

УДК 628.953

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997f0abe178.87427078

ЭКСТРАКЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛИ СВЕТОДИОДОВ ПО ТРЕМ ТОЧКАМ ПРЯМОЙ ВАХ

Виктор Петрович Падеров, доцент, к.ф.-м.н., paderov@mail.ru

Дмитрий Андреевич Аверкин, студент, dima.avierkin@mail.ru

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, РФ, Саранск

Аннотация. Предложен простой метод экстракции статических параметров SPICE-модели светодиодов по трем точкам ВАХ. Приведены формулы для расчета статических параметров и условия измерения точек ВАХ.

Ключевые слова: светодиод, SPICE-параметры, метод экстракции статических параметров.

EXTRACTION STATIC PARAMETERS SPICE-MODEL OF LED ON THREE POINTS THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTIC

Viktor P. Paderov, docent, candidate of Physico-Mathematical Sciences, paderov@mail.ru

Dmitriy A. Averkin, student, dima.avierkin@mail.ru

Ogarev Mordovia State University, Russia, Saransk

Abstract. A simple method for extracting the static parameters of the SPICE-model of LEDs from three points of current-voltage characteristic proposes. Formulas for calculating the static parameters of the SPICE-model and measurement conditions are given.

Keywords: LEDs, SPICE-parameters, method extraction static parameters.

Схемотехническое моделирование источников питания светодиодов обычно проводится в системах моделирования, основанных на SPICE-моделях полупроводниковых приборов, и модель светодиодов достаточно точно описывается SPICE-моделью диодов. Статическая прямая ВАХ диодов, полагая, что ток колена на вольт-амперной характеристике (ВАХ) IKF равен бесконечности, описывается следующим уравнением [1]:

$$I_{fwd} = IS \exp \left[\frac{V_{fwd} - I_{fwd} RS}{N V_T} \right], \quad (1)$$

где I_{fwd} , V_{fwd} – прямой ток и прямое падение напряжения на светодиоде, соответственно;

$V_T = kT/q$ – тепловой потенциал, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, q – заряд электрона;

RS – последовательное сопротивление;

N – коэффициент эмиссии;

IS – ток насыщения.

Три последних параметра являются статическими параметрами SPICE-модели диодов. В отличие от диодов на кремнии коэффициент эмиссии N светодиодов может иметь значения в несколько единиц, а последовательное сопротивление RS обычно существенно выше, чем у диодов на кремнии.

Экстракция статических параметров SPICE-модели диодов обычно производится по вольт-амперным характеристикам, измеренным в режиме постоянного тока, методом подгонки к экспериментальным данным [1]. Вследствие большой плотности тока и относительно высокого падения напряжения на светодиодах наблюдается существенный саморазогрев кристалла при токах, близких к номинальному [2]. Поэтому измерения ВАХ на постоянном токе в широком диапазоне токов не гарантируют изотермические условия кристалла, а, следовательно, могут иметь место большие погрешности в параметрах SPICE-модели светодиодов.

Предлагается простой метод экстракции статических параметров SPICE-модели (RS , N , IS) по трем точкам ВАХ, измеренным вблизи номинального тока I_{nom} . Причем первая точка измеряется при номинальном токе, вторая точка при токе в α -раз меньшем номинального, а третья при токе в α -раз большем номинального. Следовательно, в соответствии с уравнением прямые напряжения на светодиодах для трех токов будут иметь вид:

$$V_1 = N V_T \ln(I_{nom}/IS) + I_{nom} RS, \quad (2)$$

$$V_2 = N V_T \ln(I_{nom}/(\alpha IS)) + I_{nom} RS/\alpha, \quad (3)$$

$$V_3 = N V_T \ln(\alpha I_{nom}/IS) + \alpha I_{nom} RS. \quad (4)$$

Если к уравнению (4) прибавить уравнение (3) и вычесть удвоенное уравнение (2), получим выражение, зависящее только от параметра RS , остальные члены и параметры сокращаются:

$$V_3 + V_2 - 2V_1 = \frac{(\alpha - 1)^2}{\alpha} I_{nom} RS, \quad (5)$$

откуда просто определяется параметр последовательного сопротивления

$$RS = \frac{\alpha}{(\alpha - 1)^2} \frac{V_3 + V_2 - 2V_1}{I_{nom}}. \quad (6)$$

Зная RS и вычитая из уравнения (2) уравнение (3), можно найти коэффициент эмиссии:

$$N = \frac{V_1 - V_2 - (1 - 1/\alpha) I_{nom} RS}{V_T \ln \alpha}, \quad (7)$$

и из уравнения (2) рассчитать ток насыщения

$$IS = I_{nom} \exp\left(-\frac{V_1 - I_{nom} RS}{N V_T}\right). \quad (8)$$

Изотермические условия кристалла светодиода сохраняются, если отклонения соседних точек от номинального тока малы, то есть коэффициент α близок к единице. Но чем ближе α к 1, тем больше первая дробь в уравнении (6). При уменьшении α от 2 до 1,1 множитель увеличивается от 2 до 110. Таким образом, небольшие отклонения двух соседних точек от номинального тока будут требовать очень малых погрешностей измерения токов и напряжений, иначе резко увеличивается погрешность в параметре RS . Например, при номинальном токе через светодиоды 350 мА, коэффициенте $\alpha=1,1$ (отклонения соседних точек по току составляют +10% и -9,1%) и случайных погрешностях в прямом напряжении 1 мВ, абсолютная погрешность в параметре RS для наихудшего случая отклонений напряжений $V_3+\Delta V$, $V_2+\Delta V$ и $V_1-\Delta V$ составит

$$\Delta RS = \frac{\alpha}{(\alpha - 1)^2} \frac{4 \Delta V}{I_{nom}} \approx 1,57 \text{ Ом.}$$

Эта величина может быть больше, чем номинальное значение RS . При коэффициенте $\alpha=1,5$ (отклонения соседних точек по току составляют +50% и -33%) погрешность ΔRS уменьшается до 0,069 Ом, что составляет несколько процентов от номинальной величины RS . Следовательно, для уменьшения погрешности в параметре RS измерения трех точек ВАХ рекомендуется проводить при коэффициенте $\alpha \geq 1,5$. При таком выборе α для поддержания изотермических условий кристалла светодиода рекомендуется проводить измерения трех точек ВАХ в импульсном режиме с возрастающей скважностью. То есть измерение прямого напряжения при токе I_{nom}/α необходимо проводить при скважности импульсов β , не приводящей к существенному саморазогреву кристалла СД. Измерение при токе I_{nom} необходимо проводить при скважности импульсов, равной $(\alpha \beta \gamma)$, где $\gamma=V_1/V_2$ – коэффициент, показывающий во сколько раз возрастает прямое падение напряжения на светодиоде при увеличении тока в α раз по сравнению с током I_{nom}/α . Измерение при токе αI_{nom} необходимо проводить при скважности импульсов, равной $(\alpha^2 \beta \delta)$, где $\delta=V_3/V_2$ – коэффициент, показывающий во сколько раз возрастает прямое падение напряжения на светодиоде при увеличении тока в α^2 раз по сравнению с током I_{nom}/α . При такой скважности измерительных импульсов тока, средняя мощность, выделяемая в кристалле

светодиода, остается одинаковой, как при токе I_{nom}/α . Температуру кристалла светодиода при токе I_{nom}/α можно оценить по температурному коэффициенту прямого падения напряжения, измерив прямое падение напряжения при высокой скважности импульсов, когда саморазогрев кристалла практически отсутствует. Температура кристалла светодиода в градусах Кельвина оценивается как

$$T = \frac{V_2 - V_2(T = 300 \text{ K})}{(dV_F/dT)} + 273 \text{ [K]},$$

где V_2 – прямое падение напряжения, измеренное при токе I_{nom}/α и скважности импульсов β ,

$V_2(T=300 \text{ K})$ – прямое падение напряжения, измеренное при токе I_{nom}/α с большой скважностью импульсов (больше 10), когда саморазогрев кристалла практически отсутствует и его температура равна комнатной,

dV_F/dT – температурный коэффициент прямого падения напряжения на светодиоде.

Таким образом, в статье описан простой метод экстракции статических параметров SPICE-модели светодиодов по трем точкам ВАХ, измеренным в районе номинального тока. Этот метод может быть пригоден для экстракции статических параметров SPICE-модели и других диодов, у которых последовательное сопротивление RS является значимым параметром. Использование такого метода экстракции предполагает наличие соответствующего импульсного измерительного оборудования.

Список литературы

1. *Massobrio G., Antognetti P.* Semiconductor Device Modeling with SPICE. Second Edition. McGraw-Hill, Inc. 1988. 479 p.
2. *Шуберт Ф.* Светодиоды / Пер с англ. Под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

Материал принят к публикации 08.10.21.