

## SPICE-МОДЕЛЬ ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДОВ

### SPICE-MODEL OF DRIVER FOR LEDS

**В** статье приведены результаты моделирования бестрансформаторного драйвера светодиодов, построенного на базе новых микросхем TPS92411.

*Abstract – This article intends to provide a brief overview the inductorless 230V AC linear direct driver of LEDs.*

*В. Охрименко*

*V. Okhrimenko*

### ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемая составляющая светодиодных ламп – драйвер светодиодов – устройство преобразования переменного сетевого напряжения в ток, протекающий через светодиоды [1-4].

Идеальный драйвер светодиодов – драйвер, поддерживающий постоянное значение тока, протекающего через светодиоды. Преимущества бестрансформаторных драйверов светодиодов – отсутствие импульсного AC/DC- или DC/DC-преобразователя и соответственно – катушки индуктивности или трансформатора, а также громоздкого помехоподавляющего фильтра, что позволяет снизить стоимость и габариты светодиодной лампы.

Ряд компаний выпускает микросхемы, ориентированные на создание недорогих неизолированных бестрансформаторных источников питания светодиодов, предназначенных для применения в разных приложениях. В их числе Integrated Crystal Technology Inc. (DR3062), Supertex Inc. (CL8800/01), Texas Instruments (TPS92411) и другие. Эти микросхемы обеспечивают типовое значение  $PF > 0.9$ , КПД – более 80% и THD – менее 25%.

Ведущие компании-производители крайне заинтересованы в продвижении своей продукции на рынок и поэтому предлагают разработчикам всестороннюю помощь в разработке конечных изделий. Так, на web-сайтах многих компаний можно найти программное обеспечение (ПО) для разработки драйверов светодиодов с применением микросхем, выпускаемых этими производителями. Как правило, использование ПО позволяет выполнить рас-

чет номинальных значений компонентов драйвера, мощности, потребляемой его компонентами (выходным транзистором, диодом, катушкой индуктивности и пр.), а также расчет КПД драйвера. Зачастую можно ознакомиться с результатами моделирования схемы, что во многом облегчает понимание особенностей работы драйвера в разных режимах.

На web-сайте компании Texas Instruments можно найти программные и аппаратные средства, использование которых позволяет получить предварительную оценку выходных характеристик и существенно ускорить и упростить разработку драйвера светодиодов, созданного на базе микросхемы TPS92411. Это программы в формате Excel для расчета номинальных значений компонентов и параметров драйвера светодиодов с использованием микросхемы TPS92411. Имеются демонстрационные платы (evaluation board module) драйверов светодиодов для сетевого напряжения 230 и 120 В [2, 3]. В документации на эти платы приведены электрические схемы, характеристики драйверов, а также осциллограммы, поясняющие принцип их работы. Параметры драйвера светодиодов для сетевого напряжения 230 В даны в таблице [2].

В настоящее время использование программ SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis – программ моделирования с ориентацией на интегральные схемы) стало неотъемлемой частью разработки не только интегральных схем, но и устройств, содержащих ИМС. Не секрет, что использование программ моделирования при разработке новых аналоговых, цифровых и аналого-цифро-

вых устройств позволяет сократить сроки разработки, отладки и тестирования законченных устройств. Вполне очевидно, что схему проще моделировать с использованием персонального компьютера, чем макетировать с паяльником в руках. Кроме того, возможность в процессе моделирования выполнить проверку характеристик модели в широком диапазоне изменения параметров компонентов, температуры окружающей среды и пр. позволяет ускорить разработку схем.

Поэтому неудивительно, что компания Texas Instruments предоставляет также PSpice-модель микросхемы TPS92411 (TPS92411 Simulation Model) и, созданную на ее базе модель драйвера светодиодов, предназначенного для работы при сетевом напряжении 120 В ([www.ti.com/product/tps92411](http://www.ti.com/product/tps92411)).

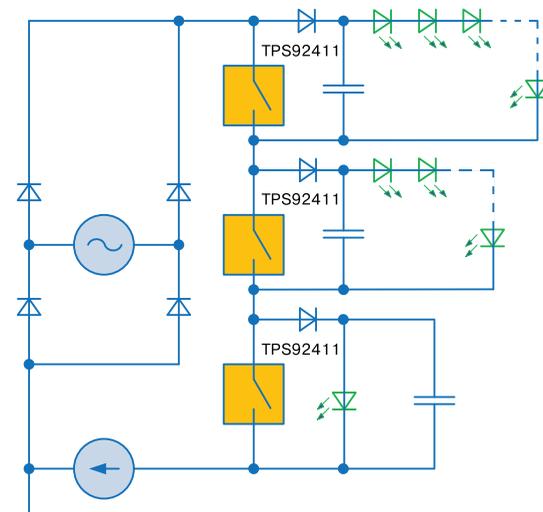
**Параметры драйвера светодиодов с использованием ИМС TPS92411**

Параметр	Значение
Номинальная вых. мощность, Вт (при напряжении сети 230 В)	16
Напряжение сети, В	190...260
Максимальный потребляемый ток, мА	80
Пульсации выходного тока, %	23
Пульсации выходного тока в каждой секции, мА (от пика до пика)	30
КПД, %	77
Коэффициент мощности	0.966
THD, %	16.6

В статье приводятся результаты моделирования бестрансформаторного драйвера светодиодов, построенного на базе микросхемы TPS92411. В качестве программы схемотехнического моделирования использовалась программа PSpice A/D OrCAD v.16.5.

**ИМС TPS92411**

Анонсированная в конце 2013 года микросхема TPS92411 представляет собой, по сути, "плавающий" МОП-ключ с устройством



**Рис. 1. Структура драйвера светодиодов с применением ИМС TPS92411**

управления [1-3]. Структурная схема драйвера светодиодов с применением ИМС TPS92411 приведена на рис. 1.

Сопротивление транзисторного ключа в открытом состоянии 2 Ом (типичное значение), допустимое напряжение 100 В, скорость нарастания выходного напряжения при включении составляет 1 В/мкс. Для управления состоянием (вкл./откл.) встроенного коммутирующего МОП-транзистора используются RS-триггер и два компаратора с регулируемым напряжением срабатывания, устанавливаемым с использованием всего двух внешних резисторов. Микросхема изготавливается в корпусе SOT23-5 или SO-8 Power-Pad и обеспечивает максимальный ток до 200 или 350 мА соответственно. Диапазон допустимой температуры кристалла -40...165 °С. Тепловое сопротивление R<sub>jb</sub> – 38 или 39.1 °С/Вт (в зависимости от типа корпуса). Использование микросхемы TPS92411 в драйверах светодиодов обеспечивает получение коэффициента мощности более 0.9 [4].

**МОДЕЛЬ**

В модели драйвера используются модели светодиодов типа Cree XLamp MX6S LED (световой поток 100-130 лм в зависимости от груп-



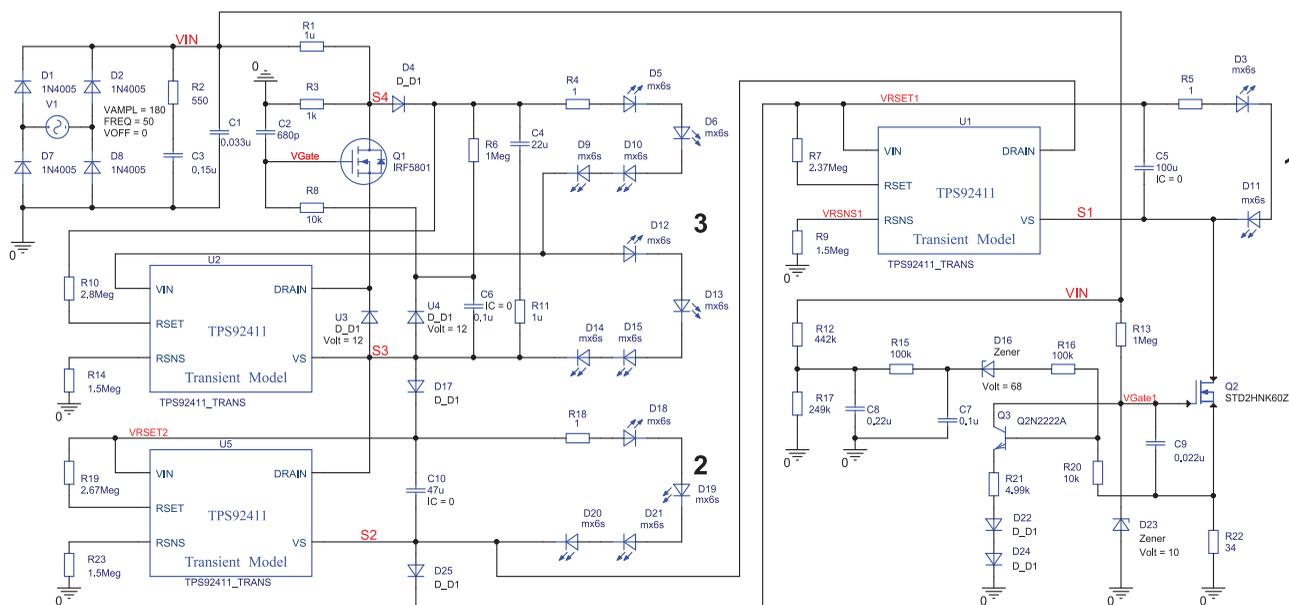
**Рис. 2. Вольтамперная характеристика светодиода XLamp MX6S**

пы). Типовое значение падения напряжения при прямом токе 60 мА – 20 В. Вольтамперная характеристика светодиодов MX-6S LED приведена на рис. 2.

На рис. 3 приведена схема (OrCAD) модели драйвера светодиодов с применением микросхемы TPS92411. Данная схема получена в результате несложной доработки схемы драйвера TPS92411 PSpice Transient Model (Simulation Models), которую можно найти на web-сайте компании Texas Instruments. Модифицированная схема модели драйвера предназначена для использования при сетевом напряжении 230 В. Цепочка подключаемых светодиодов разбивается на три секции таким образом, чтобы сумма падения напряжения на секциях была примерно равна амплитудному значению

сетевое напряжения. При напряжении сети 230 В рекомендуемые значения: 40, 80 и 160 В [1, 2].

Напряжение порога срабатывания встроенного компаратора, при котором происходит размыкание ключа, выбирается примерно на 8-12 В выше падения напряжения на соответствующих подключенных секциях светодиодов. Для приведенной на рис. 3 схемы – это 49, 89 и 169 В. Рекомендуемое напряжение порога, при котором происходит замыкание МОП-ключа, составляет примерно 6 В. Таким образом, при достижении напряжения 49 В на первой секции (1) светодиодов встроенный в ИМС U1 МОП-транзистор переходит в закрытое состояние и происходит разрядка подключенного к секции конденсатора (C5) через входящие в нее светодиоды. Стабилизатор тока (Q2, Q3) поддерживает заданный ток при изменении сетевого напряжения. Величина тока определяется необходимой мощностью и соответственно сопротивлением резистора R22. К примеру, при потребляемой мощности 16.6 Вт, величина тока составляет 0.072 А (16.6 Вт/230 В) и сопротивление резистора R22 равно 34.8 Ом [2]. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы драйвера, приведены на рис. 4. Графики изменения тока, протекающего через секции светодиодов при разных значениях емкости фильтрующих конденсаторов (C4, C5, C10), приведены на рис. 5.



**Рис. 3. Модель драйвера светодиодов с использованием ИМС TPS92411**

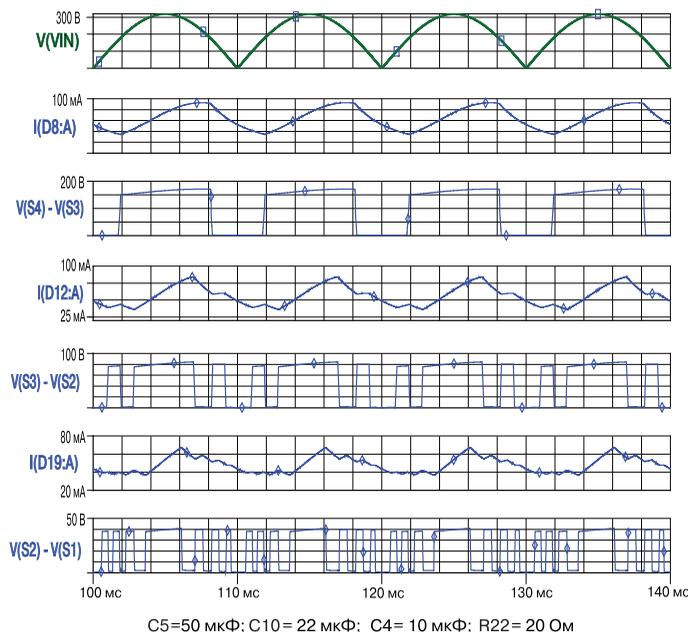


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы драйвера

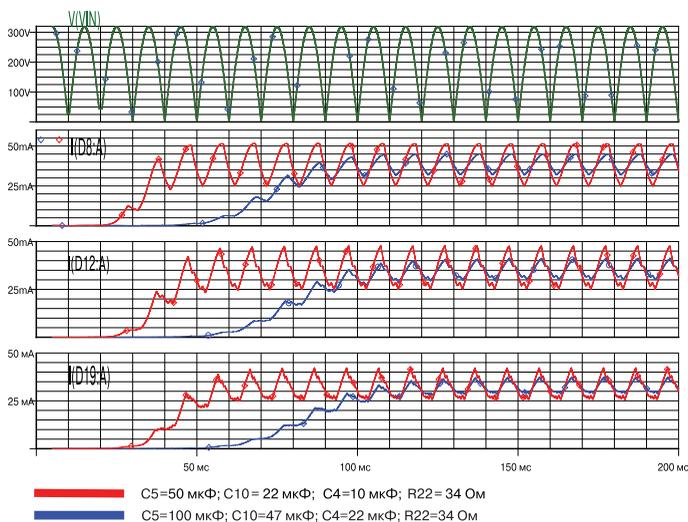


Рис. 5. Графики изменения тока, протекающего через секции светодиодов

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование предоставляемой компанией Texas Instruments PSpice-модели драйвера светодиодов, созданного на базе ИМС TPS92411, позволяет выполнить анализ характеристик модели при изменении параметров компонентов и, в конечном счете, ускорить разработку драйвера.

Недорогие и надежные неизолированные бестрансформаторные драйверы светодиодов, выполненные на базе ИМС TPS92411, могут найти применение в светодиодных лампах, ориентированных на разные приложения, в том числе и светильниках для ЖКХ.

Более полную информацию об ИМС TPS92411 можно найти в [1-4].

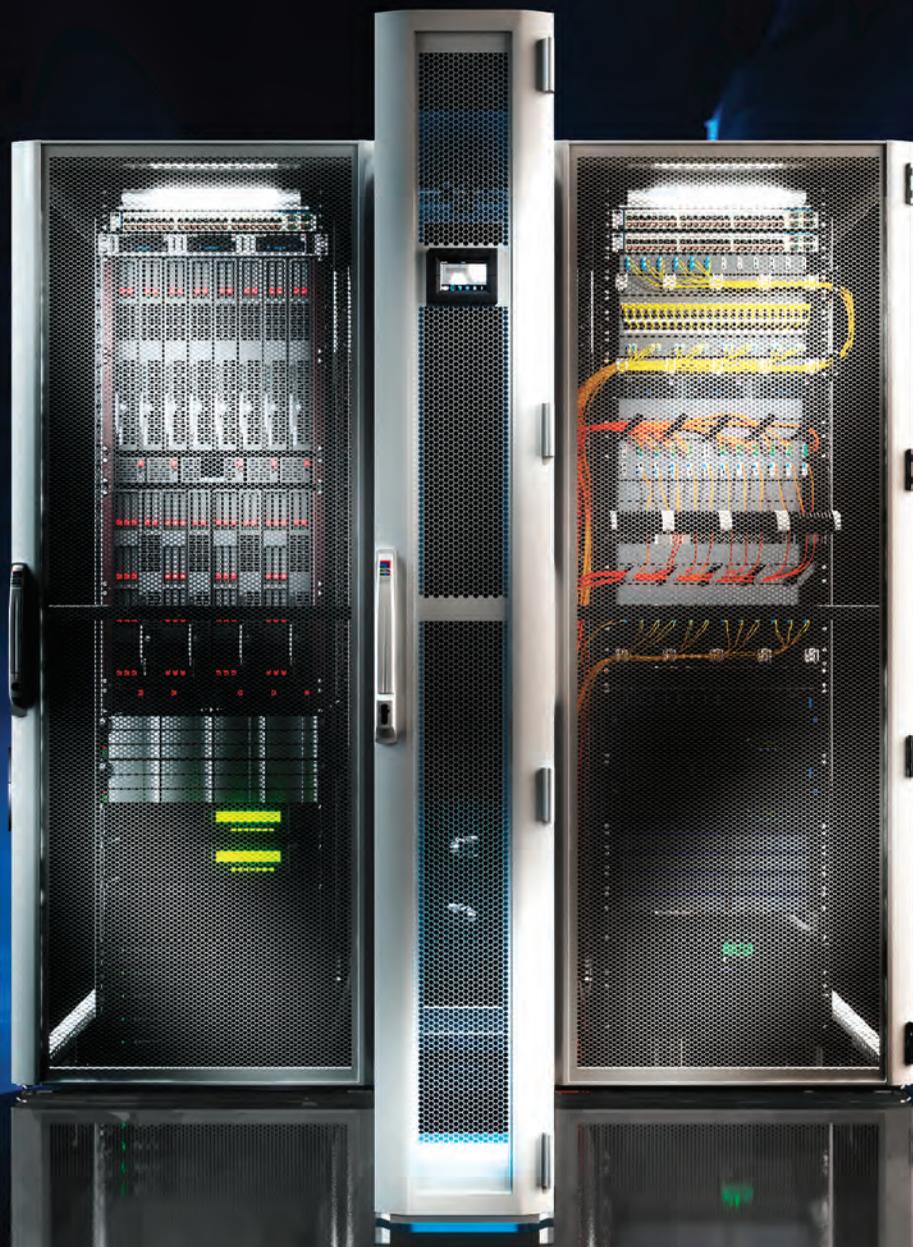
### ЛИТЕРАТУРА

1. Floating Switch for Offline AC Linear Direct Drive of LEDs with Low Ripple Current. – Texas Instruments, October 2013(www.ti.com).
2. TPS92411EVM-002 Offline LED Driver. Evaluation Module. User's Guide SLVUA08. – Texas Instruments, December 2013 (www.ti.com).
3. Switch Controlled Direct Drive Switch for Offline LED Drivers. User's Guide SLVU965. – Texas Instruments, October 2013 (www.ti.com).
4. Охрименко В. Драйверы светодиодов // ЭКИС – Киев: VD MAIS, 2014, № 2-3.

**Уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!**

По не зависящим от редакции обстоятельствам выпуск журнала в 2014 году будет осуществляться один раз в квартал.

Приносим свои извинения и надеемся на взаимопонимание.



Телекоммуникационные шкафы TS IT  
теперь соответствуют классу защиты  
от воздействия окружающей среды IP55



[www.rittal.com](http://www.rittal.com)



**VD MAIS** – официальный дистрибьютор компании Rittal в Украине

тел.: (044) 220-0101, 492-8852, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (0692) 544-622, (032) 245-5478  
info@vdmairs.kiev.ua, [www.vdmairs.kiev.ua](http://www.vdmairs.kiev.ua)