

Л.Э.Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 424 с.

7. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н.Колмогоров, С.В.Фомин. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1981. – 544 с.

8. Пилькевич И.А. Мониторинг копытных животных, обитающих в охотничьих хозяйствах Украины / И.А.Пилькевич, А.В.Маевский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №5/4 (47). – С. 35-40.

Поступила 27.01.2011р.

УДК 621.317

Л.Б.Ліщинська, к.т.н., доц., ВНТУ, м. Вінниця

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОХЗАТВОРНОГО ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМІ ПРЯМОГО ЗМІЩЕННЯ НА ЗАТВОРАХ

The mathematical model of two breech-block field transistor is grounded in the mode of direct displacement on breech-blocks as an indefinite matrix of conductivity of 4th orders. Analytical dependences of parameters of this model are got on the parameters of semiconductor structure.

Вступ. У цифровій техніці широке використання отримали багатомітерні і багатокелекторні транзистори [1]. В аналоговій техніці у генераторах, підсилювачах, перетворювачах, фазообертачах, атенуаторах використовуються багатозатворні транзистори з *p-n* переходом (ПТ2) і переходом Шоттки (ПТШ2) [2]. Ефективними виявилися ПТ, що мають не більш 2-х переходів, які працюють при зворотному зміщенні. Математичні моделі ПТ2 для такого режиму відомі [3]. Розгляд математичних моделей однозатворних ПТ показав, що вони можуть працювати і при прямому зміщенні на затворі в інжекційно-пролітному режимі [4]. Це розширює функціональні можливості ПТ2, але вимагає розробки математичних моделей ПТ2 у цьому режимі.

Обґрунтування математичної моделі. Двозатворний польовий транзистор (рис. 1) є незалежним чотириелектродним багатополіусником, зв'язок між струмами (i_{31}, i_{32}, i_B, i_C) і напругами (U_{31}, U_{32}, U_B, U_C) якого описується рівнянням

$$\begin{bmatrix} i_{31} \\ i_{32} \\ i_C \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_{31} \\ U_{32} \\ U_C \\ U_B \end{bmatrix}. \quad (1)$$

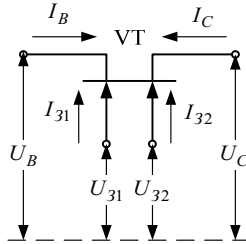


Рис. 1. Схематичне позначення ПТ2 як незалежного 4-х електродного багатополіюсника

Невизначена матриця провідності, що входить в (1), є узагальненою математичною моделлю ПТ2. Враховуючи, що не всі елементи цієї матриці є незалежними, для їх знаходження досить визначити у-параметри ПТ2 лише для 3-х схем його включення у якості чотириполіюсника, коли два електроди з'єднуються зі спільною шиною [5]. Критерієм вибору схеми включення є умова, при якій у шукані матриці повинні входити діагональні елементи $(y_{11}, y_{22}, y_{33}, y_{44})$, що забезпечують схеми включення ПТ2 зі спільними: (31, B); (C, B); (31, 32). Розрахувавши або виміривши десять у-параметрів трьох чотириполіюсників на базі ПТ2 при прямому зміщенні на затворах, можна визначити інші параметри математичних моделей ПТ2 у різних схемах включення. При цьому вважатимемо, що робоча точка транзистора знаходиться в активній області.

Математична модель ПТ2 для режиму відкритих переходів. Коли обидва переходи ПТ2 відкрито, топологія транзистора не змінюється і його також, як і при закритих переходах, можна представити тотожним ланцюгом, що складається з 2-х інжекційно-пролітних транзисторів (ПТТ).

Для знаходження параметрів невизначеної матриці провідності ПТ2 потрібно визначити у-параметри 3-х чотириполіюсників, що реалізуються на базі ПТ2 (рис. 2).

Утворюючи їх, в результаті тотожного перетворення, чотириполіюсники являють собою ПТТ (рис. 3), включені за схемою зі спільними: витоком (CB), емітером (CE) і стоком (CC). Фізичні еквівалентні схеми цих чотириполіюсників на підставі фізичної еквівалентної схеми ПТТ [4] представимо у вигляді рис. 3г-е.

Ігноруючи, з метою спрощення аналізу, елементами корпусу і виводів, використовуючи фізичну еквівалентну схему ПТТ знаходимо матриці провідності цих чотириполіюсників:

- для схеми зі спільним витоком

$$\begin{bmatrix} y_{11}^{(B)} & y_{12}^{(B)} \\ y_{21}^{(B)} & y_{22}^{(B)} \end{bmatrix} = \Delta Z^{-1} \times \begin{bmatrix} Z_E + Z_{B1}(1-\beta) & -Z_{B1}(1-\beta) \\ -Z_{B1} & R_{B2} + Z_{B1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{де } \Delta Z = Z_E R_{B2} + Z_{B1} [Z_E + R_{B2} (1 - \beta)];$$

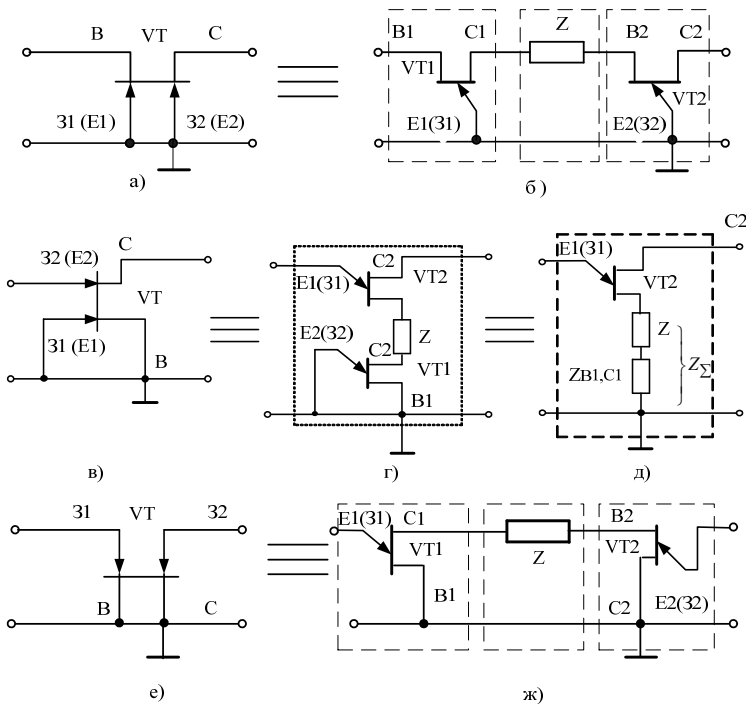


Рис. 2. Тотожне представлення чотириполосників на базі ПТ2 при відкритих переходах і включенні їх за схемою: (31,32) – а, б; (31,В) – в, г, д; (В,С) – е, ж

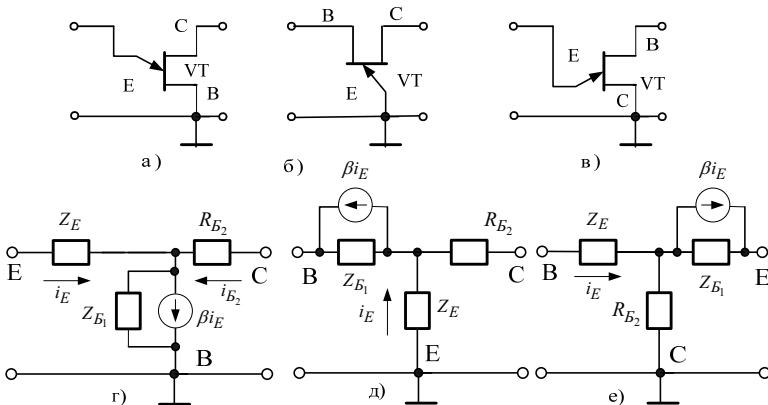


Рис. 3. Схеми чотириполосників на базі ППТ (а – зі спільним витоком; б – зі спільним емітером; в – зі спільним стоком) та їх фізичні еквівалентні схеми (г–е)

- для схеми зі спільним емітером

$$\left[y_{ШТ}^{(E)} \right] = \begin{bmatrix} y_{11}^{(E)} & y_{12}^{(E)} \\ y_{21}^{(E)} & y_{22}^{(E)} \end{bmatrix} = \Delta Z^{-1} \times \begin{bmatrix} Z_E + R_{B2} & -Z_E \\ -(Z_E - \dot{\beta} Z_{B1}) & Z_E + Z_{B1}(1 - \dot{\beta}) \end{bmatrix}; \quad (3)$$

- для схеми зі спільним стоком

$$\left[y_{ШТ}^{(C)} \right] = \begin{bmatrix} y_{11}^{(C)} & y_{12}^{(C)} \\ y_{21}^{(C)} & y_{22}^{(C)} \end{bmatrix} = \Delta Z^{-1} \times \begin{bmatrix} Z_E + Z_{B1}(1 - \dot{\beta}) & -R_{B2} \\ -(R_{B2} - Z_{B1}\dot{\beta}) & R_{B2} + Z_{B1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де Z_{E1}, Z_{E2} – комплексний опір відкритих переходів; Z_{B11}, Z_{B12} – комплексні опори між емітером (затвором) і витоком; R_{B21}, R_{B22} – омичний опір каналу між емітером (затвором) і стоком кожного еквівалентного транзистора; Z – опір каналу між стоком першого і витоком другого еквівалентного транзистора; $\dot{\beta}_1, \dot{\beta}_2$ – комплексні коефіцієнти передачі по струму еквівалентних транзисторів; i_{E1}, i_{E2} – емітерні (затворні) струми.

Для чотириполосника на рис. 2а, використовуючи (2–4) і здійснюючи перехід до [a-матриць] цих чотириполосників $[a_{E1}]$, $[a_Z]$, $[a_{E2}]$ знаходимо

$$[a]^{(E1,E2)} = [a^{E1}] \times [a^Z] \times [a^{E2}] = \begin{bmatrix} a_{11}^{(E1,E2)} & a_{12}^{(E1,E2)} \\ a_{21}^{(E1,E2)} & a_{22}^{(E1,E2)} \end{bmatrix}.$$

Здійснивши зворотний перехід від [a-матриці] до матриці провідності, отримаємо

$$\begin{aligned} \left[y^{(E1,E2)} \right] &= \begin{bmatrix} y_{11}^{(E1,E2)} & y_{12}^{(E1,E2)} \\ y_{21}^{(E1,E2)} & y_{22}^{(E1,E2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{33} & y_{34} \\ y_{43} & y_{44} \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{a_{12}^{(E1,E2)}} \begin{bmatrix} a_{22}^{(E1,E2)} & -\Delta a^{(E1,E2)} \\ 1 & -a_{11}^{(E1,E2)} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\Delta a^{(E1,E2)}$ – визначник $[a]^{(E1,E2)}$ -матриці чотириполосника на рис. 2а.

Для чотириполосника на рис. 2в, знаходимо

$$\begin{aligned} \left[y^{(E1,B)} \right] &= \begin{bmatrix} y_{11}^{(31,B)} & y_{12}^{(31,B)} \\ y_{21}^{(31,B)} & y_{22}^{(31,B)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{22} & y_{23} \\ y_{32} & y_{33} \end{bmatrix} = \\ &= \Delta Z^{(31,B1)} \times \begin{bmatrix} Z_{22}^{(B2)} - Z_{\Sigma} & Z_{12}^{(B2)} + Z_{\Sigma} \\ Z_{21}^{(B2)} + Z_{\Sigma} & Z_{11}^{(B2)} + Z_{\Sigma} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\Delta Z^{(E1,B1)}$ – визначник матриці опорів чотириполосника на рис. 5в; $Z_{11}^{B2}, Z_{12}^{B2}, Z_{21}^{B2}, Z_{22}^{B2}$ – елементи матриці опорів чотириполосника, утвореного VT2; $Z_{\Sigma} = Z + Z_{(B1,C1)}$.

Для чотириполосника на рис. 2е, знаходимо

$$\begin{aligned} \left[y^{(B,C)} \right] &= \begin{bmatrix} y_{11}^{(BC)} & y_{12}^{(BC)} \\ y_{21}^{(BC)} & y_{22}^{(BC)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{a_{12}^{(B,C)}} \begin{bmatrix} \bar{a}_{22}^{(B,C)} & -\Delta a^{(B,C)} \\ 1 & -a_{11}^{(B,C)} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $\Delta a^{(B,C)}$ – визначник $[a]^{(B,C)}$ -матриці чотириполосника на рис. 2е,ж.

Рівняння (5–7) є малосигнальною математичною моделлю ПТ2 для режиму відкритих переходів. Підстановка їх параметрів в (1) дозволяє встановити всі параметри невизначеної матриці ПТ2 в режимі прямого зміщення на затворах.

Експериментальна перевірка коректності математичної моделі.

Перевірка коректності розробленої математичної моделі ПТ2 можлива шляхом порівняння розрахованих значень параметрів їх імітансних матриць з експериментально набутими значеннями цих параметрів. Проте при досягненні цієї мети виникають два ускладнення.

Перше полягає у відсутності серійної апаратури для вимірювання W -параметрів таких структур, включаючи надвисокочастотний діапазон. Можливе визначення W -параметрів за результатами вимірювання параметрів матриці розсіяння чотириполосника (S -параметрів), для вимірювання яких випускається велика кількість стандартної вимірювальної апаратури. Проте, добре працюючи при вимірюванні параметрів пасивних компонентів (ліній передачі, направлених відгалужувачів, дільників, суматорів тощо), вимірювання параметрів активних компонентів зустрічає значні труднощі, пов'язані з потенційною нестійкістю таких чотириполосників і великою погрішністю здійснюваних фазових вимірювань.

Друге ускладнення пов'язано з відсутністю довідкових даних параметрів фізичної еквівалентної схеми ПТ2 транзистора, а також методів їх вимірювання. Крім того, якими б не були точними ці параметри для конкретної структури, вони є усередненими, і внаслідок технологічного розкиду параметрів, при оцінці подібної структури, можуть внести значні погрішності.

Виходячи з проведеного аналізу, при рішенні задачі перевірки коректності розробленої математичної моделі введемо низку обмежень: оцінку проведемо шляхом використання лише W -параметрів, не використовуючи методи перерахунку через S -параметри; використовуємо не

повну систему W -параметрів, а лише їх нестандартний варіант; по можливості виключимо фазові вимірювання.

Як показано в [5], першою умовою, що забезпечує використання багатоелектродної напівпровідникової структури в аналогових пристроях є: $Y_{12} \neq 0$; $Y_{21} \neq 0$. Виходячи з цього, саме погрішність знаходження цих параметрів є визначальною при оцінці коректності розробленої математичної моделі. Проте безпосереднє вимірювання цих параметрів у широкому діапазоні частот має значну трудність, обумовлену необхідністю здійснювати фазочастотні вимірювання для визначення комплексних складових цих параметрів.

Враховуючи, що $|Y_{12}| = f(\text{Re } Y_{12}, \text{Im } Y_{12})$ і $|Y_{21}| = f(\text{Re } Y_{21}, \text{Im } Y_{21})$ використовуємо $|Y_{12}|$ і $|Y_{21}|$ як основні інформаційні параметри оцінки коректності розроблених моделей. Для спрощення процесу вимірювання скористаємося інваріантним коефіцієнтом виду [5]
 $K_{ms} = |S_{21} / S_{12}| = |Y_{21}| / |Y_{12}|$, який характеризує коефіцієнт передачі чотириполосника на межі його стійкості

Достоїнством цього коефіцієнта є: по-перше, його інтегральна залежність від інформаційних параметрів Y_{12} і Y_{21} ; по-друге, можливість його знаходження у широкому діапазоні частот без застосування фазових вимірів; по-третє, навіть у разі вимірювання параметрів потенційно-нестійкого чотириполосника гарантується абсолютна стійкість вимірювальної установки, що забезпечує високу достовірність результатів вимірювання.

Величина $K_{ms} = \sqrt{P_{\text{НП}} / P_{\text{НЗ}}}$, де P_{Γ} – потужність генератора сигналу; $P_{\text{НП}}$ і $P_{\text{НЗ}}$ – відповідно потужності сигналу, що виділяються у дійсній складовій імітансу вимірника потужності при вимірюванні прямого $K_{\text{ном.21}}$ і зворотного $K_{\text{ном.12}}$ коефіцієнтів передачі. Отже, при $P_{\Gamma} = \text{const}$ вимірювання K_{ms} , а відповідно і $|Y_{21} / Y_{12}|$ зводиться до вимірювання лише потужності сигналу при його проходженні через досліджуваний чотириполосник у прямому і зворотному напрямку.

Проведена оцінка середньоквадратичної погрішностей таких вимірювань показала, що вона дорівнює $\delta_{ms} = \delta_p / \sqrt{2}$, де δ_p – середньоквадратична погрішність вимірювання потужності сигналу. Наприклад, при використанні з цією метою вимірювального моста М4-2, що має $\delta_p = \pm 4\%$, отримано $\delta_{ms} = \pm 2,84\%$.

Проведено частотні вимірювання K_{ms} чотирихелектродної напівпровідникової структури на базі двохзатворного польового транзистора типу 2N325 у режимі прямого зміщення переходів. Результати вимірювань

порівнювалися з чисельними розрахунками K_{ms} для цих структур, отриманими з використаної математичної моделі (5–7). Початкові дані для розрахунків частково отримані з використанням вимірювальних методів, розроблених в [6], а також з баз даних, наведених у типових пакетах проектування електронних пристроїв «PC Spice» [7] і Microwave office [8].

Аналіз результатів чисельного моделювання і експериментальних досліджень у діапазоні частот з $0,01\Omega_T$ до $0,05\Omega_T$ свідчить про повний їх якісний збіг. У кількісному плані найбільші відмінності (порядку 30% у нижньому частотному діапазоні) спостерігаються для ПТ2 у режимі відкритих переходів, що пов'язано з явищем взаємної модуляції електронних потоків, які у математичній моделі не враховувалися. В середньому для розробленої моделі погрішність не перевищує 20%, що, з врахуванням розкиду параметрів напівпровідникових структур УВЧ і НВЧ діапазону, є задовільним і підтверджує коректність розробленої математичної моделі та можливість її використання при дослідженні аналогових електронних схем на базі ПТ2 при прямому зміщенні на затворах.

Висновки.

1. Узагальнена математична модель ПТ2 є невизначеною матрицею провідності 4-го порядку, для знаходження параметрів якої достатньо встановити параметри квадратичних матриць провідності трьох видів чотириполюсників, що реалізуються на базі ПТ2.

2. У режимі прямого зміщення затворів ПТ2 може бути представлений тотожною схемою у вигляді двох ППТ зі з'єднаними стоком першого та витоком другого транзисторів.

3. Перевірка коректності розробленої математичної моделі, яка проведена за результатами порівнювальної оцінки експериментальних і розрахункових значень інтегрального параметра $|Y_{21}/Y_{12}|$, показала у діапазоні $(0,01-0,05)\Omega_T$ середнє відносне відхилення порядку 20%, що, з урахуванням статистичного розкиду параметрів реальних транзисторів, слід вважати задовільним.

1. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно–измерительной аппаратуре / Е.А.Зельдин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 280с.
2. Валиев К.А. Применение контакта металл–полупроводник в электронике / К.А.Валиев, Ю.И. Пашинцев, Г.В. Петров. – М.: Сов. радио, 1981. – 304с.
3. Данилин В.Н. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В.Н.Данилин, А.И. Кушницренко, Г.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 192с.
4. Філінюк Н.А. Инжекционно–пролётный транзистор / Н.А. Філінюк, И.В. Булыга // Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе. – Баку: АТУ, 2007. – С. 95–97.
5. Філінюк М.А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі: монографія / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 274 с. – ISBN 978-966-641-

6. Філінюк М.А. Визначення параметрів фізичної моделі двозатворного польового транзистора Шотткі / М.А.Філінюк, Д.В. Гаврилов, Л.Б.Ліщинська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 4. – С. 93-96.
7. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. Вып. 2: Модели компонентов аналоговых устройств / В.Д.Разевиг. – М.: Радио и связь, 1992. – 64с. – ISBN 5-256-01090-5
8. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью MICROWAVE OFFICE. / В. Д. Разевиг, Ю. В. Потапов, А.А. Курушин. – М. : Солон–Пресс, 2003. – 496с. – ISBN 5-98003-089-1

Поступила 17.01.2011р.

УДК 683.6

Б.В.Дурняк, О.Ю.Коростіль

ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕКСТОВИХ МОДЕЛЕЙ

Анотація. В роботі досліджуються методи перетворення текстових описів об'єктів дослідження, що складають текстову модель в логічні описи, що описують відповідні об'єкти на більш високому рівні абстракції. Визначення різних рівнів абстракції опису деякого об'єкта пропонується здійснювати на основі аналізу точності відповідного опису. В роботі приймається теза про те, що при збільшенні рівня абстракції опису, збільшується похибка апроксимації об'єкта відповідним описом. Запропоновано метод перетворення текстових описів об'єктів дослідження в опис у вигляді логічних співвідношень.

Ключові слова: текстові описи, логічні описи, семантичні параметри, рівні абстракції, моделі.

Вступ

Сучасні інформаційні системи часто включають в якості об'єктів дослідження, а також об'єктів управління структури, які досить складно описати відомими аналітичними, чи іншими комбінаційними методами, які можуть складатися з різних теоретичних засобів [1]. В цих випадках, використання інших теоретичних засобів, як правило, приводить до підвищення рівня абстракції представлення відповідного об'єкту, чи приводить до збільшення похибки опису відповідного об'єкта. До більш високого рівня абстракції представлення об'єкта будемо відносити такі способи їх опису, які описують об'єкт з більш високою похибкою їх апроксимації. В цьому випадку, виникає задача переходу від опису об'єкту з з більш високим рівнем абстракції до опису об'єкту з менш високим рівнем