

УДК 519.6:621.317.7:621.383.52(045)

И.В. Антонишен, А.И. Кох, В.И. Туев, М.В. Южанин

## Применение модифицированной функции гиперболического тангенса для аппроксимации вольт-амперных характеристик светоизлучающих диодов

Предложено аналитическое выражение, позволяющее аппроксимировать вольт-амперные характеристики светоизлучающих диодов в области допустимых значений прямых и обратных напряжений. Погрешность аппроксимации в области рабочих токов не превышает 15%.

**Ключевые слова:** вольт-амперные характеристики, светоизлучающие диоды, аппроксимация.

**Задача нелинейного моделирования светоизлучающих диодов.** Для целей схемотехнического проектирования светотехнических устройств на твердотельных элементах необходимо иметь нелинейные модели светоизлучающих диодов (СИД), позволяющие проводить анализ функционирования устройства в статическом режиме (на постоянном токе).



Рис. 1. Вольт-амперная характеристика светоизлучающего диода

**Постановка задачи.** Широко используемые для аппроксимации вольт-амперных характеристик (ВАХ) СИД экспоненциальные функции [1, 2] имеют количественное и качественное (рис. 1) расхождение экспериментальных и расчетных данных в области обратных напряжений, что ограничивает возможности их использования при моделировании СИД в системах автоматизированного проектирования.

В работах [3–5] для аппроксимации ВАХ полевых транзисторов применена функция гиперболического тангенса, позволяющая описывать характеристики в областях прямых и инверсных напряжений.

В настоящей работе поставлена задача определения аналитического выражения, позволяющего аппроксимировать ВАХ СИД во всей области допустимых прямых и обратных напряжений.

**Аналитическая аппроксимация ВАХ СИД.** В основу предложенного выражения положено известное разложение функции гиперболического тангенса в виде отношения суммы и разности экспонент [7]. Модификация исходного выражения состоит в использовании числителя, умноженного на приложенное напряжение. Полученный при этом функционал, пригодный для описания зависимости тока светодиода  $I$  от приложенного напряжения  $U$  имеет вид

$$I(U) = U(A_1 e^{B_1 U} + A_2 e^{-B_2 U}), \quad (1)$$

где  $A_1, A_2, B_1, B_2$  — числовые коэффициенты.

Экспоненциальные составляющие  $e^{B_1 U}$  и  $e^{-B_2 U}$  в (1) характеризуют ВАХ СИД при прямом и инверсном включении соответственно.

Коэффициенты  $B_1$  и  $B_2$  определяют угол наклона характеристик при положительном и отрицательном смещении соответственно.

Численные значения коэффициентов  $A_1, A_2, B_1, B_2$  определяются по экспериментально измеренным вольт-амперным характеристикам и подбираются по критерию минимума среднеквадратичного отклонения расчетных и экспериментальных данных.

Численные значения коэффициентов аппроксимации для четырех типов СИД с различными значениями рассеиваемой мощности  $P$  приведены в таблице. Значения погрешности аппроксимации  $S$  не превышают приведенных в таблице значений в области рабочих токов, указанных в столбце «Условие», где  $I_{\text{ном}}$  — справочное значение номинального тока СИД.

**Численные значения коэффициентов аппроксимации ВАХ  
некоторых типов светоизлучающих диодов**

Тип светодиода	$P$ , Вт	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$	Условие	$S$ , %
FYL 3004URC	0,06	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	7,86	1	$0,075 \cdot I_{\text{НОМ}} < I_{\text{СИД}} < I_{\text{НОМ}}$	11,5
KUWH 760s	0,1	$1 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	1,9	0,2	$0,14 \cdot I_{\text{НОМ}} < I_{\text{СИД}} < I_{\text{НОМ}}$	14,5
KPWH 080-1	1	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	1,9	2	$0,285 \cdot I_{\text{НОМ}} < I_{\text{СИД}} < 2 \cdot I_{\text{НОМ}}$	14,7
KP2WH 080-2	2	$3,25 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	1,1	2	$0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} < I_{\text{СИД}} < 2 \cdot I_{\text{НОМ}}$	13,9

На рис. 2–5 приведены экспериментальные (точки) и рассчитанные в соответствии с (2) и данными таблицы (сплошные линии) ВАХ СИД. Экспериментальные данные взяты из [7–10] соответственно.

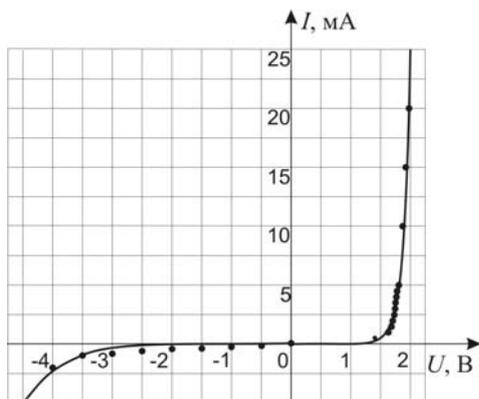


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика светодиода типа FYL3004URC

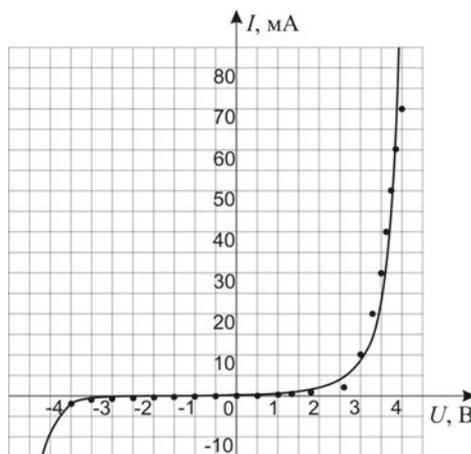


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика светодиода типа KUWH-760s-120

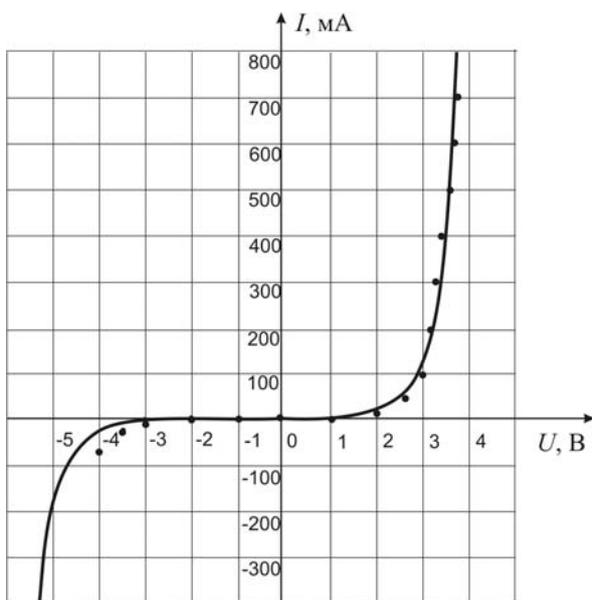


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика светодиода типа KPWH-080-1-120

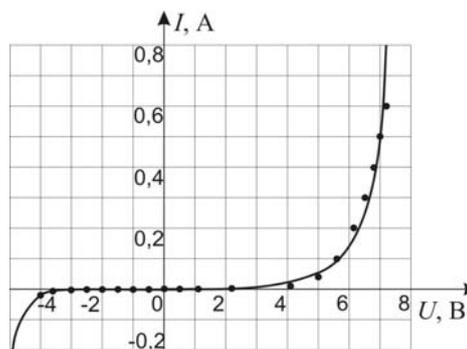


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика светодиода типа KP2WH-080-2-120

**Заключение.** Предложено аналитическое выражение с использованием модифицированной функции гиперболического тангенса, позволяющее аппроксимировать вольт-амперные характеристики светоизлучающих диодов во всей области допустимых прямых и обратных напряжений. Погрешность аппроксимации не превышает 15 % в диапазоне рабочих токов светодиодов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

*Литература*

1. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
  2. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ.; под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
  3. Туев В.И. Применение модифицированной функции гиперболического тангенса для аппроксимации вольт-амперных характеристик полевых транзисторов / В.И. Туев, М.В. Южанин // Изв. Том. политех. ун-та. – 2009. – №4. – С. 135–138.
  4. Южанин М.В. Аппроксимация вольт-амперных характеристик полевых транзисторов / М.В. Южанин, В.И. Туев // Научная сессия ТУСУР – 2008: матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф.: в 5 т. – Томск: В-Спектр, 2008. – Т. 2. – С. 295–297.
  5. Бачурин В.В. Схемотехника устройств на мощных полевых транзисторах: справочник / В.В. Бачурин, В.Я. Ваксенбург, В.П. Дьяконов. – М.: Радио и связь, 1994. – 280 с.
  6. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. – 609 с.
  7. Datasheet FYL-3004SURC1L [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://foryard.com>, свободный (дата обращения: 24.05.2011).
  8. Datasheet KUWH-760S-120 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bright-leds.ru>, свободный (дата обращения: 18.05.2011).
  9. Datasheet KPWH-080-1-120 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bright-leds.ru>, свободный (дата обращения: 18.05.2011).
  10. Datasheet KP2WH-080-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bright-leds.ru>, свободный (дата обращения: 18.05.2011).
- 

**Антонишен Игорь Владимирович**

Аспирант каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа  
Эл. почта: [antonishen@pochta.ru](mailto:antonishen@pochta.ru)

**Кох Александр Иванович**

Инженер НИИ светодиодных технологий ТУСУРа  
Эл. почта: [sanek546@mail.ru](mailto:sanek546@mail.ru)

**Туев Василий Иванович**

Д-р техн. наук, зав. каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа  
Тел.: (3822) 90-01-46  
Эл. почта: [tvj\\_retem@main.tusur.ru](mailto:tvj_retem@main.tusur.ru)

**Южанин Максим Владимирович**

Инженер каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа  
Эл. почта: [mxm@ms.tusur.ru](mailto:mxm@ms.tusur.ru)

Antonishen I.V., Koh A.I., Tuev V.I., Yuzhanin M.V.

**Application of the modified function of a hyperbolic tangent for approximation LED's I-V characteristics**

The analytical expression, allowing to approximate LED's  $I-V$  characteristics in the field of admissible values of direct and return voltages is offered. The error of approximation in the field of working currents doesn't exceed 15%.

**Keywords:** least squares method, base station, coverage area,  $I-V$  characteristics, LED, approximation.