УДК 628.953

Виктор Петрович Падеров

(МГУ им. Н.П. Огарева, доцент, доцент, к.ф.-м.н., РФ, г. Саранск, [paderov@mail.ru](mailto:paderov@mail.ru))

Viktor P. Paderov

(Ogarev Mordovia State University, docent, docent, candidate of Physico-Mathematical Sciences, Russia, Saransk city, [paderov@mail.ru](mailto:paderov@mail.ru))

Дмитрий Андреевич Аверкин

(МГУ им. Н.П. Огарева, студент, РФ, г. Саранск, dima.avierkin@mail.ru)

Dmitriy A. Averkin

(Ogarev Mordovia State University, student, Russia, Saransk city, [dima.avierkin@mail.ru](mailto:dima.avierkin@mail.ru))

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

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

*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.*

*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.*

*Ключевые слова. Светодиод, SPICE-параметры, метод экстракции статических параметров.*

*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]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где *Ifwd , Vfwd* – прямой ток и прямое падение напряжения на светодиоде, соответственно;

*VT=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 *Inom*. 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:

(2)

(3)

(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:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

откуда просто определяется параметр последовательного сопротивления

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

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

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

и из уравнения (2) рассчитать ток насыщения

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Изотермические условия кристалла светодиода сохраняются, если отклонения соседних точек от номинального тока малые, 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 *α*=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 *V3*+Δ*V*, *V2*+Δ*V* и *V1*–Δ*V* составит

Эта величина может быть больше, чем номинальное значение *RS*. При коэффициенте *α*=1,5 (отклонения соседних точек по току составляют +50% и –33%) погрешность Δ*RS* 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 *α*≥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 *Inom/α* необходимо проводить при скважности импульсов *β*, не приводящей к существенному саморазогреву кристалла СД. Измерение при токе *Inom* необходимо проводить при скважности импульсов, равной (*α β γ*), где *γ=V1/V2* – коэффициент, показывающий во сколько раз возрастает прямое падение напряжения на светодиоде при увеличении тока в *α* раз по сравнению с током *Inom /α*. Измерение при токе *αInom* необходимо проводить при скважности импульсов, равной (*α2 β δ*), где *δ=V3/V2* – коэффициент, показывающий во сколько раз возрастает прямое падение напряжения на светодиоде при увеличении тока в *α2* раз по сравнению с током *Inom /α*. При такой скважности измерительных импульсов тока, средняя мощность, выделяемая в кристалле светодиода, остается одинаковой, как при токе *Inom* */α*. Температуру кристалла светодиода при токе *Inom /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

где *V2* – прямое падение напряжения, измеренное при токе *Inom /α* и скважности импульсов *β*,

*V2(T=300 K)* – прямое падение напряжения, измеренное при токе *Inom /α* с большой скважностью импульсов (больше 10), когда саморазогрев кристалла практически отсутствует и его температура равна комнатной,

*dVF/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.