

УДК 621.382

З.Ю. Готра, Р.Л. Голяка, М.Р. Гладун
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних приладів

СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ МАГНІТОДІОДА ДЛЯ “SPICE”

© Готра З.Ю., Голяка Р.Л., Гладун М.Р., 2002

Z.Yu. Gotra, R.L. Goliaka, M.R. Gladun

MAGNETODIODE SUBSTITUTION SCHEMES FOR "SPICE"

© Gotra Z.Yu., Goliaka R.L., Gladun M.R., 2002

Вивчається проблема створення моделей сенсорів магнітного поля в середовищі схмотехнічного моделювання “Spice”. Розглянуті підходи до синтезу схем заміщення магнітодіода. Показано, що, використовуючи комбінацію фізичних та емпіричних моделей, можна забезпечити ефективний аналіз сенсорних пристроїв в спеціалізованих програмах схмотехнічного моделювання.

Presents design of models for magnetic-field sensors which can be used in SPICE software. The synthesis of magnetodiode equivalent circuits is considered. It is shown that effective analysis of sensor devices in specialized circuitical software can be maintained by using combination of physical and empirical models.

Вступ. Ефективність процесу розробки нової техніки значною мірою визначається рівнем розвитку засобів моделювання, автоматизованого проектування та відповідного програмного забезпечення. Різноманітність, універсальність та широке розповсюдження сучасного професійно-орієнтованого програмного забезпечення моделювання та автоматизованого проектування поставило проблему його адаптації до задач мікроелектронної сенсорики. На прикладі синтезу моделі магнітодіода в цій роботі показано можливість ефективного аналізу сенсорних пристроїв у спеціалізованій програмі схмотехнічного моделювання “Spice” [1].

Основною проблемою моделювання сенсорних пристроїв в пакеті прикладних програм (ППП) “Spice” є відсутність моделей первинних перетворювачів. Ряд з них, наприклад термопари, в першому наближенні можуть замінюватися джерелами напруги [2]. Проте моделювання діодних структур в ролі фото- чи магнітодіодів в ППП “Spice” є неможливим, оскільки відсутні відповідні засоби введення вимірюваних параметрів, їх функції перетворення, температурних коефіцієнтів тощо.

Схема заміщення фізичної моделі. Перш за все відзначимо, що останніми роками в ППП “Spice” були введені додаткові можливості по синтезу складних моделей елементної бази. При моделюванні сенсорних пристроїв серед таких нововведень в першу чергу слід відзначити керовані джерела напруги та струму з вольт-амперною характеристикою у вигляді довільних математичних виразів (зокрема, у версії “B2 Spice A/D – 2000” це джерела В-типу).

Покажемо можливість використання таких керованих джерел для синтезу моделей магнітодіодів. На відміну від типових діодів, структура магнітодіодів формується в дуже

слабколегованих шарах напівпровідника. При цьому падіння напруги на слаболегованому шарі структури є настільки значним, що при струмі в декілька міліампер на магнітодіоді падає напруга 10 В і вище. В магнітодіодах ($d/L \gg 1$) розподіл носіїв, а отже, опір структури визначається довжиною дифузійного зміщення нерівноважних носіїв заряду. Остання, в свою чергу, визначається впливом магнітного поля на траєкторією носіїв. При синтезі моделі магнітодіода необхідно описати три визначальні характеристики:

1. Вольт-амперну характеристику, яка в першому наближенні може бути описана експонентою [3]

$$I \approx \frac{kT}{q} \cdot \frac{ch d/L}{\rho_0 L(b+1)} \left(e^{qU/ckT} - 1 \right),$$

де U – напруга на магнітодіоді; d – довжина бази; $L = l\sqrt{2b/(b+1)}$ – ефективна довжина дифузійного зміщення; l – довжина дифузійного зміщення;

$$c = 2 \frac{b + ch d/L}{b+1}; \quad b = \frac{\mu_n}{\mu_p}.$$

2. Вольтову магніточутливість (польову характеристику) при постійному струмі через магнітодіод

$$\gamma_U = \frac{\Delta U}{\Delta B} \approx \frac{d}{L} \left(\frac{qU}{ckT} + \frac{L}{d} - 1 \right) \frac{ckT}{q} \frac{\Delta L_E}{L_E \Delta B},$$

де L_E – усереднений шлях, який проходять носії за час життя в напрямку зовнішнього електричного поля.

3. Температурну залежність вольт-амперної характеристики –

$$\frac{dI}{dT} = I \left[-\frac{1}{\rho_0} \frac{d\rho_0}{dT} + \frac{qU}{ckT} \frac{1}{L^2} \frac{dL}{dT} + \frac{qU}{ckT} \frac{1}{(b+1)} \frac{db}{dT} - \frac{qU}{ckT^2} \right].$$

Приклад схеми заміщення, яка описує ВАХ магнітодіода, його польову та температурну характеристики, наведена на рис. 1.

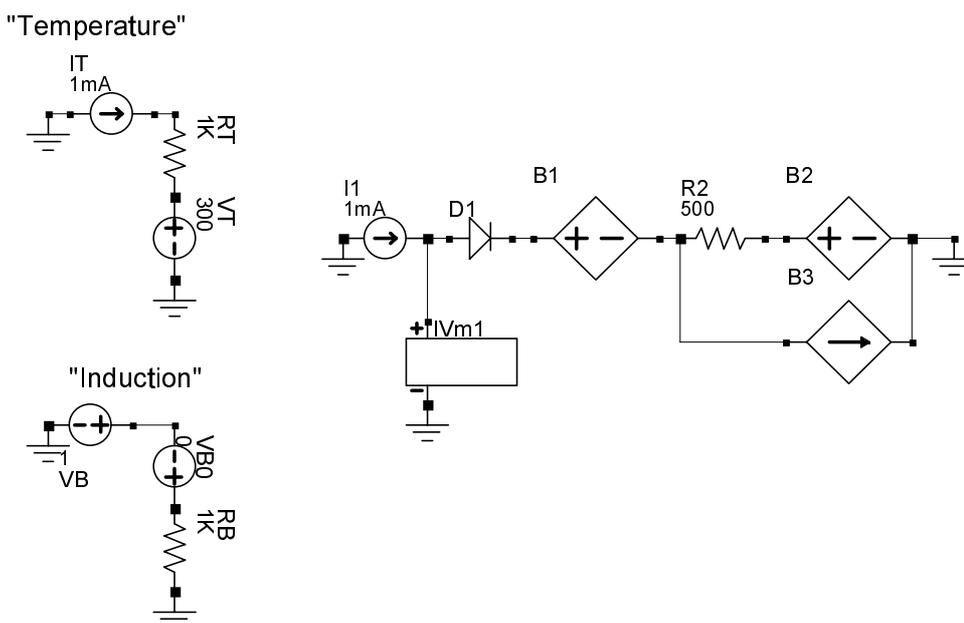


Рис. 1. Модель (схема заміщення) магнітодіода в ППП "B2 Spice A/D 2000"

Модель базується на двох керованих джерелах напруги V_1 , V_2 та керованому джерелі струму V_3 . В модель входять три кола:

- коло імітації температури “Temperature” на терморезисторі $R_T = 1 \text{ K}$ з лінійним температурним коефіцієнтом опору $TKR = 1$, джерелі струму живлення $I_T = 1 \text{ mA}$ та джерелі напруги початкового зміщення $V_T = 300 \text{ V}$ (при переведенні температури з шкали Цельсія в шкалу Кельвіна в ППП “Spice” параметри елементної бази “по замовчуванню” задаються при $27 \text{ }^\circ\text{C}$, тобто приблизно при 300 K);
- коло імітації індукції магнітного поля “Induction” на джерелах напруги V_B (початкове зміщення), V_{B0} та резисторі навантаження $R_B = 1 \text{ K}$;
- коло формування ВАХ магнітодіода на діоді D_1 (формування експоненційної складової ВАХ магнітодіода), резисторі R_2 (формування омичної складової ВАХ), керованих джерелах напруги V_1 (масштабування експоненційної складової), V_2 (масштабування омичної складової ВАХ), керованому джерелі струму V_3 (допоміжне джерело, яке підвищує універсальність при синтезі необхідних ВАХ магнітодіода).

Джерело струму I_1 та вольтметр V_{m1} введені лише для дослідження ВАХ. Напруга V_T , числове значення якої тотожне числовому значенню абсолютної температури, зчитується як сума напруг на терморезисторі R_T та джерелі напруги V_T . Напруга V_B , числове значення якої тотожне числовому значенню індукції магнітного поля, зчитується як падіння напруги на резисторі R_B . Ці значення напруг використовують в математичних виразах, які визначають характеристики керованих джерел V_1 - V_3 .

Необхідно відзначити певну проблематичність такого способу синтезу моделі магнітодіода. Причинами її є, по-перше, необхідність визначення дифузійної довжини, її польової та температурної залежності, а також ряду інших параметрів магнітодіодів, і, по-друге, складність точного визначення аналітичних виразів, які зв'язують параметри керованих джерел з польовою та температурною залежністю ВАХ магнітодіода. Так, аналіз показує, що при малих робочих струмах (без магнітного поля – $B = 0 \text{ T}$) має місце від'ємний, а при збільшенні струму – додатний температурні коефіцієнти напруги. Отже, існує точка на ВАХ, в якій спостерігається інверсія температурного коефіцієнта. В магнітному полі з індукцією $B > 0,1 \text{ T}$ при малих та великих струмах падіння напруги із збільшенням температури зменшується, а з індукцією $B < 0,1 \text{ T}$ і великих струмах падіння напруги збільшується. Математичне представлення таких аналітичних залежностей в ППП “Spice” може бути надто проблематичним.

Схема заміщення емпіричної моделі. Розглянемо альтернативний спосіб синтезу моделі магнітодіода для ППП “Spice” та алгоритм розрахунку її параметрів. Для реалізації цього способу необхідно лише одне кероване нелінійне джерело V_{MD} , яке формує струм I_{MD} . Цей струм є функцією трьох напруг: V_{MD} – напруги на його ж виводах, V_B – напруги, яка числово дорівнює індукції поля, та V_T – напруги, яка числово дорівнює абсолютній температурі (кола імітації магнітного поля та температури є аналогічними до наведеної вище схеми заміщення). Спосіб базується на емпіричних даних польової та температурної залежності ВАХ магнітодіода.

ВАХ магнітодіода наближено описується виразом $I = I_s e^{U/U_c}$, де U та I – відповідно, напруга на магнітодіоді та струм через нього; $U_c = \psi_a(B, T)$, та $I_s = \psi_b(B, T)$ – параметри, які визначаються поліномами (наприклад, другого порядку), як аргументи яких є індукція магнітного поля B та температура T .

На першому етапі, як мінімум, при двох значеннях струму через магнітодіод та при трьох значеннях індукції магнітного поля та трьох температурах вимірюють падіння напруги на магнітодіоді (мінімально 18 точок ВАХ).

На другому етапі для кожного значення магнітного поля та температури розраховуються параметри U_C та I_S . Для цього, розв'язуючи системи рівнянь

$$\begin{cases} I_1(B, T) = I_S(B, T) \cdot e^{U_1(B, T)/U_C(B, T)} \\ I_2(B, T) = I_S(B, T) \cdot e^{U_2(B, T)/U_C(B, T)} \end{cases},$$

знаходять

$$U_C(B, T) = \frac{U_2(B, T) - U_1(B, T)}{\ln\left(\frac{I_2(B, T)}{I_1(B, T)}\right)}, \quad I_S(B, T) = I_1(B, T) \cdot e^{-U_1(B, T)/U_C(B, T)},$$

де в даному конкретному випадку $I_1(B, T) = 1$ мА, $I_2(B, T) = 3$ мА.

На третьому етапі проводиться апроксимація параметрів польової та температурної залежностей $U_C(B, T)$ та $I_S(B, T)$ квадратними поліномами

$$\begin{aligned} U_C(B, T) &= a_{B0}(T) + a_{B1}(T)B + a_{B2}(T)B^2 & I_S(B, T) &= b_{B0}(T) + b_{B1}(T)B + b_{B2}(T)B^2 \\ a_{B0}(T) &= a_{B0T0} + a_{B0T1}T + a_{B0T2}T^2; & b_{B0}(T) &= b_{B0T0} + b_{B0T1}T + b_{B0T2}T^2; \\ a_{B1}(T) &= a_{B1T0} + a_{B1T1}T + a_{B1T2}T^2; & b_{B1}(T) &= b_{B1T0} + b_{B1T1}T + b_{B1T2}T^2; \\ a_{B2}(T) &= a_{B2T0} + a_{B2T1}T + a_{B2T2}T^2; & b_{B2}(T) &= b_{B2T0} + b_{B2T1}T + b_{B2T2}T^2, \end{aligned}$$

де a_i та b_i – поліноміальні коефіцієнти.

На четвертому, завершальному, етапі в ПППІ “Spice” вводиться формула ВАХ керованого напругами джерела струму, яке служить моделлю магнітодіода

$$\begin{aligned} I_{MD} &= (b_{B0T0} + b_{B1T0}U_B + b_{B1T1}U_B U_T + b_{B1T2}U_B U_T^2 + \\ &+ b_{B2T0}U_B^2 + b_{B2T1}U_B^2 U_T + b_{B2T2}U_B^2 U_T^2) \times \\ &\times \exp[U_{MD} / (a_{B0T0} + a_{B1T0}U_B + a_{B1T1}U_B U_T + a_{B1T2}U_B U_T^2 + \\ &+ a_{B2T0}U_B^2 + a_{B2T1}U_B^2 U_T + a_{B2T2}U_B^2 U_T^2)]. \end{aligned}$$

Приклад результатів моделювання ВАХ магнітодіода, отриманих у такий спосіб, наведено на рис. 2.

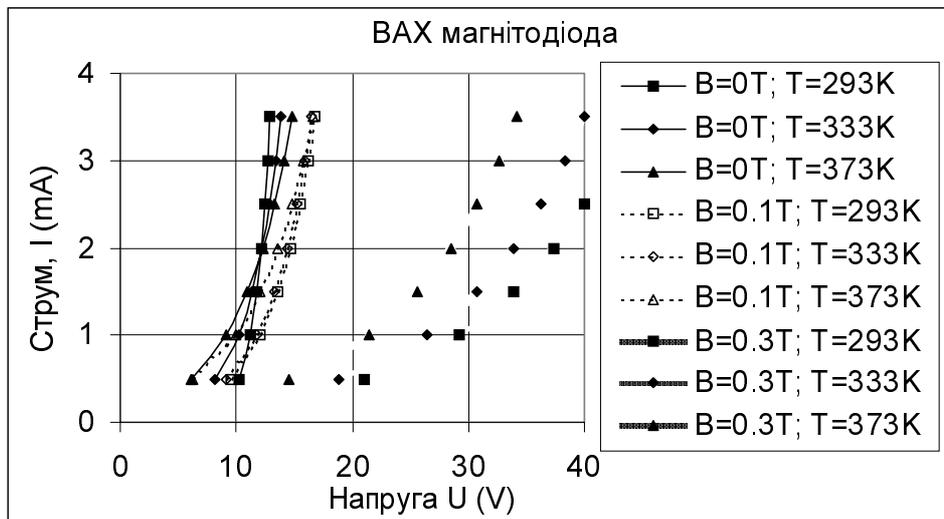


Рис. 2. Результати моделювання характеристики магнітодіода

Висновки. На прикладі синтезу схеми заміщення магнітодіода показана можливість аналізу сенсорних пристроїв в середовищі ППП “Spice”. Схема заміщення базується на керованих джерелах напруги та струму. Під час досліджень показано, що похибка моделей на основі поліномів третього степеня відносно експериментальних даних не перевищує декількох відсотків.

1. Маклауд Д. Программа PSPICE, версия 4 – новое крупное достижение в области смешанного моделирования // *Электроника*. – 1988. – 26. – С. 81–82.

2. Майкл Уайд. Как ввести реальный сигнал в программу Spice // *Электроника*. – 1992. – 11–12. – С. 122–123.

3. Егизарян Г.А., Стафеев В.И. Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М., 1987. – 88 с.

УДК 681.142.2

Н.В. Дорош, Г.Л. Кучмій, Л.М. Смеркло*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних приладів,

*Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ-СИНТЕЗАТОРИ СИГНАЛІВ ДЛЯ МЕДИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

© Дорош Н.В., Кучмій Г.Л., Смеркло Л.М., 2002

N.V. Dorosh, H.L. Kuchmiy, L.M. Smerklo

MULTIFUNCTIONAL GENERATORS-SYNTHESIZERS OF SIGNALS FOR MEDICAL ELECTRONIC SYSTEMS

© Dorosh N.V., Kuchmiy H.L., Smerklo L.M., 2002

Наведено методи синтезу сигналів спеціальної форми із заданими параметрами у часовій області для задач моделювання та тестування медичної електронної апаратури. Розглянуто особливості структурної організації багатofункціональних генераторов-синтезаторів біомедичних сигналів на базі мікропроцесорних схем з цифровою пам'яттю та показано результати синтезу електрокардіосигналів.

The methods for synthesis of signals of the special form with required parameters in time range for tasks of modeling and testing the medical electronic equipment are given. The features of structural organization of multifunctional generators-synthesizers of biomedical signals on the basis of the microprocessor circuits with digital memory are considered. The results of electrocardiosignals synthesis are shown.

Вступ. Розробка цифрових генераторів сигналів спеціальної форми із заданими параметрами є актуальною задачею при проектуванні медичної електронної апаратури різного призначення. Проблема синтезу тестових біомедичних сигналів (БМС) виникає при необхідності проведення перевірки та тестування медичних електронних приладів (електро-