

УДК 628.931

С.М. Лісовець, к.т.н., доц.
А.С. Зенкін, д.т.н., проф.**ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОСХЕМИ IRS2541 ДЛЯ КЕРУВАННЯ НАДЯСКРАВИМИ СВІТЛОДІОДАМИ В ДЖЕРЕЛАХ ОСВІТЛЕННЯ**Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, ser_lis@voliacable.com

Виконано дослідження режимів роботи мікросхеми IRS2541 як шляхом їх безпосереднього вимірювання на макетній платі, так і шляхом моделювання в пакетах розширення Simscape і SimElectronics пакета Matlab 2012a. Отримані рекомендації щодо вибору режимів роботи мікросхеми IRS2541, які дозволяють створювати джерела освітлення із мінімальною пульсацією світлового потоку та із максимальним відношенням світловий потік/витрата електричної енергії. Встановлено, що застосування мікросхеми IRS2541 дозволяє досягти низької пульсації світлового потоку і, таким чином, зменшити навантаження на зір людини.

Ключові слова: автоколивання, “дімінг”, напівмостовий “драйвер”, надяскраві світлодіоди, світловіддача.

Вступ. Як відомо, в теперішній час питання економії різних видів енергії, і, зокрема, електричної енергії, стоїть дуже гостро. Це пов'язано, в основному, із постійним підвищенням тарифів на електричну енергію та із поступовим вичерпуванням невідновлювальних джерел енергії. Зокрема, актуальною є проблема заміни традиційних ламп розжарювання, які мають питому світловіддачу (10...12) Лм/Вт, на світлодіодні лампи (часто із застосуванням надяскравих світлодіодів), які мають питому світловіддачу (90...160) Лм/Вт. Перевагами світлодіодних ламп, окрім безпосередньо економії електричної енергії, є дуже довгий строк служби (до 50000 годин), відсутність значного тепловиділення, можливість задавати відтінки кольору світіння, можливість регулювання яскравості, відносна екологічна безпека. Основним недоліком світлодіодних ламп є необхідність в застосуванні додаткового джерела живлення. Це джерело живлення перетворює змінну напругу 220 В в електричній мережі в постійний стабілізований струм – такий стабілізований струм є оптимальним живленням для світлодіодів, так як він забезпечує незмінну яскравість їх світіння. Але таке перетворення потребує, зазвичай, спеціалізованих мікросхем із складним алгоритмом функціонування [1].

Постановка завдання. Основним завданням була експериментальна перевірка ефективності застосування мікросхеми IRS2541, яка є розробкою International Rectifier Corporation, для керування світінням надяскравих світлодіодів. Джерело освітлення із застосуванням мікросхеми IRS2541 будувалося згідно із структурною схемою, яка наведена на рис. 1 (та згідно із рекомендаціями [2]).

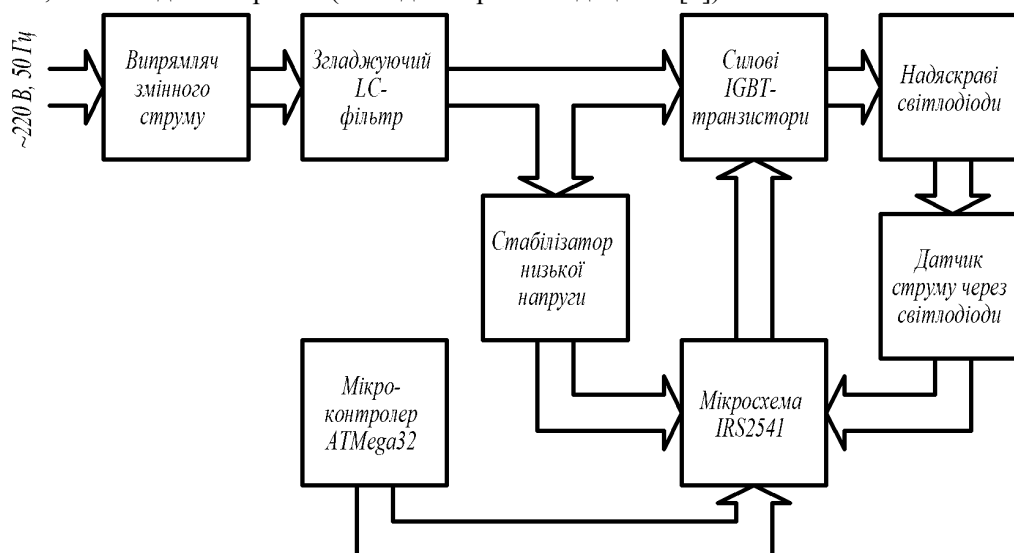


Рис. 1. Структурна схема побудови джерела освітлення із застосуванням мікросхеми IRS2541

Розв'язок поставленого завдання. Відповідно до схеми (див. рис. 1) мережева напруга 220 В частотою 50 Гц випрямлялася та згладжувалася LC-фільтром. Для живлення мікросхеми IRS2541 застосовувався стабілізатор низької напруги. А керування надяскравими світлодіодами здійснювалося за допомогою си-

лових *IGBT* -транзисторів, причому струм через світлодіоди визначався за допомогою датчика струму. Електрична схема застосування мікросхеми *IRS2541* на двох транзисторах *M1* і *M2* показана на рис. 2 (всі позначення елементів відповідають технічній документації фірми *International Rectifier Corporation*) – вона забезпечує менші втрати у порівнянні з аналогічною схемою, але на одному транзисторі [3]. Окремо необхідно зауважити, що до точності підтримання струму через надяскраві світлодіоди (зокрема, за допомогою мікросхеми *IRS2541*) висувалися підвищені вимоги.

Це пов'язано з тим, що згідно із вольт-амперною характеристикою світлодіодів (і загалом більшості діодів) невелика зміна напруги на світлодіоді (декілька відсотків) може привести до значної зміни струму через світлодіод (декілька десятків відсотків).

Згідно із описом мікросхеми *IRS2541*, вона являла собою напівмостовий “драйвер” для живлення ланки з послідовно з'єднаних світлодіодів *HL1...HLn* (див. рис. 2), розрахований на типову напругу живлення до *600 В* (що є досить великим значенням і забезпечує при живленні від мережі *220 В* суттєву перевагу зручності по напрузі) [4, 5].

Між виводами *VBUS* і *COM* прикладалася випрямлена мережева напруга *220 В* частотою *50 Гц*, яка згладжувалася фільтром *L2 – CBUS1*, причому індуктивність котушки *L2* становила *1,5 Гн*, а ємність конденсатора *CBUS1* – *220 мкФ*. Керамічний конденсатор *CBUS2* мав ємність *0,1 мкФ*.

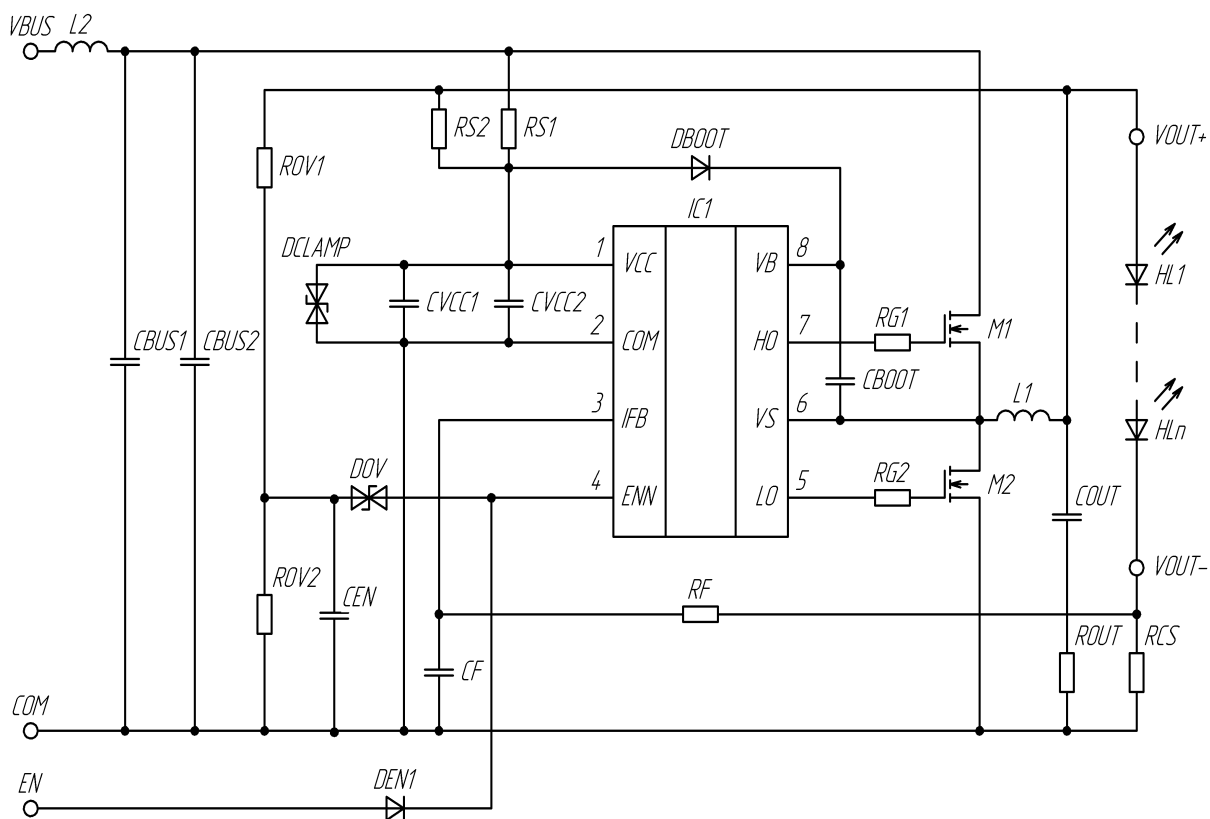


Рис. 2. Електрична схема застосування мікросхеми *IRS2541*

Робота електричної схеми, яку умовно можна поділити на два цикли, полягала в наступному. Протягом першого циклу (див. рис. 3, а) транзистор *M1* був відкритий, а транзистор *M2* був закритий – відповідно, наростаючий струм *I* прямував від проводу живлення через транзистор *M1*, котушку *L1* і світлодіоди *HL1...HLn* до загального проводу. А протягом другого циклу (див. рис. 3, б) транзистор *M1* був закритий, а транзистор *M2* був відкритий – відповідно, спадаючий струм *I* прямував через транзистор *M2*, котушку *L1* і світлодіоди *HL1...HLn* до загального проводу.

Номінали елементів електричної схеми (зокрема, *L1*, *COUT* і *ROUT*) обиралися таким чином, щоб забезпечити загальну тривалість першого і другого циклів приблизно *3 мкс*, що відповідало частоті пульсацій напруги на світлодіодах *HL1...HLn* приблизно *350 кГц* (при частоті комутації транзисторів *M1* і *M2*, яка становила приблизно *500 кГц* і навіть більше, втрати на тепловий нагрів цих транзисторів різко збільшувалися).

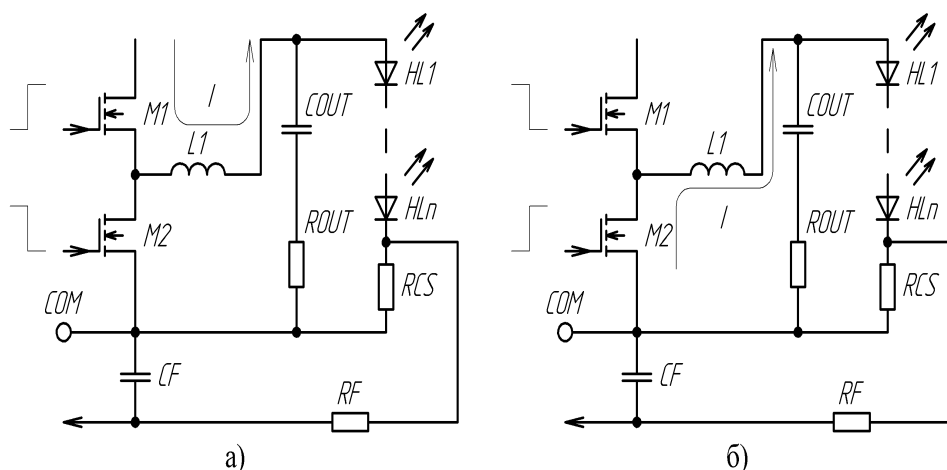


Рис. 3. Робота електричної схеми

В якості світлодіодів $HL1...HLn$ застосовувалися надяскраві світлодіоди типу Cree XM-L2 T6 on Star (white) в кількості 5 шт., які мали типовий робочий струм 0,7 А.

Для формування зворотного зв'язку застосовувався вивід IBF , який підключається до напруги з резистора RCS через фільтр нижніх частот $RF - CF$. Напруга з резистора RCS порівнювалася із напругою 0,5 В від зразкового джерела, вбудованого в мікросхему IRS2541. Опір резистора RCS визначався за наступною формулою:

$$RCS = \frac{0,5 \text{ В}}{0,7 \text{ А}} = 0,715 \text{ Ом}. \quad (1)$$

Постійна часу фільтра нижніх частот $RF - CF$ досить сильно впливала на роботу джерела освітлення. Малі значення постійної часу могли приводити до зриву генерації автоколивань мікросхемою IRS2541, а великі значення постійної часу збільшувало рівень пульсацій напруги на світлодіодах $HL1...HLn$ (і, відповідно, струму через них, що в свою чергу приводило до збільшення рівня пульсацій світлового потоку). При періоді автоколивань на світлодіодах $HL1...HLn$, який становив приблизно 3 мкс (див. вище), стала часу приймалася такою, що дорівнювала також приблизно 3 мкс (тобто мала однакове значення із періодом автоколивань). Звідси при значенні ємності конденсатора CF , яке становило 0,1 нФ, опір резистора RF мав наступне значення:

$$RF = \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{0,1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}} = 30 \cdot 10^3 \text{ Ом}. \quad (2)$$

Моделювання роботи електричної схеми, наведеної на рис. 3, виконувалося в пакеті Matlab 2012a, і зокрема, в його пакетах розширення Simscape і SimElectronics (див. рис. 4). Котушка $L1$ мала типові значення індуктивності 1 мГн і послідовний активний опір 10 Ом, конденсатор $COUT$ – типові значення ємності 4,7 мкФ і паралельну провідність 0,1 мкСм, резистор $ROUT$ – типові значення опору 5,1 Ом.

Для встановлення параметрів світлодіодів $HL1...HLn$ була застосована модель "Exponential", яка передбачала введення двох точок з вольт-амперної характеристики світлодіодів типу Cree XM-L2 T6 on Star (white).

Часова залежність струму через світлодіоди показана на рис. 5. Як можна побачити, значення струму коливалося відносно середнього значення, яке становило 0,7 А. На початку автоколивань можна було спостерігати деяке збільшення значення струму відносно середнього значення, яке можна пояснити перехідними процесами в силових елементах $L1$, $COUT$, $ROUT$ та в ланці зворотного зв'язку $COUT$, $ROUT$.

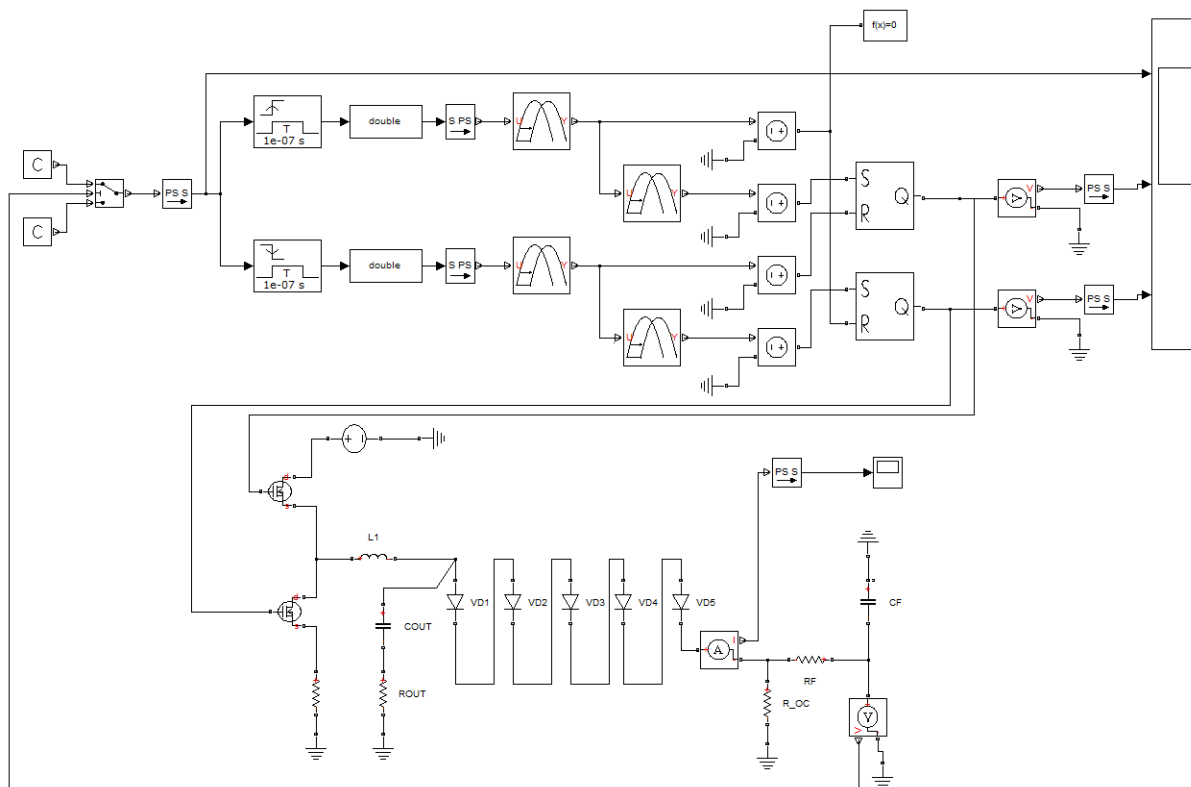


Рис. 4. Схема моделі електричної схеми

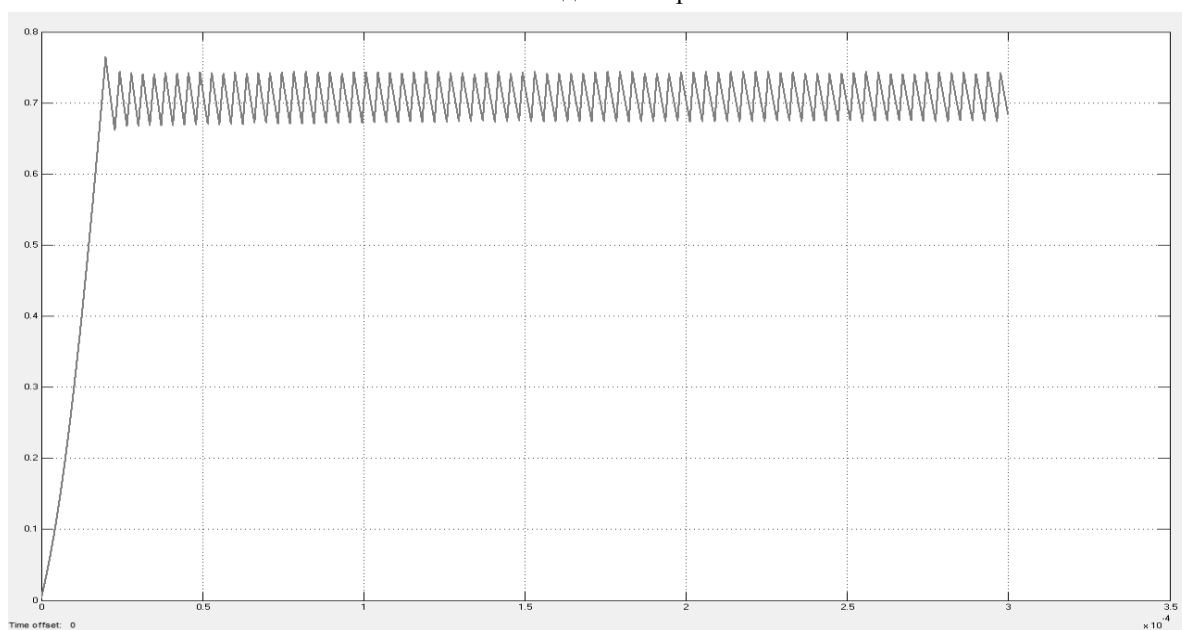


Рис. 5. Діаграма струму через світлодіоди

Необхідно зауважити, що пульсація струму через світлодіоди $HL1...HLn$ була досить значною. Для її зменшення фірма International Rectifier Corporation рекомендує збільшувати значення індуктивності котушки $L1$ до значення приблизно $(1,5...2,2)$ мГн та збільшувати ємність конденсатора $COUT$ до значення приблизно $(33...47)$ мкФ – таким чином можливо зменшення відносних пульсацій струму через світлодіоди до рівня $\pm 1,2\%$ та навіть в кілька раз менше.

Окрім безпосередньо підтримання струму через світлодіоди $HL1...HLn$ в заданих межах мікросхема

IRS2541 дозволяла підтримувати режим “дімінга” (від англійського слова dimming – зменшення сили світла), який полягав у тому, що виконувалася модуляція струму через світлодіоди $HL1...HLn$ прямокут-

ним сигналом, який надходив на вивід ENN . При збільшенні на цьому виводі напруги до значення $2,7 B$ автоколивання блокувалися, а при зменшенні до $2,0 B$ – знову відновлювалися.

Тобто, наприклад, через світлодіоди $HL1...HLn$ або йшов типовий робочий струм $0,7 A$, або струм не йшов зовсім. Без застосування додаткових схемних рішень діапазон “дімінгування” становив від $0,1$ до $1,0$, тобто можна було досягти наступного мінімального струму через світлодіоди $HL1...HLn$:

$$0,1 \cdot 0,7 A = 0,07 A. \quad (3)$$

Частота такої модуляції прямокутним сигналом обиралася наступним чином: з одного боку, вона не повинна була перевищувати кількох десятків кілогерц для забезпечення стабільної роботи мікросхеми IRS2541; з іншого боку, вона не повинна була бути меншою кількох сотень герц для зменшення впливу пульсацій світлового потоку на зір людини. Таким чином, вона була обрана такою, що дорівнювала приблизно 2 кГц .

Для формування прямокутного сигналу застосовувався мікроконтролер ATmega32 виробництва Atmel Corporation, тактова частота якого становила 8 МГц . Програмне забезпечення для мікроконтролера ATmega32 створювалося в безкоштовному середовищі розробки Atmel Studio 6.2 на мові програмування C, а безпосередньо програмування здійснювалося за допомогою програматора-налагоджувальника Atmel JTAGICE3 через інтерфейс SPI.

Для гальванічного розв’язування портів мікроконтролера ATmega32 і входів мікросхеми IRS2541 застосовувалися діодні оптрони.

Необхідно також зауважити, що застосування засобів обчислювальної техніки дозволяло не тільки безпосередньо керувати яскравістю світіння світлодіодів, але й суттєво розширювало функціональність джерел освітлення: керування яскравістю світіння по заданій програмі або вручну, змінювання яскравості світіння в залежності від природного освітлення, змінювання яскравості світіння в залежності від наявності чи відсутності людей в зоні освітлення одночасне керування кількома джерелами освітлення і так далі.

Висновки.

Застосування в джерелах освітлення спеціалізованої мікросхеми IRS2541 (при правильному підборі параметрів силових елементів в вихідному каскаді та параметрів елементів у зворотному зв’язку) дозволяло досягти певних переваг у порівнянні із аналогічними технічними рішеннями інших фірм-виробників, а саме: досягти мінімальної пульсації світлового потоку; звести необхідну кількість електронних компонентів до мінімуму; звести до мінімуму власне споживання електричної енергії і, таким чином, створювати дуже компактні джерела освітлення; керувати джерелами освітлення з потужністю світлодіодів, яка вимірювалася кількома десятками або навіть сотнями ват; створювати складні джерела освітлення із кількістю світлодіодів від кількох десятків до кількох сотень та єдиним центром -керування освітленням і так далі.

А застосування для керування мікросхемою IRS2541 засобів обчислювальної техніки, і зокрема мікроконтролера ATmega32 (або аналогічного), дозволяло гнучко змінювати режим освітлення в залежності від умов зовнішнього середовища (і при цьому ще додатково економити електричну енергію).

Список літературних джерел

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под. ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. / Ф. Шуберт. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. International Rectifier Reference design IRPLLED1 350 mA to 1.5 A High Voltage LED Driver using IRS2540.
3. Звонарев Е. Высоковольтные драйверы мощных светодиодов / Е. Звонарев // Новости электроники. – 2009. – № 1 (65). – С. 12–14.
4. International Rectifier Datasheet IRS254(0,1)(S)PbF LED buck regulator control IC.
5. International Rectifier Application Note AN-1131 Universal Input (90 VAC – 265 VAC) LED Driver Using IRS2541.