

Автоматизированное проектирование светодиодного драйвера на микросхемах серии Altair

Станислав Косенко, заслуженный рационализатор РФ

Юрий Емельянов, руководитель направления Активные Компоненты PT Electronics
st@ptelectronics.ru

Данная публикация является логическим продолжением вышедшей в прошлом номере нашего журнала статьи, посвященной новому семейству микросхем DC/DC-преобразователей Altair компании STMicroelectronics. Тогда мы рассмотрели устройство и функциональные особенности устройства, теперь же переходим к практической части — проектированию LED-драйвера с помощью предлагаемых производителем онлайн-инструментов.

На страницах «Вестника электроники» мы многократно рассказывали об автоматизированном проектировании различных импульсных устройств с помощью разработанной инженерами STMicroelectronics программы VIPer Design Software, в частности, в одной из первых публикаций [1]. Данная программа много лет находилась в свободном доступе на сайте компании и даже сейчас пользуется заслуженной популярностью у инженеров и конструкторов. Но с появлением на мировом рынке новых поколений микросхем VIPer-plus и семейства Altair данная программа могла быть использована лишь в эскизном проектировании новых устройств. Конечно, можно было бы модернизировать последнюю версию программы VIPer Design Software (v.2.24), однако разработчики STMicroelectronics выбрали совершенно иную технологию проектирования импульсных устройств на производимых фирмой микросхемах. Поскольку повсеместно для пользователей стал доступным безлимитный скоростной Интернет, вполне оправданным оказалось интерактивное онлайн-проектирование, для чего необходимо всего лишь зарегистрироваться на портале <<https://my.st.com>> и получить учетную запись. В результате любой пользователь получает неограниченный доступ как к средствам автоматизированного про-

ектирования программного комплекса eDesign Studio, так и ко всевозможным учебным и справочным материалам.

Ресурсы собственной страницы my.ST

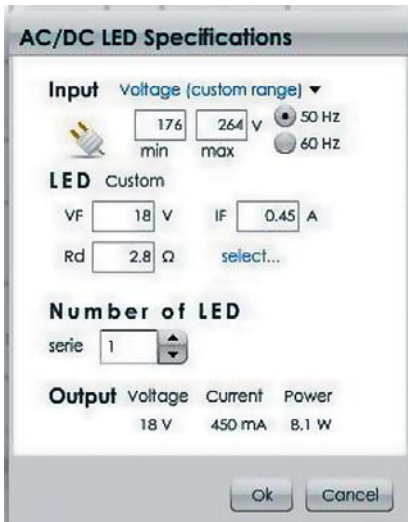
При входе на собственную страницу my.ST сайта пользователь получает возможность осуществлять различные рабочие записи и редактировать их. Прежде всего, это касается создаваемого на странице профиля пользователя (сведений о себе), а также подписки по электронной почте на ежемесячные новостные выпуски от STMicroelectronics. Немаловажной представляется категория записей, где в конструкторской деятельности регистрируются предпочтения при выборе рабочих инструментов и элементной базы. Существует также возможность заказа образцов продукции STMicroelectronics для эскизного конструирования приборов на их основе с последующими испытаниями. Создатели сайта предусмотрели возможность свободного общения конструкторского сообщества на электронных форумах портала ST.com. К сожалению, например, на форуме AC/DC-преобразователей за два года (с 2010 по 2012) число записей всех участников можно пересчитать по пальцам, и ни в одной обсуждаемой теме нет решения возникших конструкторских проблем.

Кроме того, теоретически существует возможность получить прямую онлайн-консультацию, отправив со своей страницы вопрос группе поддержки ST Online support team. Однако по факту ответы на запросы не приходят, вероятно, в связи с высокой занятостью сотрудников компании. В данном случае гораздо целесообразнее обращаться за техподдержкой через официального дистрибьютора — компанию «Петро-ИнТрейд».

В любом случае, указанные недостатки в организации онлайн-проектирования не умаляют положительных технических возможностей программного комплекса eDesign Studio, доступ к которому получает любой пользователь после регистрации.

Проектируем светодиодный драйвер в eDesign Studio

Приступая к проектированию светодиодного драйвера, после запуска программы командой Create new project (создать новый проект) следуем рекомендации Please select the project type (пожалуйста, выберите тип проекта). Из предлагаемых вариантов проектирования последовательно исполняем: Appl. Type — LED Driving — AC/DC — Create (типовая схема применения — управление светодиодом — сеть переменного тока как источник питания — создать). В результате появится главное окно проектирования, разделенное на две части. Слева — показанное на рис. 1 окно AC/DC LED Specifications (спецификация исходных данных для выбранного источника питания и светодиода), справа — рабочее окно проектирования, в котором для начального этапа представлен

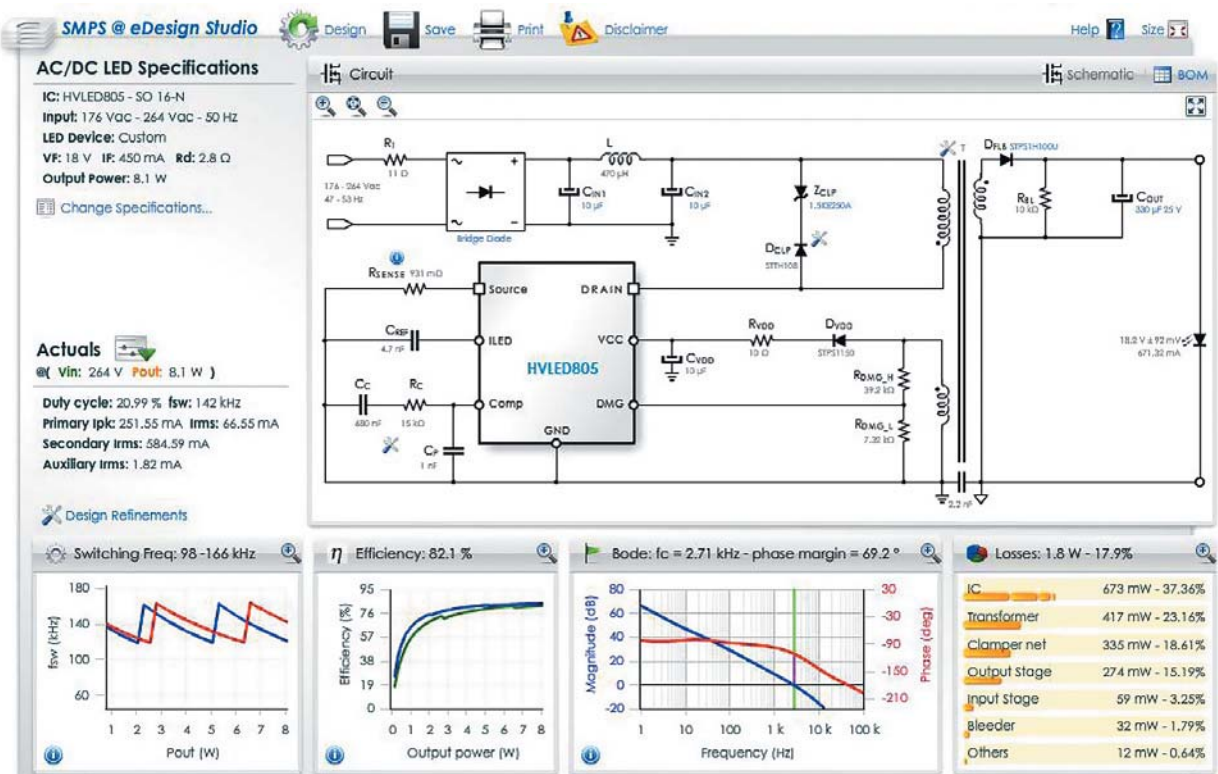


● Рис. 1. Рабочее окно проекта с исходными данными

набор Ics Collection (перечень микросхем), удовлетворяющих введенным исходным данным. Переходим к заполнению окна с исходными данными. Для сетевого напряжения 220 В с допустимым отклонением $\pm 20\%$ от номинального значения в поле Input voltage min вносим 176 В, max — 264 В. Частоту переменного сетевого напряжения оставляем равной 50 Гц, выбранную программой по умолчанию.

Требуемые для проектирования параметры светодиода программа внесет в соответствующие поля автоматически, если используемый светодиод присутствует во вложенном в программу списке, для чего следует активировать расположенную рядом с заполняемыми полями команду select (выбрать) и указать выбранный типонаминал. К сожалению, по вполне понятным причинам среди вложенных в список наименований нужный светодиод отсутствует, поскольку в проекте мы будем использовать одну из последних разработок лидера в производстве светотехнической продукции — фирмы Samsung LED. Примененный в нашем проекте 11-Вт светодиод SPHCWTHDD803WHR0JC [2] характеризуется не только чрезвычайно высокой энергоэффективностью 120 лм/Вт и по сравнению с конкурентными изделиями достаточно низкой ценой, но и удачным конструктивным исполнением, позволяющим без специальной технологической оснастки (программируемых инфракрасных печей и пр.) сопрягать производимые световые приборы с теплоотводами. Пример такого исполнения будет показан в заключительной статье цикла в следующем выпуске «Вестника электроники».

Если обратиться к таблице Electro-Optical characteristics (электрооптические параметры) [2], в режиме использования 8 Вт выбранного светодиода получим значение его прямого тока равным 0,46 А при напряжении 17,6 В. Заполняем в окне с исходными данными поле $V_F=18$ В (небольшой запас по отношению к расчетному значению 17,6 В позволит в случае необходимости скомпенсировать технологический разброс режимов микросхемы драйвера) и поле рабочего тока $I_F=0,45$ А. При вводе значения 0,46 А программа предупреждает пользователя о максимально допустимом значении тока 0,45 А, что связано с превышением максимально допустимой выходной мощности преобразователя для микросхемы HVLED805, выбираемой из представленного программой набора микросхем ICs Collection после выполнения команды Filter by IC. По исполнению данной команды в рабочем окне проектирования будет представлен эскизный вариант проекта без указания номиналов используемых элементов. Для дальнейшего развития проекта исполняем команду Design (рассчитать), пиктограмма которой расположена на верхней кромке рабочего поля проекта (рис. 2).



● Рис. 2. Общий вид рабочего стола с программой eDesign Studio

При этом программа генерирует проект, удовлетворяющий пользовательским исходным данным, и открывает показанное на рис. 3 окно для первого этапа проектирования. Проектирование может быть выполнено как в автоматическом режиме, для чего следует нажать клавишу Auto Complete (исполнить автоматически), так и поэтапно, когда пользователь может корректировать в допустимых пределах результаты программных вычислений. Приступим к первому этапу проектирования.

Первый этап: Input Stage Design

Расчет входного каскада, как показано на рис. 3, включает в себя выбор емкости сглаживающего фильтра выпрямленного сетевого напряжения C_{in} selection и параметров входного мостового выпрямителя Bridge Diode selection. По умолчанию программа в автоматическом режиме выбирает наиболее экономичный (с точки зрения минимальной стоимости комплектующих элементов) для проекта вариант питания проектируемого устройства. Однако в условиях воздействия индустриальных сетевых помех, обуславливающих возникновение провалов напряжения, недостаточная емкость фильтра может привести к чрезмерному снижению выпрямленного сетевого напряжения и паузе в работе преобразователя.

Если, например, оставить выбранную по умолчанию емкость фильтрующего конденсатора равной C_{in}=4,7 мкФ, при отсутствии выпадающих периодов се-

тевого напряжения (Hold up cycles = 0) интервал выпрямленного рабочего напряжения DC operating voltage составит примерно 162...373 В (рис. 3). В условиях максимальных сетевых помех (Hold up cycles = 1), когда в сетевом напряжении периодически выпадает целый период синусоиды, при выбранной программой емкости фильтра C_{in}=10 мкФ он продолжит удерживать выходное рабочее напряжение, но в момент помехи оно снизится до 54 В. При этом программа выдаст предупреждение о необходимости увеличения емкости, так как рабочее напряжение не должно снижаться ниже значения 70 В. Поэтому в поле значений C_{in} вносим значение 20 мкФ, тогда удерживаемое рабочее напряжение возрастает до 174 В. Номинальное допустимое напряжение конденсатора фильтра, указанное программой (C_{in} voltage rating), должно быть не менее 400 В.

Для выбранных параметров сетевого напряжения и сглаживающего фильтра программа укажет требования к используемому мостовому выпрямителю: Required current rating (максимальный прямой ток) — 1 А, Required voltage rating (максимальное обратное напряжение) — 600 В.

Переходим к следующему этапу проектирования в автоматизированном режиме, для чего нажимаем клавишу Next.

Второй этап: Flyback Parameters Specifications

Данный этап расчета учитывает особенности функционирования как

обратноходовых преобразователей (Flyback) в целом, так и специфику квазирезонансного режима. Пользователь может заполнять поля с требуемыми расчетными данными, ориентируясь на указанный рядом интервал допустимых значений, а также всплывающие подсказки и комментарии, выдаваемые программой.

Первый параметр Primary Reflected voltage (отраженное напряжение в первичной обмотке обратноходового трансформатора), зависящий от соотношения витков в первичной и выходной обмотках, а также от выходного напряжения преобразователя, влияет на габариты трансформатора, потери и многие другие параметры. Основываясь на предыдущем многолетнем опыте проектирования импульсных преобразователей, выбираем значение данного параметра равным 115 В.

Эквивалентную емкость стокового вывода коммутирующего полевого транзистора в микросхеме MOSFET drain node stray capacitance оставляем выбранной программой по умолчанию 75 пФ. Индуктивность первичной обмотки трансформатора Primary inductance может достигать 3690 мкГн, она влияет на рабочую частоту преобразования и размеры трансформатора. Выбираем некоторое среднее значение, соответствующее 2000 мкГн. Остальные поля Transformer leakage inductance (индуктивность рассеяния) и Self supply voltage (напряжение питания микросхемы) оставляем выбранные программой 60 мкГн и 15 В соответственно. Результаты вычислений иллюстрирует рис. 4, где в зависимости от сетевого напряжения и нагрузки частота преобразования изменяется в интервале 98...166 кГц, пиковое значение тока в первичной обмотке — 252...302 мА (среднеквадратическое — 67...107 мА), среднеквадратическое значение тока во вторичной обмотке — 585...657 мА. Переходим к третьему этапу проектирования.

Третий этап: Transformer design

Конструктивный расчет трансформатора предполагает вычисление его основных параметров (типоразмер, число

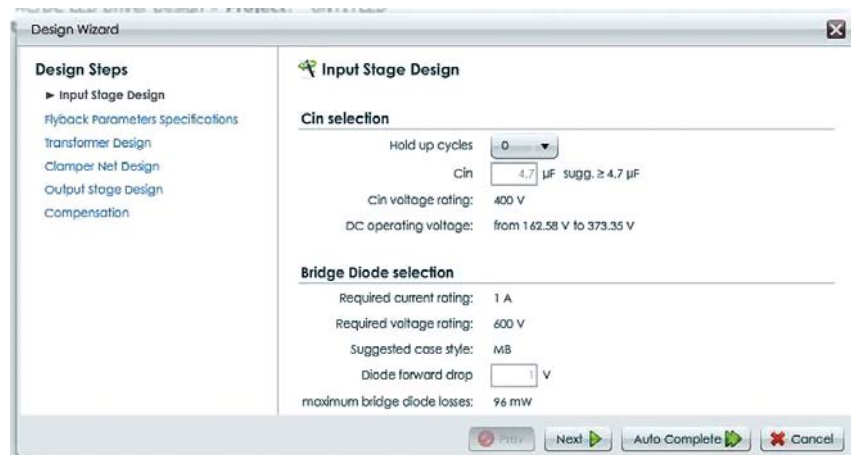


Рис. 3. Окно проектирования входного каскада светодиодного драйвера

витков и диаметр провода в обмотках, немагнитный зазор на керне (центральный стержне магнитопровода), максимальное значение магнитной индукции.

Как и в случае с выбором емкости конденсатора входного сглаживающего фильтра, по умолчанию программа выбирает наиболее экономичный вариант исполнения преобразователя. В нашем случае определяющий выбор трансформатора параметр Area Product (коэффициент площади, представляющий собой произведение поперечного сечения магнитопровода на площадь окна в нем) должен быть не менее 92 мм⁴. Такому требованию вполне удовлетворяет типоразмер EE13 магнитопровода с коэффициентом площади 380 мм⁴. При этом программа определила параметры обмоток трансформатора: первичная — 116 витков (в два провода диаметром 0,15 мм); вторичная — 19 витков (в три провода диаметром 0,25 мм); вспомогательная обмотка связи и питания микросхемы — 16 витков (одним проводом диаметром 0,024 мм). Для такого трансформатора немагнитный зазор required gap length составит 0,1 мм, и максимальное значение магнитной индукции в магнитопроводе maximum magnetic flux density будет менее 0,306 Тл.

В принципе, для введенных исходных данных драйвера 11-Вт светодиода в режиме использования 8 Вт можно было бы ограничиться рекомендуемым программой самым экономичным трансформатором EE13. Однако авторы статьи решили создать некоторый запас по мощности проектируемого драйвера, чтобы в будущем испытать работу драйвера в режиме использования светодиода с рассеиваемой мощностью 10 Вт. Для этого в поле Core Type (тип магнитопровода, рис. 5) активируем параметр EE13, в результате чего появится выпадающее меню команд: Select from list (выбрать из списка) либо Define custom Core (определить «пользовательский» магнитопровод). По первой команде из выпадающего списка всех вложенных в программу типономиналов магнитопроводов выделяем строку EE16 Vertical и завершаем выбор нажатием клавиши Select.

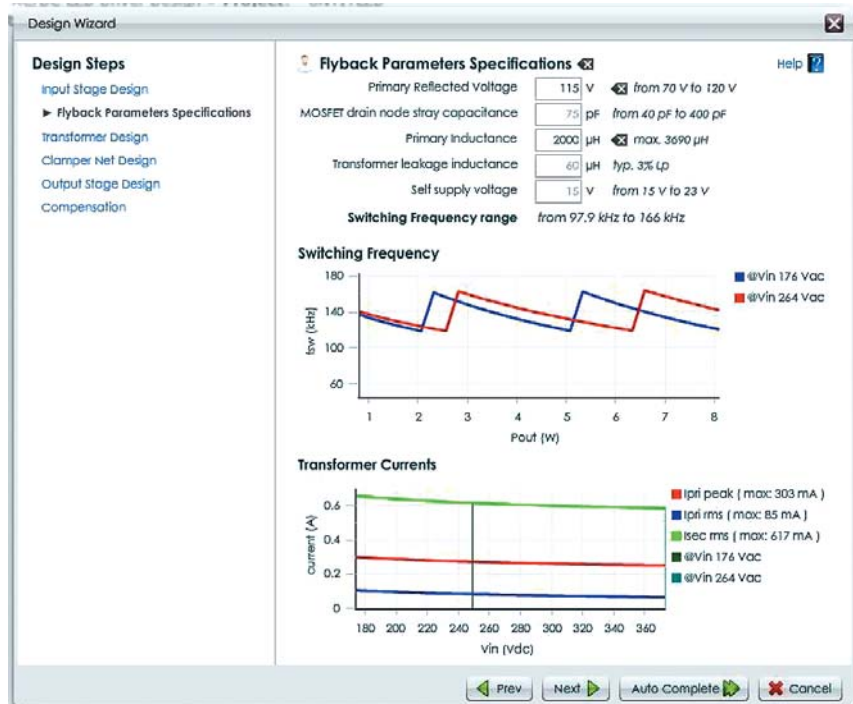


Рис. 4. Интерфейс проектирования рабочего режима обратноходового преобразователя

Поскольку для выбранного магнитопровода программа указывает минимально возможное число витков в первичной обмотке, равное 100, заполним данным значением поле Primary (первичная) в столбце Winding (обмотка) таблицы с параметрами обмоток трансформатора

(рис. 5). Как показано на рисунке, данную обмотку можно выполнить одинарным проводом диаметром 0,2 мм, вторичную обмотку из 16 витков — двойным литцендратом 20×0,07 мм, обмотку связи из 14 витков — одинарным проводом 0,024 мм.

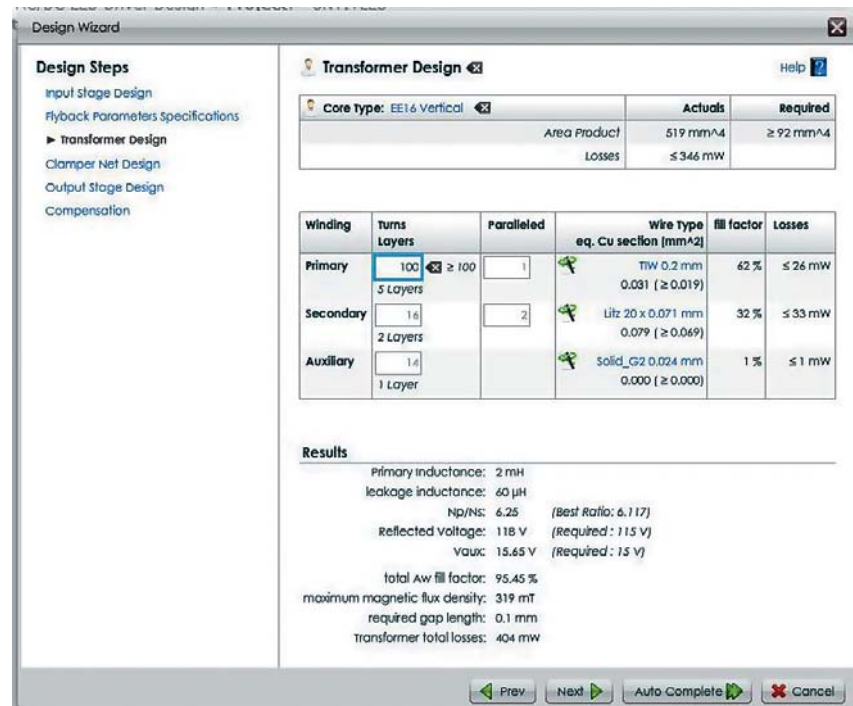


Рис. 5. Рабочее окно проектирования импульсного трансформатора в светодиодном драйвере

Четвертый этап: Clamper Net Design

По умолчанию для подавления индуктивных выбросов напряжения, возникающих на стоке мощного коммутирующего транзистора в момент его выключения, программа использует фиксирующую RC-цепь. Параметры такой цепи зависят от многих факторов — частоты преобразования, индуктивности рассеяния трансформатора и пр. В соответствии с внесенными исходными данными программа определила, что для ограничения выброса напряжения с амплитудным значением 287 В сопротивление резистора в такой цепи должно соответствовать 180 кОм, емкость конденсатора — 820 пФ.

В то же время программа предупреждает, что безопасный для транзистора уровень ограничения амплитуды выброса должен соответствовать интервалу значений 230...266 В. Если в соответствии с рекомендацией заполнить поле Clamping Voltage (напряжение ограничения) значением 250В, получим $R_{clp}=130\text{ кОм}$, $C_{clp}=1\text{ нФ}$. Однако программа предоставляет пользователю возможность перейти на другой тип фиксирующей цепи. Для этого следует активировать поле RCD based, а затем исполнить выпадающую команду Transil based (фиксирующая цепь на основе диодов Transil, другое наименование suppressor — ограничитель). В результате программа определит, что в такой фиксирующей цепи следует применить супрессор 1,5KE250A, у которого параметр Breakdown reverse voltage (обратное пробивное напряжение) соответствует 250 В.

Пятый этап: Output stage design

Проектирование выходного каскада устройства наименее трудоемко и укладывается в несколько секунд. Результатом проектирования являются рекомендации программы по выбору силового выпрямительного диода с допустимым обратным напряжением не менее 99 В и прямым током 1 А. Выходной конденсатор необходимо использовать емкостью 330 мкФ и рабочим напряжением более 25 В. При эквивалентном последователь-

ном сопротивлении конденсатора до 200 мОм пульсации выходного напряжения на светодиоде не превысят 360 мВ. Теперь остается выполнить последний этап проектирования.

Шестой этап: Compensation

Как любое устройство, содержащее замкнутый контур регулирования некоторого определяющего целевую функцию параметра (в нашем случае — стабилизацию тока через светодиод), драйвер должен обладать высокой устойчивостью, то есть не быть склонным к самовозбуждению. Программа на основе введенных исходных данных рассчитывает параметры элементов, образующих RC-цепь компенсации для операционного усилителя рассогласования в микросхеме, а затем строит графики (диаграмму Боде) для АЧХ и ФЧХ устройства с разомкнутой обратной связью, откуда получает фазовый сдвиг сигнала на частоте единичного усиления. С рекомендуемыми программой элементами компенсации запас фазы в сигнале на критической частоте получился равным примерно 70° , что характеризует достаточно высокую устойчивость контура усиления в драйвере светодиода. Расчетные данные могут быть скорректированы пользователем путем подстановки параметров элементов в цепи компенсации, отличающихся от рекомендованных программой. По завершении расчета цепи компенсации следует нажать клавишу ОК, после чего все итоговые результаты по каждому этапу проектирования будут переданы в главное окно проектирования.

Содержание главного окна проектирования в программе eDesign Studio

Скриншот главного окна программы (рис. 2), выводимого по завершении шестого этапа проектирования, включает в себя шесть фрагментов. Основной из них — окно с принципиальной электрической схемой устройства, где изображены все элементы драйвера и их номинальные значения. Обратим внимание, что для вычисления параметров почти всех элементов программа использует достаточно сложный математический аппарат, предоставляя

пользователю безошибочный конечный результат проектирования. Данное окно является интерактивным и снабжено различными информативными материалами. Элементы схемы с пиктограммами, на которых изображены гаечный ключ с отверткой, могут быть повторно отредактированы с учетом дополнительных требований, предъявляемых к проекту. Внесенные изменения будут учтены программой и отображены в соответствующих фрагментах проекта. Нажимая на изображение лупы со знаком «+» и «-», масштаб изображения принципиальной схемы можно увеличивать и уменьшать. В правом верхнем углу расположена клавиша для перевода принципиальной схемы в полноэкранный режим отображения. Весь рабочий набор инструментов проектирования интуитивно понятен и не вызывает затруднений в его применении пользователем.

Слева от принципиальной схемы расположено окно (рис. 6) со спецификацией исходных данных AC/DC LED Specifications (тип используемой микросхемы, рабочий интервал сетевого напряжения, установленный пользователем режим использования светодиода) и рабочего режима преобразователя Actuals при максимальном сетевом напряжении (выходная мощность, коэффициент заполнения коммутирующих импульсов, частота преобразования, пиковое и среднеквадратическое значе-

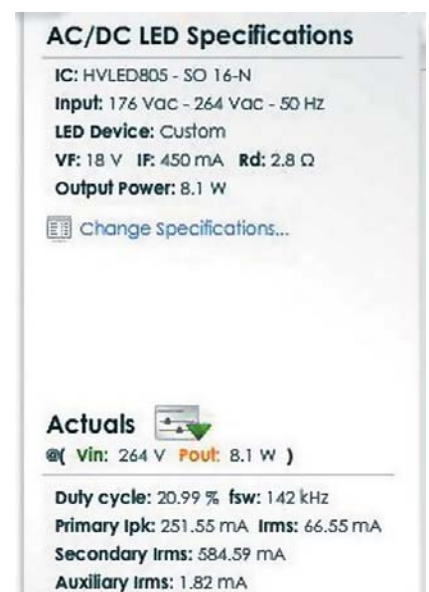


Рис. 6. Окно спецификации исходных данных и результатов проектирования

ние тока в обмотках импульсного трансформатора). Пользователь может изменить как исходные данные, так и значение сетевого напряжения, при котором необходимо уточнить рабочий режим преобразователя, передвигая курсором ползунок по шкале 176...264 В.

Нижняя часть главного окна программы объединяет диаграммы с результатами анализа отдельных параметров проектируемого устройства. Если нажать на пиктограмму лупы рядом с выбранной диаграммой, то она займет место принципиальной схемы, значительно увеличившись в размерах. Результат такого преобразования для диаграммы зависимости частоты преобразования от сетевого напряжения и режима использования светодиода иллюстрирует рис. 7. При подведении курсора к любой выбранной на диаграмме точке (красная линия соответствует максимальному сетевому напряжению, синяя — минимальному) программа во всплывающем окне укажет значение наблюдаемого сетевого напряжения, частоты преобразования и выходной мощности драйвера. Если в окне рабочего режима преобразователя Actuals указатель напряжения выставить на 220 В, окно с частотными диаграммами будет дополнено, как показано на рисунке, зеленой линией, соответствующей сетевому напряжению 220 В. Это позволит отследить рабочий режим преобразователя при номинальном сетевом напряжении.

Следующая диаграмма, показанная на рис. 8, позволяет оценить КПД устройства в различных режимах использования светодиода при изменении сетевого напряжения. Как следует из рисунка, при рассеиваемой на светодиоде мощности 6,78 Вт КПД драйвера изменяется в интервале значений 80,6...83,2%, возрастая при снижении сетевого напряжения, и наоборот.

Анализ устойчивости контура стабилизации рабочего тока светодиода и частотных свойств усилителя согласования в микросхеме можно выполнить на основе диаграммы Боде, показанной на рис. 9. Как указывалось, параметры элементов в цепи обратной связи усилителя рассогласования выбраны таким образом, чтобы обеспечить его максимальную устойчивость. При этом, как показано

на рисунке, можно наблюдать не только запас фазового сдвига на частоте, соответствующей единичному усиленiu в контуре стабилизации (в нашем случае это 68,94° на частоте 2,59 кГц), но и в заданной полосе частот (для частоты 9,82 кГц — 33,85°). Завершающий этап анализа решения, полученного в программе eDesign

Studio, иллюстрирует рис. 10. Приведенная на рисунке структура потерь максимально детализирована и при необходимости позволяет повысить КПД устройства в целом за счет подбора элементной базы, а если требуется — исходных данных и конкретизации режима использования светодиода.

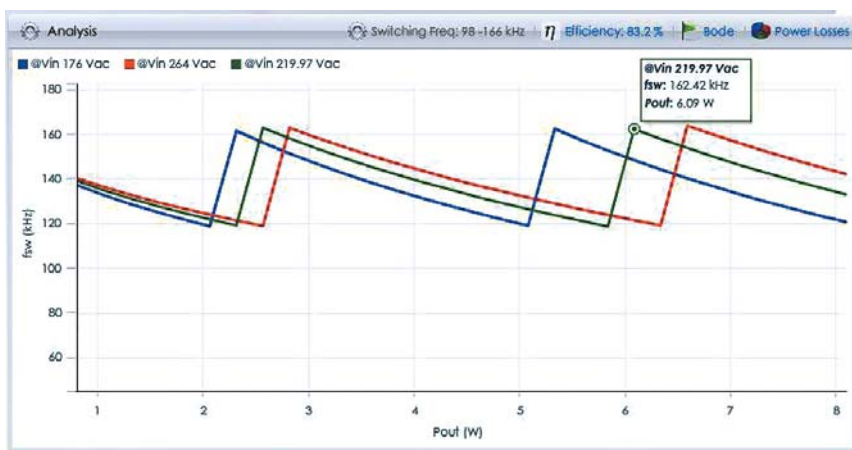


Рис. 7. Диаграмма зависимости частоты преобразования в драйвере от изменения режима использования светодиода и сетевого напряжения

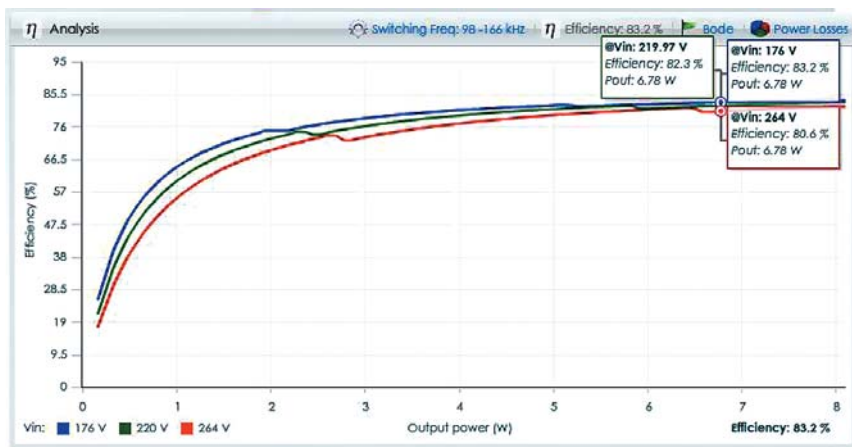


Рис. 8. Зависимость КПД устройства от режима использования светодиода

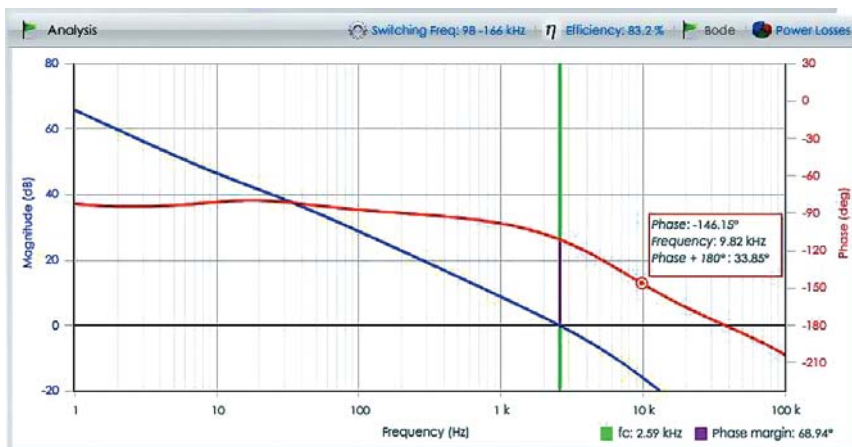


Рис. 9. Диаграмма Боде для светодиодного драйвера

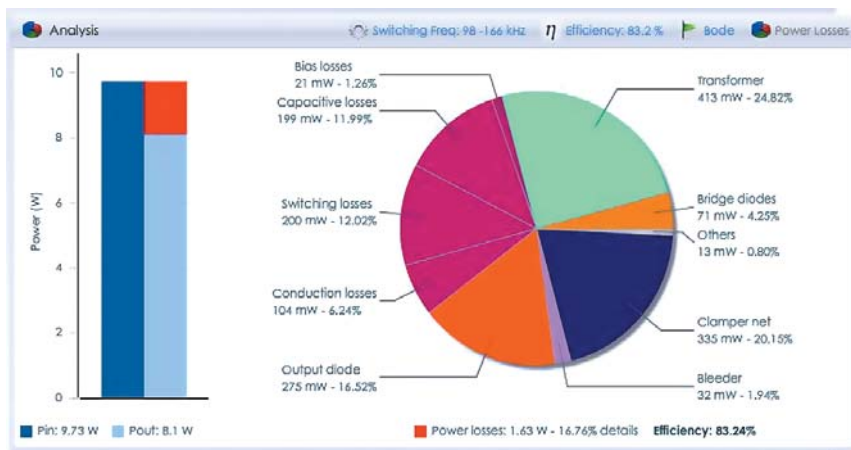


Рис. 10. Структура потерь, определяющих КПД устройства

В завершение уместно напомнить, что не всегда после реализации схемного решения, полученного по рекомендации программы eDesign Studio, результаты испытаний спроектированного устройства полностью совпадут с ожидаемыми. Причины такого несовпадения вполне понятны — это и технологический разброс параметров самой микросхемы, и допу-

стимое отклонение от номинальных значений параметров используемых элементов, и влияние внешних факторов, и т. д. Поэтому разработчики программы eDesign Studio предупреждают, что они ни в коей мере не отвечают за применение пользователями предоставленного программного продукта. В связи с этим вся ответственность за экономические послед-

ствия ошибочного конструирования требуемого устройства ложится на инженера-конструктора. Конечно, не стоит пугаться столь грозных предупреждений, ведь все ошибки проектирования легко вскрываются при изготовлении опытного образца и измерении его технических параметров. Результаты такого исследования, выполненного авторами статьи для экспериментального образца светодиодного драйвера, будут представлены в следующем номере «Вестника электроники».

Литература

1. Автоматизированное проектирование импульсных источников питания на основе микросхемы VIPer100 и особенности их практической реализации // Вестник электроники. №3, 2003, с. 4–10.
2. <http://www.simpex.ch/fileadmin/bereiche/systemkomponenten/News/24082011/SPHCWTHDD-803WHR0JC.pdf>.

СЕМИНАРЫ PT ELECTRONICS НА ВЫСТАВКЕ «НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

17–19

АПРЕЛЯ

МОСКВА

ЭКСПОЦЕНТР НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ

В рамках выставки компания PT Electronics проводит ряд технических семинаров:

17 апреля:

12.00–13.00, зал В — СВЧ-компоненты

В ходе семинара вы сможете познакомиться с продукцией компании Aeroflex Metelics, узнаете о ее основных продуктовых линейках и их особенностях. Тематика семинара включает: диоды; усилители; делители; переключатели; пассивные компоненты.

15.00–16.00, зал В — Модули питания VPT для авиакосмического применения

Вы познакомитесь с продукцией VPT, семействами для авионики, недорогой продукцией наземного использования и специальной продукцией для космического применения.

18 апреля:

10:00–11:00, зал В — Светодиодная продукция компании Osram OS.

Посетителям семинара будут представлены новинки и достижения компании OSRAM в области полупроводникового света. Тематика включает: компоненты для уличного и внутреннего освещения; RGB-светодиоды для экранов и рекламных модулей; светодиоды для знаков и указателей; инфракрасные источники.

12:00–13:00, зал В — Источники питания GE-Energy для цифровых решений

Вам будет предложено ознакомиться с продукцией компании GE-Energy, классификацией источников питания, а также их применением в области цифровых решений и телекома: встра-

иваемые источники питания большой и средней мощности для готовых систем; DC/DC-преобразователи малой и средней мощности; неизолированные (POL) модули.

13:00–14:00, зал В — Компоненты STMicroelectronics для источников питания

Вы познакомитесь с новыми продуктовыми линейками и последними разработками компании STMicroelectronics в области компонентов для источников питания. Тематика: микросхемы ST для построения блоков питания различной мощности (AC/DC, DC/DC); силовые транзисторы от ST; программное обеспечение eDesignSuite; обзор DC/DC-преобразователей малой мощности. Также PT Electronics приглашает всех посетить стенд компании (№ 407), который находится в центре павильона №1. Вы сможете ознакомиться с последними линейками продукции, получить новые каталоги, а руководство компании, бренд-менеджеры и технические специалисты ответят на все интересующие вас вопросы.