

Джефф Фалин (Texas Instruments)

## РАСЧЕТ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Контур обратной связи драйвера белых светодиодов большой мощности имеет специфические особенности, не позволяющие измерить его параметры традиционным способом. Статья инженера компании **Texas Instruments** посвящена построению математической модели такого контура, помогающей измерить указанные параметры. Для моделирования использован интегральный преобразователь **TPS61165** производства **Texas Instruments**, управляющий тремя светодиодами **OSRAM LW W5SM**.

Математическая модель всегда полезна для определения оптимальных компонентов компенсации для конкретной схемы. Однако компенсация контура управления повышающего преобразователя с токовым управлением для белых светодиодов несколько отличается от компенсации контура того же преобразователя, настроенного для управления напряжением. Измерение контура управления традиционными способами затруднено из-за низкого импеданса на выводе обратной связи и отсутствия резистора обратной связи верхнего плеча. В статье [1] Рэй Ридли (Ray Ridley) представил упрощенную модель контура управления с малым сигналом для повышающего преобразователя, находящегося в токовом режиме. В настоящей статье объясняется, как изменить модель Ридли, чтобы использовать ее для управления током белых светодиодов; также приведено описание процедуры измерения контура управления повышающего преобразователя.

### Компоненты контура

На рисунке 1 представлена типовая схема подключения регулируемого DC/DC-преобразователя, который можно настроить, чтобы получить из входного напряжения выходное напряжение более высокого или более низкого уровня. Если в этой конфигурации мы предположим, что  $R_{OUT}$  — это чисто резистивная нагрузка, то  $V_{OUT} = I_{OUT} \times R_{OUT}$ . Как показано на рисунке 2, DC/DC-преобразователь во время управления мощными светодиодами фактически управляет током, протекающим через светодиоды, путем регулировки напряжения на резисторе нижнего плеча об-

ратной связи. Поскольку сама нагрузка (светодиоды) заменяет резистор верхнего плеча обратной связи, традиционные уравнения, описывающие работу контура управления малого сигнала, не действуют. Сопротивление нагрузки DC

$$R_{EQ} = \frac{V_{OUT}}{I_{LED}}, \quad (1)$$

при

$$V_{OUT} = n \times V_{FWD} + V_{FB}. \quad (2)$$

Здесь значение  $V_{FWD}$ , взятое из технического описания диода или измеренное — это прямое напряжение при токе  $I_{LED}$ , а  $n$  — число светодиодов в цепочке.

Однако, с точки зрения малого сигнала сопротивление нагрузки состоит из  $R_{EQ}$ , а также динамических сопротивлений светодиодов  $r_D$ , при токе  $I_{LED}$ . Некоторые изготовители светодиодов предоставляют типовые значения  $r_D$  при различных уровнях тока, но лучший способ определения  $r_D$  — это его получение из типовой кривой I-V светодиода, которую предоставляют все изготовите-

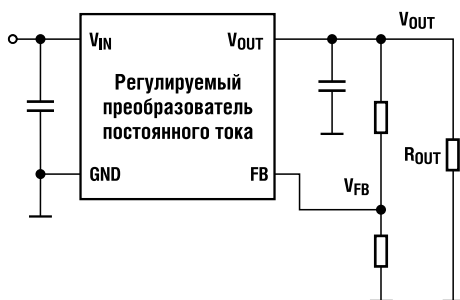


Рис. 1. Регулируемый DC/DC-преобразователь регулировки напряжения



ли. На рисунке 3 показан пример кривой I-V светодиода большой мощности **OSRAM LW W5SM**. Будучи динамической величиной (малым сигналом),  $r_D$  определяется как изменение напряжения, деленное на изменение тока, или  $r_D = \Delta V_{FWD} / \Delta I_{LED}$ . Чтобы получить значение  $r_D$  с помощью рисунка 3, проведем прямую касательную линию из начала координат графика  $V_{FWD}$  и  $I_{LED}$  и вычислим угол уклона. Например, при помощи пунктирной касательной линии на рисунке 3 получим значение  $r_D = (3,5 - 2 \text{ В}) / (1000 - 0,010 \text{ А}) = 1,51 \text{ Ом}$  при  $I_{LED} = 350 \text{ мА}$ .

### Модель малого сигнала

В качестве примера модели малого сигнала использован преобразователь **TPS61165** в пиковом токовом режиме, управляющий тремя включенными последовательно светодиодами **OSRAM LW W5SM**. На рисунке 4а показана эквивалентная модель малого сигнала повышающего преобразователя с управлением по току, а на рисунке 4б — еще более упрощенная модель.

Уравнение 3 иллюстрирует частотную модель (s-домен) вычисления повышения постоянного тока как для повышающего преобразователя с управ-

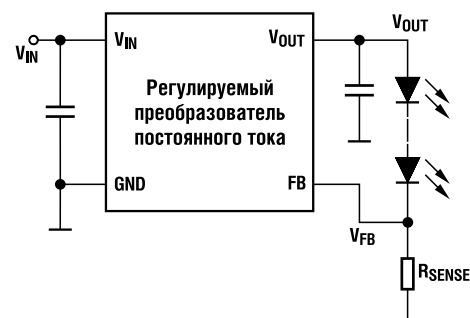


Рис. 2. Регулируемый DC/DC-преобразователь регулировки тока, протекающего через светодиоды

лением по току, так и для повышающего преобразователя с управлением по напряжению:

(3)

$$G_{P(S)} = K_R \times \frac{(1-D)}{R_j} \times \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_z}\right) \times \left(1 - \frac{s}{\omega_{RHP}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_p}\right) \times \left(1 + \frac{s}{Q_p \omega_n} + \frac{s^2}{\omega_n^2}\right)},$$

где общие переменные

$$\omega_z = \frac{1}{ESR \times C_{OUT}},$$

$$Q_p = \frac{1}{\pi \left[ \left(1 + \frac{S_e}{S_n}\right) (1-D) - 0,5 \right]},$$

$$\omega_n = \pi \times f_{SW},$$

и

$$\omega_{RHP} = \frac{R_{EQ}}{(1-D)^2 \times L}.$$

Скажность D и измененные значения  $V_{OUT}$  и  $R_{EQ}$  вычисляются для обеих цепей одинаково.  $S_n$  и  $S_e$  — это углы наклона графиков индукции и компенсации повышающего преобразователя, соответственно, а  $f_{SW}$  — частота переключения. Реальные отличия между моделями малого сигнала повышающего преобразователя с управлением по напряжению и повышающего преобразователя с управлением по току — сопротивление  $K_R$ , которое умножается на показатель крутизны  $(1-D)/R_i$ , и доминантный полюс  $\omega_p$ . Эти отличия перечислены в таблице 1. Более подробную информацию можно найти в статье [1].

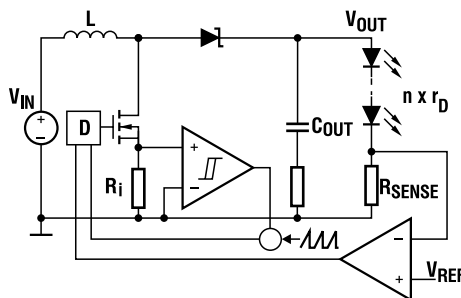
Поскольку значение  $R_{SENSE}$  обычно намного ниже, чем  $R_{OUT}$  преобразователя с управлением по напряжению, усиление преобразователя с управлением по току, где  $R_{OUT} = R_{EQ}$ , будет почти всегда ниже, чем усиление преобразователя с управлением по напряжению.

### Измерение контура

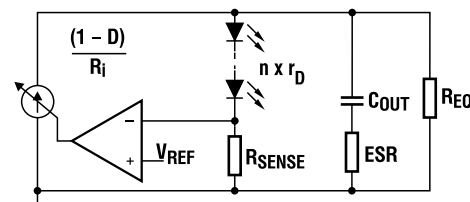
Чтобы измерить усиление контура управления и фазу преобразователя с управлением по напряжению, в цепи или выделенном анализаторе усиления контура/фазы обычно используется трансформатор 1:1, предназначенный для подачи малого сигнала в контур через малое сопротивление ( $R_{INJ}$ ). Затем анализатором на основании частотной характеристики осуществляется измерение и сравнение входного сигнала в точке А с сигналом обратной связи в точке R, и вычисляется пропорция изменения амплитуды (усиление) и задержки сиг-

Таблица 1. Отличия вариантов уравнения 3 для двух моделей преобразователей

Выражение	Оценка повышающего преобразователя с управлением по току	Оценка повышающего преобразователя с управлением по напряжению
$K_R$	$\frac{R_{EQ}}{1 + \frac{R_{EQ} + n \times r_D}{R_{SENSE}}}$	$\frac{R_{OUT}}{2}$
$\omega_p$	$\frac{1 + \frac{n \times r_D + R_{SENSE}}{R_{EQ}}}{(n \times r_D + R_{SENSE} + ESR) \times C_{OUT}}$	$\frac{2}{(R_{OUT} + ESR) \times C_{OUT}}$



а) Полная



б) Упрощенная

Рис. 4. Модель малого сигнала повышающего преобразователя с управлением по току

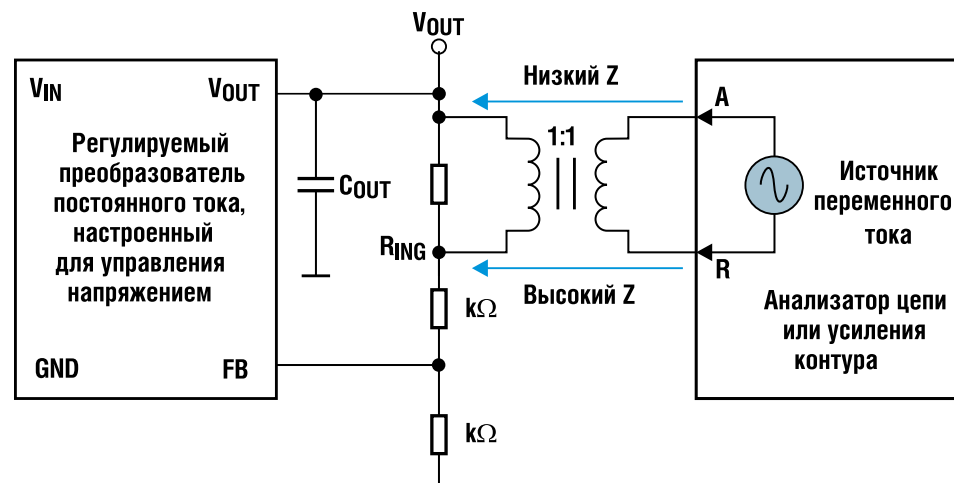


Рис. 5. Измерение контура управления преобразователя с управлением по напряжению

нала (фаза). Сопротивление  $R_{INJ}$  можно установить в любом месте контура, поскольку точка А обладает намного более низким импедансом, чем точка R; в противном случае входной сигнал будет слишком сильным и повлияет на рабочую точку преобразователя. Как показано на рисунке 5, узел высокого импеданса, где резисторы обратной связи контролируют напряжение на выходном конденсаторе (он же — узел низкого импеданса), является типичным местом установки такого резистора.

В конфигурации управления по току входной резистор не может быть установлен последовательно со светодиодами, будучи резистором обратной связи верхнего плеча. Рабочую точку преобразователя необходимо сначала изменить так, чтобы резистор можно было установить между выводом обратной связи и измерительным резистором, как показано на рисунке 6. В некоторых

случаях может понадобиться неинвертирующий буферный усилитель единичного усиления, чтобы понизить импеданс во входной точке и снизить помехи при измерении.

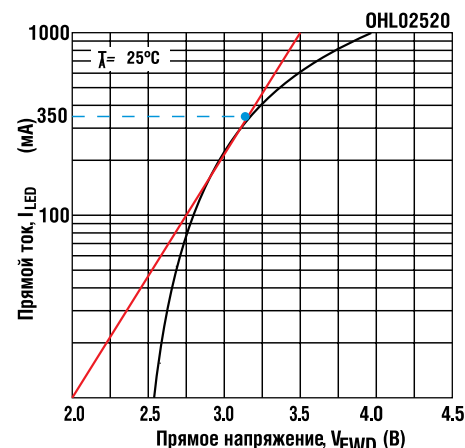


Рис. 3. Кривая I-V OSRAM LW W5SM

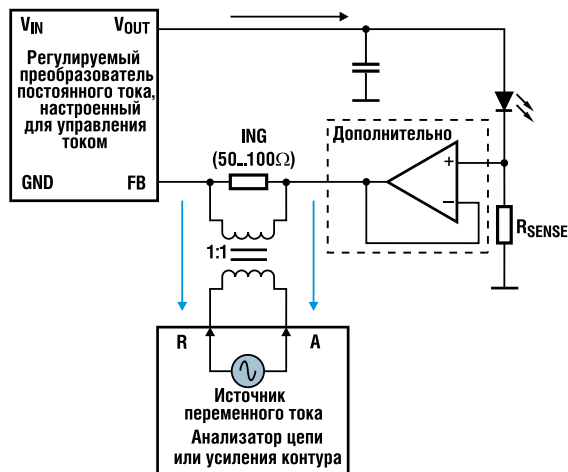


Рис. 6. Измерение контура управления преобразователя с управлением по току

Вместе с измерительной установкой, изображенной на рисунке 6, но без усилителя и при  $R_{INJ} = 51,1 \text{ Ом}$ , для измерения контура был использован анализатор контура **Venable**. Модель преобразователя с управлением по току была создана при помощи программного пакета **Mathcad**® и расчетных параметров, взятых из технического описания **TPS61170**, ядро которой идентично ядру схемы **TPS61165**. При  $V_{IN} = 5 \text{ В}$  и  $I_{LED}$ , равном  $350 \text{ мА}$  модель дает предсказуемую характеристику для **TPS61165EVM**, как показано на рисунке 7, который дает

возможность сравнить расчетные и измеренные данные.

Мы можем просто объяснить отличия между измеренным и расчетным усилением, исследовав колебания динамического сопротивления белых светодиодов, при помощи кривых I-V светодиода, а также рассмотрев межкристалльные отклонения усиления сигнала ИС.

#### Заключение

Несмотря на низкую точность, математическая модель дает разработчику хорошую отправную точку для проек-

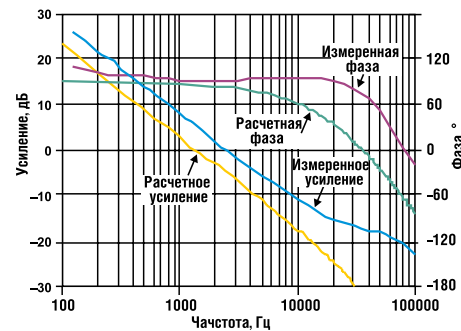


Рис. 7. Измеренное и расчетное усиление и фаза контура при  $V_{IN} = 5 \text{ В}$  и  $I_{LED} = 350 \text{ мА}$

тирования компенсации контура управления повышающего преобразователя для белых светодиодов с управлением по току. Кроме того, разработчик может измерить контур управления при помощи одного из альтернативных методов.

#### Литература

1. Ray Ridley (2006). Designer's Series, Part V: Current-Mode Control Modeling. Switching Power Magazine <http://www.switchingpowermagazine.com/downloads/5%20Current%20Mode%20Control%20Modeling.pdf>.

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)



## TPS61165 - драйвер сверхъярких светодиодов со встроенным 40 В/1,2 А ключом

### ОСОБЕННОСТИ:

- Поддерживает до трех 1 Вт светодиодов, соединенных последовательно
- Работает от входного напряжения в диапазоне от 3 до 18 В
- Управляет яркостью светодиодов с помощью цифрового однопроводного интерфейса или сигнала ШИМ
- Корпус QFN размером 2x2 мм



Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902  
E-mail: [msk@compel.ru](mailto:msk@compel.ru)

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403  
E-mail: [spb@compel.ru](mailto:spb@compel.ru)

**Компэл**  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)