

ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАСТУПНИХ СХЕМ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Методом редукції - реставрації електричних схем знайдено однозначний зв'язок між експериментальними значеннями вузлових провідностей польових транзисторів та параметрами елементів їх фізичних заступних схем.

Проектування та подальше використання електронних приладів тісно пов'язане з процедурою їх моделювання, зокрема зі структурною та параметричною ідентифікаціями [1]. Зауважимо, що задачі ідентифікації, розпізнання образів та діагностики подібні і належать до класу обернених задач. Однак з огляду на відмінності в застосуванні і методах розв'язку ці задачі в теорії мереж формулюються по-різному.

На даний час існує два підходи визначення параметрів моделей транзисторів на основі результатів вимірювання: прямі вимірювання і розрахунок на ЕОМ з допомогою програм оптимізації.

При прямих вимірюваннях параметри моделі безпосередньо отримуються в режимах, установлених для даного приладу. При цьому кількість вимірювань дорівнює кількості параметрів моделі. Оскільки методики визначення параметрів моделі різні, то вимірювання кожного з них здійснюється, як правило, по своїй власній схемі і потребує використання відповідної їй вимірювальної апаратури. Як наслідок, повний цикл вимірювань вимагає великої кількості різноманітних вимірювальних пристроїв, і сам процес вимірювання складає достатньо тривалу і трудомістку процедуру.

Цих труднощів можна уникнути, якщо для визначення параметрів моделі скористатися методами оптимізації за допомогою ЕОМ. Вихідною інформацією тут також є результати вимірювань але, на відміну від першого способу, проведених по загально-

прийнятим відпрацьованим методикам на стандартній вимірювальній апаратурі. На основі цієї однотипної інформації з допомогою спеціальних програм ЕОМ визначаються такі значення параметрів моделі, які забезпечують найкраще співпадання результатів вимірювання з результатами моделювання. В даному випадку суттєво прискорюється і спрощується процедура вимірювань і створюються передумови для її автоматизації. Однак при цьому потрібна розробка надійних в експлуатації програм визначення параметрів моделі, що реалізують методи оптимізації в просторі багатьох змінних. Такий підхід пов'язаний з труднощами, обумовленими некоректністю обернених задач. При цьому незначна похибка вихідних даних може порушити стійкість обчислювальної схеми.

У даній роботі пропонується шлях параметричної ідентифікації елементів фізичних заступних схем польових транзисторів без використання трудомісткої процедури багатопараметричної оптимізації. Задача зводиться до використання простих залежностей шуканих параметрів елементів від експериментально визначених значень вузлових провідностей польових транзисторів. Для знаходження такого взаємозв'язку використано метод редукції-реставрації електричних схем [2].

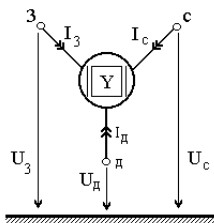
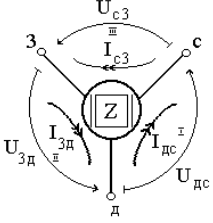
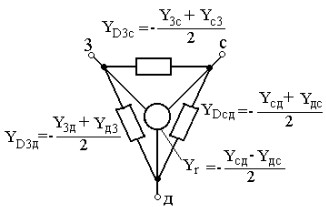
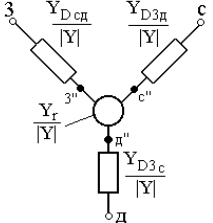
У табл.1 (схема 1) показано, що довільний пасивний триполюсник, в тому числі і польовий транзистор, можна однозначно описати через його вузлові провідності у системах канонічних координат (вузлових напруг та колових струмів). Крім того, триполюсник завжди можна синтезувати сукупністю взаємних двополюсних елементів та антивзаємного гіратора. При такому синтезі (схема 2) у вузловому координатному базисі кількість вузлів заступної не змінюється, а у базисі колових струмів реставруються ще додаткові три внутрішні вузли (z'' , c'' , d'') [3].

У подальшому структура цієї заступної схеми покроково редукується до структури фізичної заступної схеми (Табл. 2).

При параметричній ідентифікації елементів фізичної заступної схеми необхідно ще врахувати характерні її особливості у вигляді таких умов:

$$1) \operatorname{Re} Y_{zc'}=0; \quad 2) \operatorname{Re} Y_{zd'}=0; \quad 3) \operatorname{Im} Y_{\Gamma'}=0.$$

Таблиця 1. Заступні схеми польових транзисторів в канонічних системах координат.

Схема	Система координат	
	вузлових напруг	колових струмів
1	 $\begin{bmatrix} I_3 \\ I_c \\ I_d \end{bmatrix} = \begin{matrix} 3 & c & d \\ \begin{bmatrix} Y_{33} & Y_{3c} & Y_{3d} \\ Y_{c3} & Y_{cc} & Y_{cd} \\ Y_{d3} & Y_{dc} & Y_{dd} \end{bmatrix} \end{matrix} \cdot \begin{bmatrix} U_3 \\ U_c \\ U_d \end{bmatrix},$ $\boxed{\mathbf{I}} = \boxed{\mathbf{Y}} \cdot \boxed{\mathbf{U}}.$	 $\begin{bmatrix} U_{d\pi} \\ U_{3\pi} \\ U_{c3} \end{bmatrix} = \frac{1}{ Y } \begin{matrix} \pi & \pi & \pi \\ \begin{bmatrix} Y_{33} & Y_{3c} & Y_{3d} \\ Y_{c3} & Y_{cc} & Y_{cd} \\ Y_{d3} & Y_{dc} & Y_{dd} \end{bmatrix} \end{matrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d\pi} \\ I_{3\pi} \\ I_{c3} \end{bmatrix},$ $\boxed{\mathbf{U}_{kl}} = \boxed{\mathbf{Z}} \cdot \boxed{\mathbf{I}_{kl}}.$
2	 $\boxed{\mathbf{Y}} = \boxed{\mathbf{Y}_D} + \boxed{\mathbf{Y}_r} =$ $= \frac{\boxed{\mathbf{Y}} + \boxed{\mathbf{Y}}^T}{2} + \frac{\boxed{\mathbf{Y}} - \boxed{\mathbf{Y}}^T}{2}$	 $\boxed{\mathbf{Z}} = \boxed{\mathbf{Z}_D} + \boxed{\mathbf{Z}_r} =$ $= \frac{\boxed{\mathbf{Z}} + \boxed{\mathbf{Z}}^T}{2} + \frac{\boxed{\mathbf{Z}} - \boxed{\mathbf{Z}}^T}{2}$

Таблиця 2. Покрокові еквівалентні структурні перетворення триполюсника на шляху параметричної ідентифікації елементів заступних схем польових транзисторів

Кроки структурних перетворень	
1	
2	
3	
4	

Тоді:

$$r_g \Big|_{\{1,3\}} = -\frac{g_{zc} + b_{zc} \frac{g_r}{b_r}}{g + b \frac{g_r}{b_r}}; \quad r_c \Big|_{\{2,3\}} = -\frac{g_{zd} + b_{zd} \frac{g_r}{b_r}}{g + b \frac{g_r}{b_r}};$$

$$C_{zc'} \Big|_{\{1\}} = \frac{1}{2pf} \operatorname{Im} \left(\frac{-Y_{zc} - r_d |Y|}{|Y| * |Z|} \right); \quad C_{zd'} \Big|_{\{2\}} = \frac{1}{2pf} \operatorname{Im} \left(\frac{-Y_{zd} - r_c |Y|}{|Y| * |Z|} \right);$$

$$S \Big|_{\{3\}} = 2 \frac{Y_r}{|Y| * |Z|}; \quad r_{c'd'} = -\frac{|Y| * |Z|}{Y_{dc}},$$

тут: числа у фігурних дужках - номери згаданих вище умов, що враховані в даному випадку; $Y_{ке} = g_{ке} + jb_{ке}$ - вузлова провідність; $Y_r = g_r + jb_r$ - провідність гірації; $|Y| = g + jb$ - визначник матриці вузлових провідностей; f - частота, на якій проводилися вимірювання вузлових провідностей;

$$|Y| * |Z| = 1 + r_d * r_c * |Y| - r_c * Y_{cc} - r_d * Y_{dd}.$$

Таким чином, знайдено прості формули, які виражають взаємозв'язок між значеннями виміряних вузлових провідностей і параметрами фізичних заступних схем польового транзистора, що значно спрощує їх ідентифікацію.

Наприклад, для транзистора 2N3823, що на частоті $f = 40\text{МГц}$ описується матрицею вузлових провідностей (Табл. 1, схема 1):

$$\|Y\| = \begin{array}{c} z \\ c \end{array} \begin{array}{|cc|} \hline \begin{array}{c} 3 \\ 1.535 \cdot 10^{-2} + j1.231 \end{array} & \begin{array}{c} c \\ -1.151 \cdot 10^{-3} - j3.817 \cdot 10^{-1} \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} 4.566 - j4.715 \cdot 10^{-1} \end{array} & \begin{array}{c} 1.85 \cdot 10^{-2} + j3.813 \cdot 10^{-1} \end{array} \\ \hline \end{array} \text{МСМ},$$

результати такої ідентифікації набувають значень: $r_d = 1.993 \cdot 10^{-2}$ кОм, $r_c = 0.784 \cdot 10^{-2}$ кОм, $r_{c'd'} = 5.234 \cdot 10^1$ кОм, $S = 0.5029 \cdot 10^1$ кОм, $C_{zd'} = 3.6599$ пФ, $C_{zc'} = 1.5167$ пФ. Отримані нами результати відрізняються від результатів оптимізації [4] тільки в третій значущій цифрі.

Практика використання знайдених виразів показує, що для

покращення точності результатів ідентифікації бажано вимірювання вузлових провідностей проводити на частотах близьких до граничної частоти польового транзистора f_s .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Носов Ю.Р., Петросянц К.О., Шилов В. А. Математические модели элементов интегральной электроники.-М., Сов. радио, 1976.-304 с.
2. Дроздов В. А., Шмидт Р. Р. Принципы машинной реализации метода редукции-реставрации для анализа режимов работы электрических цепей // Докл. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук.-1988.-№3.-С.100-104.
3. Бучковский И. А. Применение гираторов при построении П и Т-образных эквивалентных схем транзисторов и определение их параметров // Автоматизация проектирования в электрон.:респ. межвед. научн.-техн. сб.-1983.-вып.27.-С.93-100.
4. Lesnicki A. Wyznaczenie parametrow fizycznego ukladu zastepczego tranzystora na podstawie pomierzonych charakterystyk czwornikowych // Archiwum Elektrotechniki.-1974.-**23**, Z.2.-S.325-336.

SUMMARY

BUCHKOVSKY I.A.

PARAMETRIC IDENTIFICATION OF ELEMENTS FOR THE FIELD-EFFECT TRANSISTOR'S EQUIVALENT CIRCUITS

Unique reciprocal connection has been derived by reduction and restoration of electrical circuits between experimentally found nodal conductivities of field-effect transistors, on the other hand, and parameters of the elements constituting their physical equivalent circuits, on the other hand.