

УДК 621.341.572
МРНТИ 47.41.37

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2024-21-2-255-265>

¹Оразбаев С.А.,

PhD, ORCID ID: 0000-0002-7286-9990, e-mail: sagi.oralbayev@gmail.com

^{2*}Джунусбеков Е.Ж.,

ORCID ID: 0000-0002-7413-6360, e-mail: erlan555dj@yahoo.com

²Евлоев А.А.,

бакалавр, ORCID ID: 0009-0005-2645-2309, e-mail: abdulvogopovich@mail.ru

²Курмашева А.К.,

бакалавр, ORCID ID: 0009-0008-9570-0021, e-mail: kurmasheva-2002@mail.ru

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, г. Алматы, Казахстан

²Казахстанско-Британский технический университет, 050000, г. Алматы, Казахстан

НОВЫЙ ГИБРИДНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ ДРАЙВЕР

Аннотация

В работе предлагается новый гибридный светодиодный драйвер (hybrid LED driver). Гибридный светодиодный драйвер совмещает в себе принцип импульсного преобразования мощности, как в традиционном светодиодном драйвере (LED driver), с идеей переключения светодиодных линеек синхронно с входным напряжением, как в светодиодном модуле непосредственного включения в сеть (Direct ACLED module). Этот синтез обещает повысить эффективность и уменьшить электромагнитные помехи. Благодаря низким потерям мощности гибридный светодиодный драйвер привлекателен для интеграции в микросхему, что позволяет уменьшить размер и стоимость по сравнению с традиционными светодиодными драйверами, используемыми в настоящий момент. В гибридных светодиодных драйверах предшествующего уровня техники светодиоды работают в импульсном режиме переключения, что ограничивает эффективность из-за медленной работы светодиодов. Одновременно с этим интенсивность излучения таких светодиодов уменьшается в импульсном режиме. В предлагаемом новом драйвере исключен жесткий режим работы светодиодов, что повышает эффективность и уменьшает электромагнитные помехи. В статье дан анализ нового гибридного драйвера. Для подтверждения полученных результатов было проведено компьютерное моделирование с использованием специализированного программного обеспечения.

Ключевые слова: гибридный светодиодный модуль, светодиодный модуль непосредственного включения в сеть (Direct ACLED module), бесконденсаторный светодиодный драйвер, высоковольтный светодиодный драйвер, светодиодное уличное освещение, надежность.

Введение

Рынок освещения совершил революционный переход на светодиодные источники освещения, что обусловлено резким снижением цен на эффективные и долговечные светодиоды. В светодиодных лампах используются специализированные светодиодные драйверы для сопряжения светодиодных кристаллов с переменным напряжением в сети и защиты их от переходных процессов в сети. Стоимость традиционного светодиодного драйвера в составе осветительного прибора выше, чем стоимость высокотехнологичных светодиодов, в результате продолжающегося снижения цен на светодиодные кристаллы. Драйвер является сложным электрическим устройством, и его цена не может быть существенно снижена по объективным причинам [1–7]. Из-за сложности надежность драйвера ограничена и не соответствует времени наработки до отказа светодиодов [9–14]. Давно назревшей задачей является поиск новых типов управления светодиодами, которые будут недорогими и надежными, но сохраняющими большую часть функциональных характеристик, которые обеспечивают светодиодные драйверы.

Проводятся исследования по избавлению от электролитических конденсаторов для увеличения срока службы светодиодных драйверов [15–21]. Однако сложность и стоимость таких решений существенно не уменьшаются, так как в большинстве исследований рассматривается замена конденсатора на сложные схемы.

Трендом последнего десятилетия в светодиодном освещении являются светодиодные модули прямого включения в сеть переменного тока [22–25]. Это бездрайверное решение, идея которого заключается в динамическом переключении и выстраивании светодиодных линеек под уровень мгновенного значения напряжения сети.

Основная часть

Светодиодный модуль включает в себя логику низкочастотной коммутации, синхронизированную с частотой сети. Светодиодный модуль включает в себя логику низкочастотного переключения, синхронизированную с частотой сети. Для примера рассмотрим типичную схему светодиодного модуля, показанную на рисунке 1. В зависимости от входного напряжения линейки LED_1 - LED_N настраиваются с помощью переключателей Q_1 - Q_N по мере увеличения входного напряжения. Линейки LED_1 - LED_K включаются последовательно в соответствии с входным напряжением, так что $V_{LED1} + \dots + V_{LED(K)} \leq V_m(t)$, для $1 < K < N$. Активированный переключатель Q_K работает как линейный стабилизатор тока, устраняя разрыв между падением напряжения на последовательно подключенных светодиодах LED_1 - LED_K и постоянно изменяющимся напряжением сети. Одновременно ток модуля можно регулировать в зависимости от входного напряжения для получения хорошего коэффициента мощности. Пока переключатель Q_K активирован, он шунтирует и выключает остальные светодиодные линейки LED_{K+1} - LED_N . Модуль переменного тока прост и недорог и не содержит быстродействующих силовых ключей, трансформатора, других магнитных компонентов, ненадежного электролитического конденсатора или высокочастотных фильтров. Несмотря на то, что он не обеспечивает гальваническую развязку, простота и доступность этой схемы обуславливают ее присутствие на рынке. Увеличенное время наработки на отказ также снижает стоимость эксплуатации. К сожалению, наличие линейных стабилизаторов тока приводит к потерям мощности и тепловыделению. Традиционный светодиодный модуль переменного тока в настоящее время используется для приложений с низким энергопотреблением.

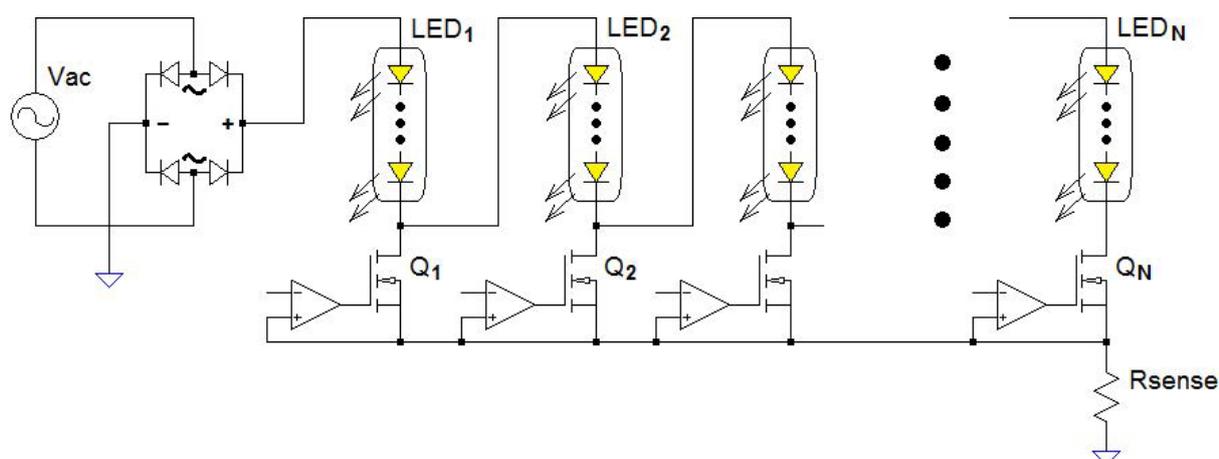


Рисунок 1 – Традиционный светодиодный модуль прямого переменного тока

Для повышения эффективности предложен гибридный светодиодный драйвер [26–28]. В этой конструкции настраиваемые светодиодные линейки синхронно настраиваются на напряжение сети, как в модуле Direct AC LED. Для компенсации разрыва сетевого напряжения над

падением напряжения в светодиодных линейках используется импульсный преобразователь малой мощности. На рисунке 2 гибридного драйвера видно, что это есть импульсный преобразователь с нагрузкой из конфигурируемых светодиодных линеек. Пусть V_1-V_N – падения напряжения линеек LED₁-LED_N соответственно. Когда входное напряжение находится в диапазоне $V_1+\dots+V_K < V_{in} < V_1+\dots+V_K+V_{K+1}$, переключатели Q₁-Q_{K-1} открыты, следовательно, катушка индуктивности L и линейки LED₁-LED_K подключены последовательно. Переключатель Q_{K+1} замкнут, шунтируя оставшиеся линейки LED_{K+2}-LED_N. Переключатель Q_K работает в импульсном режиме для управления входным током гибридного драйвера при заданном входном мгновенном напряжении V_{in}. Таким образом, преобразователь эффективно компенсирует избыточное напряжение в сети, катушка индуктивности L контролирует пульсации входного тока, связанные с преобразованием мощности переключателя. Этот преобразователь контролирует лишь небольшую часть общей выходной мощности, что приводит к меньшим потерям, чем в традиционном драйвере. Возможна схемная интеграция драйвера гибридного светодиода в микросхему.

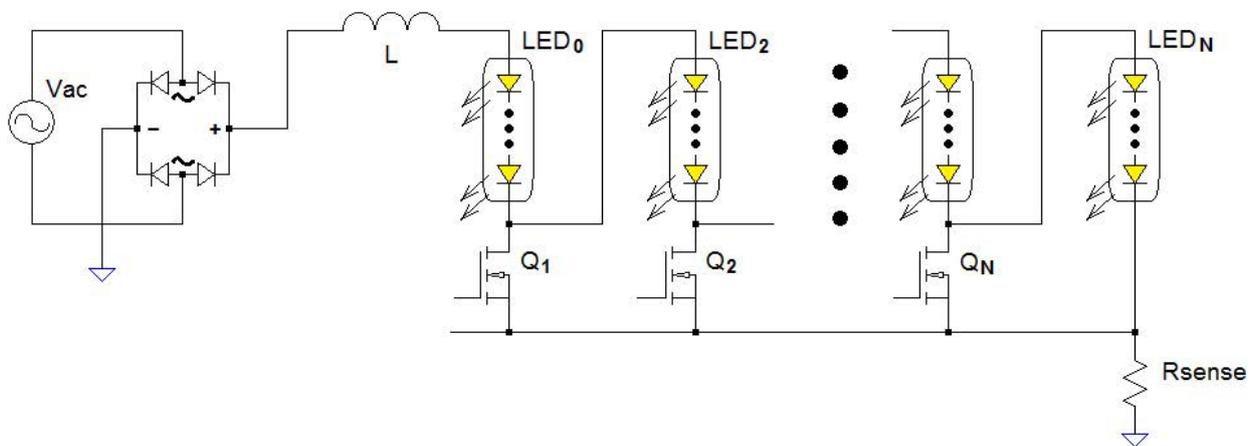


Рисунок 2 – Гибридный светодиодный драйвер предыдущего уровня техники

К сожалению, в топологии медленные светодиоды переведены в импульсный режим переключения, что ограничивает эффективность. Силовые транзисторы Q₁-Q_N и светодиоды работают в режиме жесткого переключения из-за медленных светодиодов и генерируют электромагнитный шум. Кроме того, интенсивность света светодиодов уменьшается в импульсном режиме. Чтобы смягчить эти неблагоприятные эффекты, необходимо либо уменьшить частоту, что приведет к увеличению размера катушки индуктивности, либо уменьшить импульсное напряжение. Снижение импульсного напряжения требует раздробления светодиодных линеек, в то же время увеличения количества линеек и силовых транзисторов, а это усложняет схему.

Одним из способов улучшения гибридного светодиодного драйвера может быть последовательное размещение быстро переключающихся диодов D₁-D_N со светодиодными линейками, как показано на рисунке 3 (стр. 258). Это предотвратит сильные обратные токи восстановления медленных светодиодов. Но недостаток заключается в том, что добавленные диоды генерируют высокие потери проводимости, если количество N светодиодных линеек достаточно велико. Для снижения потерь мощности могут быть применены диоды Шоттки. Конденсаторы C₁-C_N могут быть подключены параллельно к светодиодным линейкам для повышения эффективности генерации света.

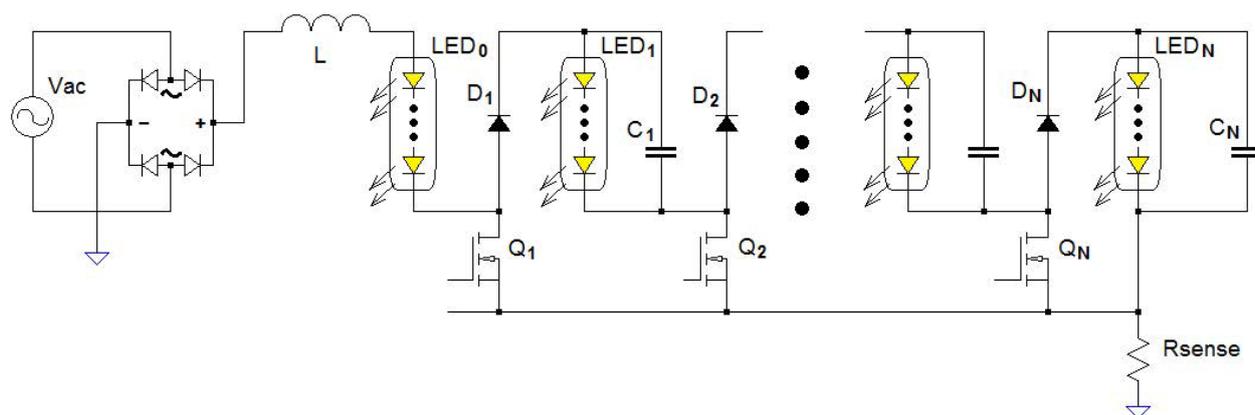


Рисунок 3 – Гибридный светодиодный драйвер

Для уменьшения потерь проводимости диодов на рисунке 3 предложен следующий вариант гибридного светодиодного драйвера, показанный на рисунке 4. Как и на рисунке 3, диоды D_1 - D_N применены для улучшения коммутации светодиодных линеек, но в отличие от рисунка 3 диоды не соединены последовательно со светодиодными линейками. Таким образом, в каждый момент времени проводит только один диод и только два диода работают в импульсном режиме, комплементарно друг другу.

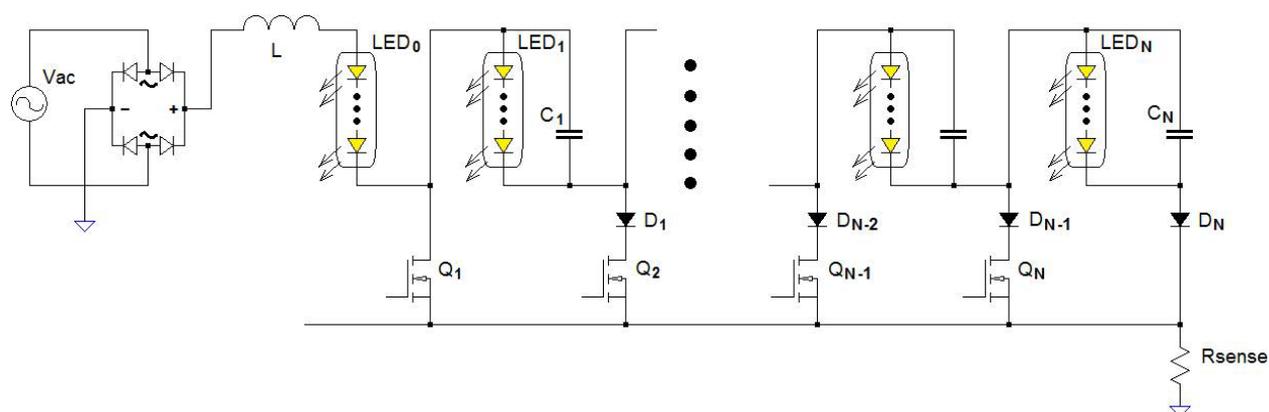


Рисунок 4 – Предлагаемый гибридный светодиодный драйвер

В статье проанализирована работа предлагаемого драйвера для выявления преимуществ. Проведено компьютерное моделирование. Результаты моделирования подтверждают преимущества предлагаемого гибридного светодиодного драйвера.

Материалы и методы

Предложена следующая процедура работы для ключей Q_1 - Q_N . При заданном входном напряжении V_{in} , таком как $V_{LED1} + V_{LED2} + \dots + V_{LED(K-1)} < V_{in} < V_{LED1} + V_{LED2} + \dots + V_{LED(K)}$, выполняется этап (K): транзисторы Q_1 - Q_{K-1} не проводят, транзистор Q_{K+1} – постоянно проводит и только силовой транзистор Q_K работает в импульсном режиме для регулирования мощности. При увеличении или уменьшении входного напряжения предлагаемый драйвер переходит соответственно на этап выше (K+1) или ниже (K-1).

Этап (K), транзистор Q_K включен (см. рисунок 5а).

Транзисторы Q_1 - Q_{K-1} находятся в выключенном состоянии, транзистор Q_{K+1} находится во включенном состоянии, транзистор Q_K находится во включенном состоянии, цепочки

LED₁-LED_{K-1} подключены последовательно к катушке индуктивности L, входной ток I_L увеличивается и достигает заданного верхнего уровня I_{HIGH}(t), поскольку выполняется условие V_{LED1}+V_{LED2}+...+V_{LED(K-1)}<Vin на этапе (K). Диоды D_K-D_N заперты напряжениями V_{D(K)}, ..., V_{D(N)} соответственно, где V_{D(K)} = V_{LED(K)}, V_{D(K+1)} = V_{LED(K)} + V_{LED(K+1)}, ..., V_{D(N)} = V_{LED(K)} + V_{LED(K+1)} + ... + V_{LED(N)}.

Этап (K), транзистор Q_K выключен (см. рисунок 5b).

Транзисторы Q₁-Q_{K-1} находятся в выключенном состоянии, транзистор Q_{K+1} находится во включенном состоянии, транзистор Q(k) находится в выключенном состоянии, цепочки LED₁-LED_{K-1} и LED_K подключены последовательно к катушке индуктивности L, диод V_K проводит входной ток I_L который уменьшается до predeterminedного низкого значения I_{LOW}(t), поскольку выполнено условие V_{in}<V_{LED1}+V_{LED2}+...+V_{LED(K)} на этапе (K). Диоды D_{K+1}-D_N обратимо смещены напряжениями V_{D(K+1)}, ..., V_{D(N)} соответственно, где V_{D(K+1)} = V_{LED(K+1)}, ..., V_{D(N)} = V_{LED(K+1)} + ... + V_{LED(N)}.

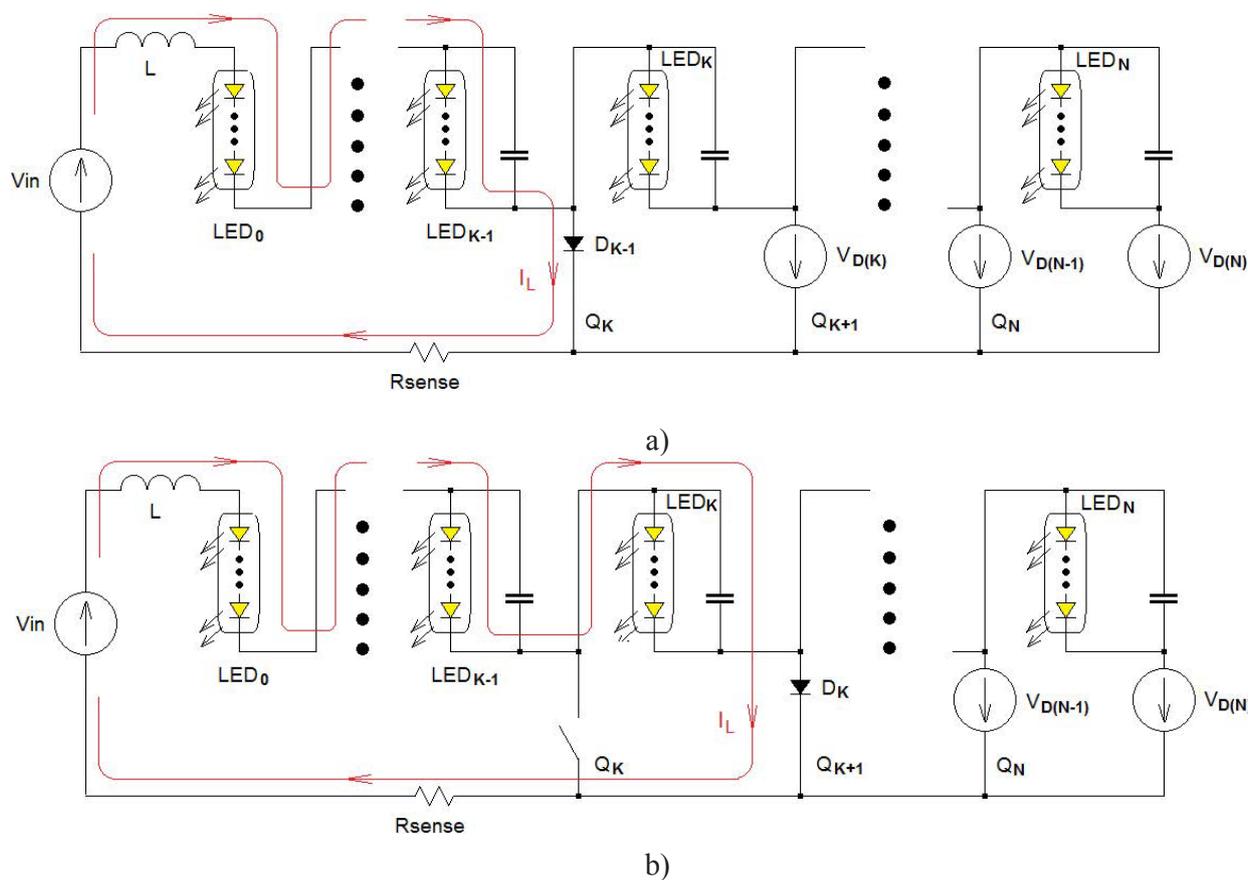


Рисунок 5 – Эквивалентные схемы предлагаемого светодиодного драйвера на этапе (K):

- а) транзистор Q_K находится во включенном состоянии;
- б) транзистор Q_K находится в выключенном состоянии

Амплитуда коммутационных напряжений для катушки индуктивности L, активного транзистора Q_K и активного диода D_K равна напряжению V_{LED(K)} светодиодной линейки V_{LED(K)}.

На рисунке 5 показана компьютерная модель схемы с четырьмя светодиодными линейками, разработанная для моделирования в PSIM. Выбирая значение напряжения падения V_{LED0} на линейке LED₀ (см. рисунок 4), можно управлять интервалом пропуска импульсных переключений при низком входном напряжении V_{in}. На рисунке 5 нет линейки LED₀, таким образом, моделируемая схема генерирует импульсы около Vin=0 включительно. Для простоты ре-

ализовано управление с гистерезисом по входному току. Два компаратора $Comp_L$ и $Comp_H$ сравнивают ток I_L катушки индуктивности с эталонными значениями I_high и I_low . Операционный усилитель $U1$ формирует опорные напряжения I_high и I_low , которые являются выпрямленными переменными сигналами, формирующими направляющие границы для тока I_L катушки индуктивности. DEMUX блок реализует переход между этапами $(K-1) \leftrightarrow (K) \leftrightarrow (K+1)$, передает модулированный импульсный сигнал с триггера на текущий активный ключ Q_K , удерживает значения $Gate(1)-Gate(K-1)$ равным нулю, а значения $Gate(K+1)-Gate(4)$ на высоком уровне.

Для реализации переходов $Stage(K) \leftrightarrow Stage(K+1)$ можно использовать различные алгоритмы для реализации в блоке DEMUX. В блоке DEMUX (рисунок 6) реализованная процедура следующая: а) этап (4) является начальным этапом при первой инициализации; б) если $Comp_L$ срабатывает при понижении тока I_L дросселя ниже нижнего уровня I_low и остается в этом состоянии в течение некоторого времени выдержки DELAY, то происходит переход $Stage(K) \rightarrow Stage(K-1)$; в) если $Comp_H$ срабатывает при повышении тока I_L дросселя выше верхнего уровня I_high и остается в этом состоянии в течение некоторого времени выдержки DELAY, то происходит переход $Stage(K) \rightarrow Stage(K+1)$; д) во всех остальных случаях импульсные сигналы ШИМ триггера напрямую передаются на затвор транзистора Q_K текущего этапа (K).

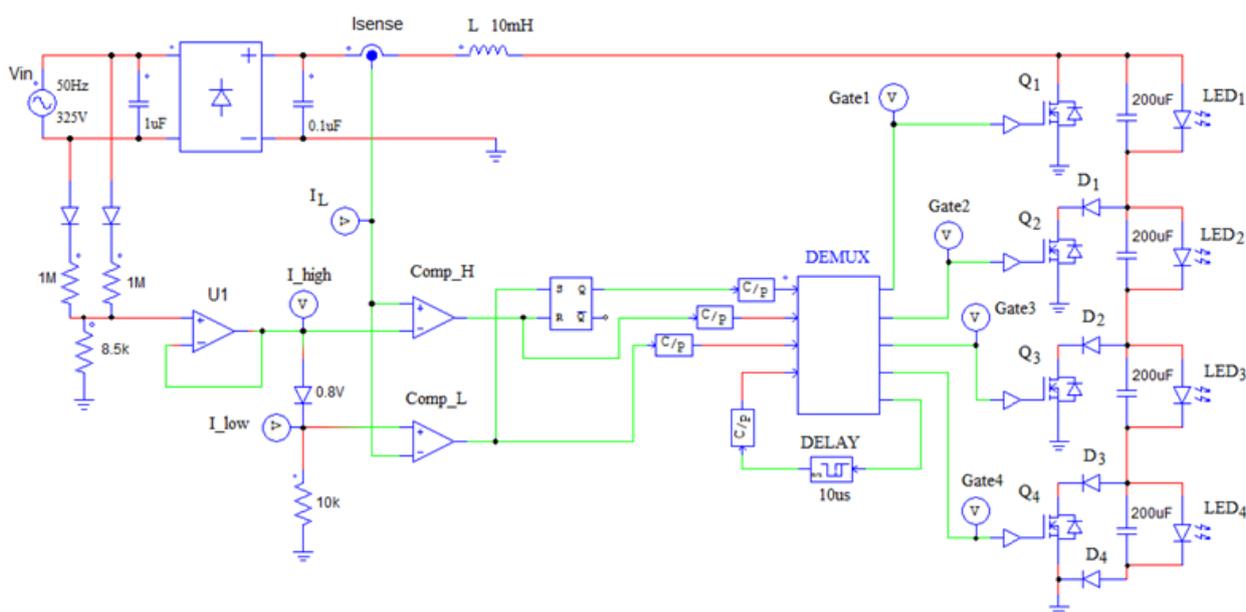


Рисунок 6 – Схема гибридного светодиодного драйвера для моделирования

На рисунке 6 блок демультиплексирования для работы, помимо сигнала триггера, использует выходные сигналы компараторов и блок DELAY.

Результаты и обсуждение

На рисунке 7 (стр. 261) можно увидеть стационарные сигналы результата моделирования для одного полупериода входного напряжения. Входное напряжение $V_{in}=230V$. Для удобства наблюдения катушка индуктивности L выбрана равной $10mГ$, чтобы уменьшить частоту импульсного переключения так, что можно четко отслеживать моделируемые формы сигналов в течение одного полупериода входного напряжения.

Из рисунка 7 видно, что все силовые транзисторы, диоды и дроссель L испытывают низкие амплитуды импульсного напряжения. Это благоприятно для повышения эффективности и

снижения электромагнитных помех. Светодиоды питаются постоянным током, таким образом, достигнута цель исключить жесткую коммутацию светодиодов. Средние токи транзисторов Q_k увеличиваются с индексом K , но общее напряжение на транзисторах V_{ds_k} уменьшается от транзистора Q_1 до Q_4 . Это хороший результат для оптимизации транзисторов. Номинальные значения напряжения и тока диодов D_k увеличиваются при $K=0 \rightarrow 4$. Общая номинальная мощность светодиодных блоков уменьшается с индексом $K=1 \rightarrow 3$, номинальный ток и мощность светодиодного блока LED_4 с самым высоким индексом $K=4$ составляет примерно половину от любой линейки LED_{1-3} , этот факт может быть полезен для оптимизации.

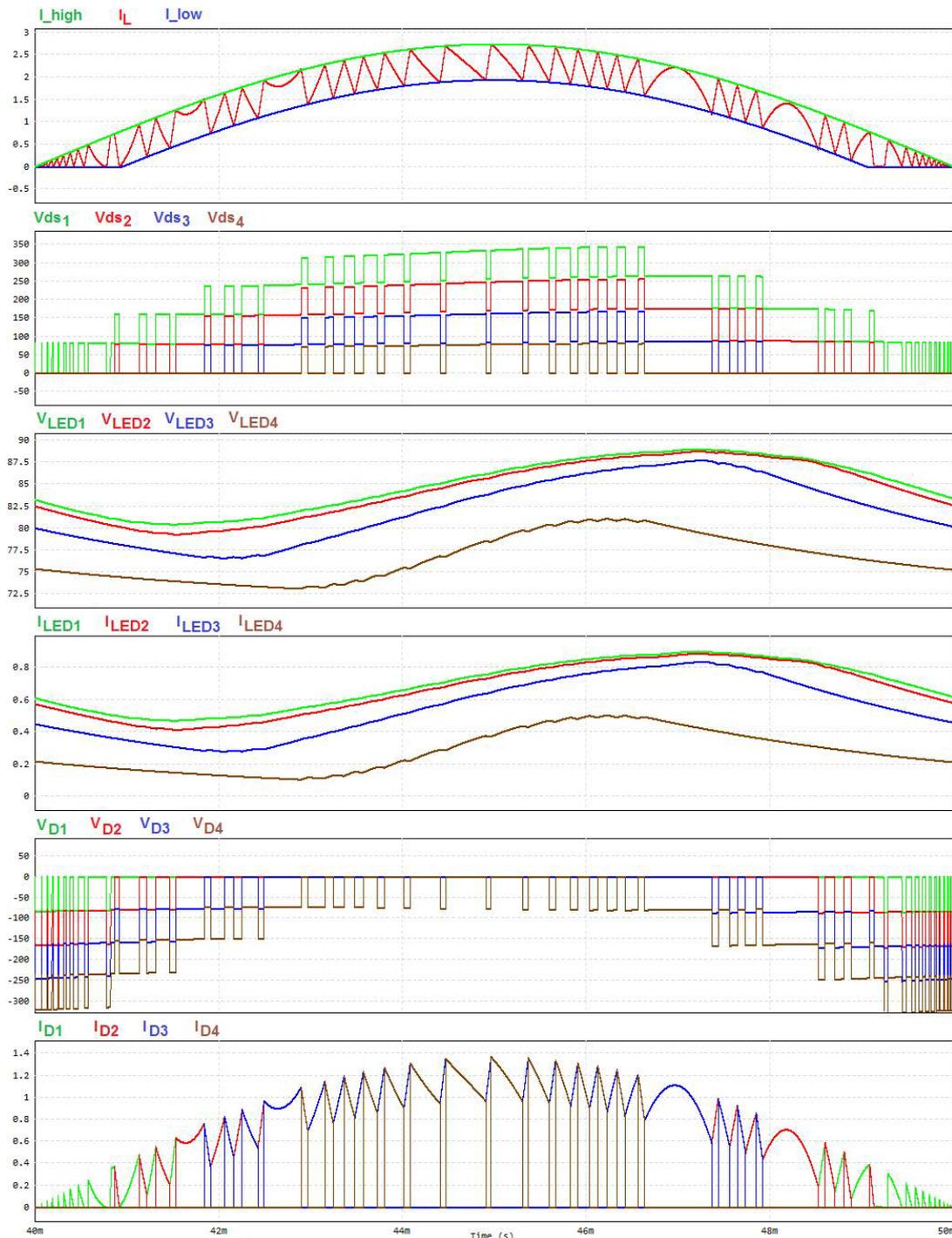


Рисунок 7 – Имитационные сигналы гибридного светодиодного драйвера

Выводы

В статье обсуждаются преимущества и недостатки гибридных светодиодных драйверов. Для устранения недостатков предлагается новый гибридный светодиодный драйвер. Внимание было уделено предотвращению жесткого переключения светодиодов, что повысит эффективность по мощности и уменьшит электромагнитные помехи. Проанализировано предлагаемое усовершенствование гибридного драйвера. Для подтверждения результатов было проведено компьютерное моделирование. Моделирование показывает, что схема, предложенная для предотвращения жесткого переключения светодиодов, верна. В статье были обсуждены методы оптимизации схемы. Уменьшение электромагнитных помех благоприятно сказывается на возможности уменьшения массогабаритных показателей силового дросселя, упрощения фильтра помех по проводам в сеть, уменьшения мероприятий по снижению излучаемых помех. Уменьшение потерь по мощности приводит к возможности уменьшения тепловыделяющих элементов осветительного прибора, уменьшению температуры эксплуатации, увеличению срока службы, уменьшению общей стоимости как прибора, так и стоимости от владения прибором. Благодаря низким потерям мощности предложенный новый гибридный светодиодный драйвер привлекателен для интеграции в микросхему, что позволит далее уменьшить размер и стоимость по сравнению с предыдущими техническими решениями. Интеграция силовых ключей и схемы управления является наиболее эффективным во всех смыслах вариантом применения предложенного решения. Решение имеет потенциально большой эффект как в экономическом плане, так и в экологии. Целью является применение во всех осветительных приборах в деятельности человека. Для дорожного освещения возможно использование трехфазного питания для существенного снижения световых пульсаций. Авторы статьи не планируют ограничиться заявлением о новом решении для драйвера, а в дальнейшем последует публикация результатов практической работы над созданным лабораторным образцом.

Благодарность

Работа финансировалась Комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках проекта АР № 19678370 «Исследование и разработка гибридного светодиодного драйвера».

REFERENCES

- 1 Hwang S.-S., Hwang W.-S., Jang B.-J., Han S.-K. and Kang J.-I. (2014) Cost-effective single switch multi-channel LED driver. 2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, Turkey, pp. 156–161. <https://doi.org/10.1109/EPEPEMC.2014.6980704>.
- 2 Cardesín J., García-Llera D., López-Corominas E., Calleja A.J., Ribas J. and Gacio D. (2013) Low cost intelligent LED driver for public Lighting Smart Grids. 2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances (SmartMILE), Gijon, Spain, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/SmartMILE.2013.6708167>.
- 3 Esteki M., Khajehoddin S.A., Safaee A. and Li Y. (2023) LED Systems Applications and LED Driver Topologies: A Review, IEEE Access, vol. 11, pp. 38324–38358. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3267673>.
- 4 Jha A. and Kumar M. (2018) A wide range constant current LED driver with improved power quality and zero standby. 2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT), New Delhi, India, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ETECHNXT.2018.8385327>.
- 5 Menke M.F., Duranti J.P., Roggia L., Bisogno F.E., Tambara R.V. and Seidel Á.R. (2020) Analysis and Design of the LLC LED Driver Based on State-Space Representation Direct Time-Domain Solution. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 12, pp. 12686–12701. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.2995942>.

6 Abdelmessih G.Z., Alonso J.M. and Tsai W.-T. (2019) Analysis and Experimentation on a New High Power Factor Off-Line LED Driver Based on Interleaved Integrated Buck Flyback Converter. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 4, pp. 4359–4369. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2910785>.

7 Shao J. and Stamm T. (2012) A low cost high power factor primary regulated offline LED driver. *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, Montreal, QC, Canada, pp. 4498–4502. <https://doi.org/10.1109/IECON.2012.6389460>.

8 Osram Licht AG. (2022) Reliability and lifetime of LEDs. Appl. Note 006. https://media.osram.info/media/img/osram-dam-2496614/AN006_Reliability_and_lifetime_of_LEDs.pdf

9 Zhang H. (2018) A Viable Nontesting Method to Predict the Lifetime of LED Drivers, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 6, no. 3, pp. 1246–1251. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2018.2826364>.

10 Barwar M.K., Sahu L.K. and Bhatnagar P. (2022) Reliability Analysis of PFC Multilevel Rectifier Based LED Driver Circuit. *2022 Second International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)*, Raipur, India, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICPC2T53885.2022.9776846>.

11 Demir M., Yildiz A.B. and Ağır T. (2018) Observation of the Effects of Electrostatic Discharge and Lightning Surge on the Reliability of a LED Circuit Driven by Half-Bridge Converter. *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Amalfi, Italy, pp. 1073–1078. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2018.8445297>.

12 Watté P., van Hees G., Engelen R., van Driel W.D. and Chen T. (2021) Reliability of Electronic Drivers: An Industrial Approach. *2021 18th China International Forum on Solid State Lighting & 2021 7th International Forum on Wide Bandgap Semiconductors (SSLChina: IFWS)*, Shenzhen, China, pp. 246–249. <https://doi.org/10.1109/SSLChinaIFWS54608.2021.9675170>.

13 Liu B., Qi J., Yin X. and Sun Y. (2020) Consistency and degradation of electrochemical double layer capacitors under calendar ageing. *2020 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Shanghai)*, Shanghai, China, pp. 1–5, <https://doi.org/10.1109/PHM-Shanghai49105.2020.9280955>.

14 Dzhunusbekov E.J., Orazbayev S.A. (2020) Electrolytic capacitor life time calculation under varying operating conditions, *Journal of Vibroengineering*, vol 22, Issue 3, pp. 721–734. <https://doi.org/10.21595/jve.2019.20733>.

15 Awad K., Abdel-Rahim O., Gaafar M.A. and Orabi M. (2023) Design Methodology of an Electrolytic Capacitorless LED Driver Using SEPIC PFC Converter. *2023 IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE)*, Luxor, Egypt, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/CPERE56564.2023.10119530>.

16 Salazar-Pérez D., Ponce-Silva M., Alonso J.M., Aquí-Tapia J.A. and Cortés-García C. (2021) A Novel High-Power-Factor Electrolytic-Capacitorless LED Driver Based on Ripple Port, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 9, no. 5, pp. 6248–6258. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2021.3066145>.

17 Qu Y. and Qiu L. (2021) I2V2 Average Current Control for Modular LED Drivers, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 1, pp. 78–82. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3005571>.

18 Valipour H., Rezazadeh G. and Zolghadri M.R. (2016) Flicker-Free Electrolytic Capacitor-Less Universal Input Offline LED Driver With PFC, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 9, pp. 6553–6561. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2504378>.

19 Abdelmessih G.Z., Alonso J.M., Spode N. d. S. and M.A.D. Costa.(2020) Electrolytic-Capacitorless Off-Line LED Driver based on Integrated Parallel Buck-Boost and Boost Converter. *2020 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Detroit, MI, USA, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/IAS44978.2020.9334804>.

20 Cao L., Zhu Y. and Wu H. (2020) A New Electrolytic Capacitor-less LED Driver with Coupled-Inductor. *2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, New Orleans, LA, USA, pp. 1537–1543. <https://doi.org/10.1109/APEC39645.2020.9124527>.

21 Abdelmessih G.Z., Alonso J.M., Spode N. d. S. and Costa. (2022) High-Efficient Electrolytic-Capacitor-Less Offline LED Driver With Reduced Power Processing, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 37, no. 2, pp. 1804–1815. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3108137>.

22 Hongbo Gao et al. (2015) An electrolytic-capacitorless and inductorless AC direct LED driver with power compensation. *2015 IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC)*, Taipei, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IFEEEC.2015.7361491>.

23 Hwu K.I. and Tu W.C. (2023) Controllable and Dimmable AC LED Driver Based on FPGA to Achieve High PF and Low THD, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 9, no. 3, pp. 1330–1342. <https://doi.org/10.1109/TII.2012.2226042>.

24 Chou H.-H. (2023) Design and Implementation of the Linear LED Driver, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 70, no. 3, pp. 1059–1063. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2022.3219226>.

25 Zhang H. (2018) Developing highly reliable LED luminaries for high temperature applications using AC-direct driving LED technology. 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), San Antonio, TX, USA, pp. 3466–3470. <https://doi.org/10.1109/APEC.2018.8341602>.

26 Li L., Gao Y. and Mok P.K.T. (2016) A multiple-string hybrid LED driver with 97% power efficiency and 0.996 power factor. 2016 IEEE Symposium on VLSI Technology, Honolulu, HI, USA, pp. 1–2. <https://doi.org/10.1109/VLSIT.2016.7573396>.

27 Dzhunusbekov E.J., Zhubatkhanova M.Sh. LED lighting apparatus with control, patent KZ32513, bul. 22, Nov. 30 2017.

28 Chong K.-H., Gao Y. and Mok P. K.T. (2021) A Customized AC Hybrid LED Driver With Flicker Reduction for High Nominal Range Applications, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 68, no. 5, pp. 1635–1639. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2021.3066416>.

¹Оразбаев С.А.,

PhD, ORCID ID: 0000-0002-7286-9990,

e-mail: sagi.ozarbayev@gmail.com

^{2*}Джунусбеков Е.Ж.,

ORCID ID: 0000-0002-7413-6360, e-mail: erlan555dj@yahoo.com

²Евлоев А.А.,

бакалавр, ORCID ID: 0009-0005-2645-2309, e-mail: abdulvogopovich@mail.ru

²Курмашева А.К.,

бакалавр, ORCID ID: 0009-0008-9570-0021, e-mail: kurmasheva-2002@mail.ru

¹эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, 050040, Алматы қ., Қазақстан

² Қазақстан-Британ техникалық университеті, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ЖАҢА ГИБРИДТІ ЖАРЫҚДИОДТЫ ДРАЙВЕР

Аңдатпа

Мақалада жаңа гибриді жарықдиодты драйвер (hybrid LED driver) ұсынылады. Гибриді жарықдиодты драйвер желіге тікелей қосылу үшін жарықдиодты модульдегі (Direct ACLED module) кіріс кернеуімен синхронды түрде жарықдиодты жолақтарды ауыстыру идеясын және дәстүрлі жарықдиодты драйвердегі (LED driver) импульстік қуатты түрлендіру принципін біріктіреді. Мұндай біріктіру тиімділікті арттырады, электромагниттік кедергілерді азайтады. Қуат шығынының төмендігі арқасында гибриді жарықдиодты драйвер микросхемаға біріктіруге тиімді және қазіргі уақытта қолданылатын дәстүрлі жарықдиодты драйверлермен салыстырғанда өлшем мен шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Алдыңғы деңгейдегі гибриді жарықдиодты драйверлерде жарықдиодты шамдар коммутациялық режимде жұмыс істейді, бұл жарықдиодты шамдардың баяу жұмыс істеуіне байланысты тиімділікті шектейді. Сонымен қатар, мұндай жарықдиодтарының сәулелену қарқындылығы импульстік режимде төмендейді. Ұсынылған жаңа драйвер тиімділікті арттыратын және электромагниттік кедергілерді азайтатын жарық диодтарының қатты жұмыс режимін жоққа шығарады. Мақалада жаңа гибриді драйверге талдау жасалады. Алынған нәтижелерді растау үшін мамандандырылған бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып компьютерлік модельдеу жүргізілді.

Тірек сөздер: гибриді жарықдиодты модуль, желіге тікелей қосылатын жарықдиодты модуль (direct ACLED module), конденсаторсыз жарықдиодты драйвер, жоғары вольтты жарықдиодты драйвер, жарықдиодты көше жарығы, сенімділік.

¹**Orazbayev S.A.,**

Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-7286-9990,
e-mail: sagi.orazbayev@gmail.com

^{2*}**Dzhunusbekov E.ZH.,**

ORCID ID: 0000-0002-7413-6360, e-mail: erlan555dj@yahoo.com

²**Evloev A.A.,**

bachelor, ORCID ID: 0009-0005-2645-2309, e-mail: abdulvogopovich@mail.ru

²**Kurmasheva A.A.,**

bachelor, ORCID ID: 0009-0008-9570-0021, e-mail: kurmasheva-2002@mail.ru

¹Al-Farabi Kazakh National University,

²Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan
Electronics laboratory

A NEW HYBRID LED DRIVER

Abstract

In the paper, the new hybrid LED driver is proposed. The hybrid LED driver combines the idea of pulsed power conversion of a conventional LED driver with the idea of adjusting configurable LED strings synchronously with input voltage like in a direct AC LED module. This synthesis promises to increase efficiency and reduce electromagnetic interference. Due to low power loss a hybrid LED driver is attractive for circuit integration to reduce size and cost compared to the traditional LED drivers. But in the hybrid LED drivers of previous arts the topology exploits LEDs in switch-pulse mode operation, which limits the efficiency because of LEDs slow nature. In addition, the light intensity of the LEDs decreases in pulsed mode. Therefore the new hybrid LED driver is proposed to overcome the drawbacks. The attention was paid to preventing LEDs from hard switching to improve efficiency and alleviate EMI issues. To confirm the results obtained, computer modeling was performed using specialized software.

Key words: Hybrid LED module, Direct AC LED module, Capacitorless LED driver, High voltage LED driver. LED street lighting, Reliability