{I_{L(PK)}}{\Delta I_L} > 1$.

Приводимая в этой статье для сравнительного анализа микросхема HV9961 в отличие от HV9910 осуществляет регулировку тока индуктора по его усредненному значению в пределах одного импульса ШИМ и позволяет обеспечить точность значения выходного тока в пределах ± 3% при значительном изменении величины индуктивности дросселя и входного напряжения V_{IN}. Однако при этом она имеет стоимость в 2÷4 раза дороже.

Выводы

Проведенные исследования показывают, что погрешность значения среднего тока через светодиодную нагрузку в вышеприведенной схеме включения HV9910 имеет постоянную составляющую, определяемую только разбросом индуктивности дросселя (индуктора) и может быть легко откорректирована и контролируема в условиях промышленного производства, что позволит значительно удешевить изготовление светодиодного драйвера в связи с низкой стоимостью данной микросхемы.

Литература

1. Павел Вовк. Микросхемы драйверов светодиодов HV9910B и HV9961 производства Supertex// Ship News Украина-2011-№3-С.36.

2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов//М: “Солон-Р”, 2001.

3. Ефимов И.П. Источники питания РЭА: Учебное пособие.- 2-е изд., испр. Ульяновск: УлГТУ , 2002. -136 с.

4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники// Издание 4-е, дополн. Москва: “Мир” 1993.

5.http://www.exiton-ek.ru/site/catalog/pdf/2015/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB/buklet_svetotexnika.pdf*Микросхемы ОАО “Интеграл” светотехнического направлени. [Электронный ресурс]// Каталог. - 2012. -28 с.– Режим доступа: http://www.integral.by/files/files/svetotexnika.pdf.*

References

1. Pavel Vovk. Mikroshemy drajverov svetodiodov HV9910B i HV9961 proizvodstva Supertex// Ship News Ukraina-2011-№3-S.36.
2. Semenov B.Ju. Silovaja jelektronika dlja ljubitelej i professionalov//M: "Solon-R", 2001.
3. Efimov I.P. Istochniki pitanija RJeA: Uchebnoe posobie.- 2-e izd., ispr. Uljanovsk: UlGTU, 2002 -136 s.
4. Horovic P., Hill U. Iskusstvo shemotehniki// Izdanie 4-e, dopoln. Moskva: "Mir" 1993.
5. Mikroshemy OAO "Integral" svetotehnicheskogo napravlenija.[Jelektronnyj resurs]// Katalog. - 2012. - 28 s.– Rezhim dostupa: http://www.integral.by/files/files/svetotexnika.pdf.

Автор: Литовченко Сергей Николаевич
главный инженер
ООО «Светодиодные технологии Украина»
аспирант кафедры СИС Харьковского национального университета городского хозяйства им. А.Н. Бекетова,

Автор: Назаренко Леонид Андреевич
доктор технических наук, профессор зав.кафедры СИС Харьковского национального университета городского хозяйства им. А.Н. Бекетова,

Автор: Литвинов Александр Григорьевич
технический директор
ООО «Светодиодные технологии Украина»,
аспирант кафедры СИС Харьковского национального университета городского хозяйства им. А.Н. Бекетова
E-mail - alex7185047@gmail.com

Автор: Тихомирова Мария Сергеевна
заведующая лабораторией
ООО «Светодиодные технологии Украина»
E-mail – marushkka@gmail.com

Автор: Фомин Александр Александрович
инженер ООО «Светодиодные технологии Украина»
E-mail - fominaa0488@gmail.com

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СВІТЛОДІОДНИХ СВІТИЛЬНИКІВ ТА ЇХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

С.М. Літовченко, Л.А. Назаренко, О.Г. Литвинов, М.С. Тихомирова, О.О. Фомін

Наведено результати попереднього дослідження світлодіодного драйвера для офісного світильника. Наведені в статті розрахунки і вимірювання дозволяють обгрунтувати конфігурацію вихідного каскаду відповідного драйвера, а також оптимізувати його електричні параметри, в результаті чого з'явилася можливість використання менш дорогої мікросхеми зі збереженням високих показників даних параметрів.

Ключові слова: світлодіодний драйвер, димірування світлового потоку, світлодіодний кластер, індуктор, ШІМ контролер.

THE LAWS OF PLOTTING AND THE OPTION OF ELEMENTNOI THE BASE OF LED ILLUMINANTS AND THEIR CONTROL SYSTEMS

S. Litovchenko, L. Nazarenko, O. Lytvynov, M. Tykhomyrova, O. Fomin

In values article were investigated the capabilities of the optimization of the conditions of the microcircuit pulse width modulation (PWM) the controller of output stage HV9910 with the aim of the improvement of its exiting performance. The option of the conditions of fitting controller with the maintenance of the constant value of the discharging time of power inductor $t_{ON} = const$ *. Allowed to carry out the regulation of exiting load current* I_0 *in the changeover of incoming supply voltage* V_{IN} *. In adition the analysis of the time intervals of the operation of inductor showed the capabilities of the optimization of the option of the size of it inductance L with the aim of the decline of the effect of its technological scatter on* I_0 *.*

The led measurements of the value of the colored temperature of the strip of jointed concurrently _ sequentially emitting diodes depending on connected to them power showed that this value practically unvarying in all band connected power. This allowed to apply the behavior of the analog control (dimming) of luminous flux which delete extraneous modulation of values luminous flux being present in application pulse width modulation (PWM) dimming. Thus, as a result led research it was concluded about the capability of the application of microcircuit HV9910 in the output stage of LED driver with the support of adoptable operating performance in the minimal value of product.

Key words: LED driver, of dimming luminous flux, LED cluster, inductor, PWM controller.