

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.317

Л. Б. Ліщинська, к. т. н., доц.;

А. Г. Шведюк;

М. А. Філінюк, д. т. н., проф.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОДНОПЕРЕХІДНОГО ТРАНЗИСТОРА

Запропоновано експериментальний метод визначення параметрів одноперехідного транзистора. Перевагою способу є ослаблений вплив на результати вимірювань індуктивностей виводів та міжелектродних ємностей, а також гарантована стійкість вимірювальної установки під час вимірювання параметрів потенційно нестійкого одноперехідного транзистора, що веде до зниження похибок визначення.

Постановка задачі

Для розрахунку активних пристроїв використовують фізичні еквівалентні схеми транзисторів. Визначення параметрів цих схем здійснюється на підставі вимірювання Н-, Y- і S-параметрів транзисторів [1–3]. При цьому необхідно здійснювати режими короткого замикання, холостого ходу, узгодження, що технічно важко здійснити в діапазоні високих і надвисоких частот, унаслідок впливу індуктивностей виводів транзистора і міжелектродних ємностей. Для зменшення впливу цих чинників частоту вимірювання вибирають значно нижче за робочу частоту транзистора, що приводить до похибки розрахунку проектного пристрою.

Крім того, сучасні одноперехідні транзистори в широкому діапазоні частот володіють потенційною нестійкістю, що в процесі вимірювань приводить до неконтрольованого самозбудження вимірювальної установки, і як наслідок, до зростання похибок вимірювань.

У зв'язку з цим виникає задача вимірювання параметрів одноперехідного транзистора, змряних на частотах, близьких до робочої частоти, виключивши з процесу вимірювання необхідність здійснення режимів КЗ, ХХ або узгодження і зменшивши вплив на результати вимірювання індуктивностей та ємностей виводів транзистора.

Обґрунтування методу

Пропонується непрямий метод визначення параметрів фізичної еквівалентної схеми одноперехідного транзистора через змряні значення максимально-досяжного коефіцієнта підсилення транзистора на межі стійкості, в трьох схемах його включення. Він однозначно визначається через ряд параметрів чотириполюсника [4].

$$K_{ms} = \left| \frac{Y_{21}}{Y_{12}} \right| = \left| \frac{Z_{21}}{Z_{12}} \right| = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right|. \quad (1)$$

Враховуючи, що номінальні коефіцієнти прямої і зворотної передачі чотириполюсника визначаються виразами [5]

$$K_{НОМ21} = \frac{P_{НП}}{P_{Г}} = K_{ms} \left(K_{У} - \sqrt{K_{У}^2 - 1} \right);$$

$$K_{НОМ12} = \frac{P_{НП}}{P_{Г}} = K_{ms}^{-1} \left(K_{У} - \sqrt{K_{У}^2 - 1} \right),$$

знаходимо:

$$K_{ms} = \sqrt{\frac{K_{HOM21}}{K_{HOM12}}}, \quad (2)$$

де P_{HP} та P_{H3} — відповідно потужності сигналу що виділяються в дійсній складовій іммітансу вимірювача потужності при вимірюванні прямого і зворотного коефіцієнтів передачі; P_T — номінальна потужність генератора; K_Y — інваріантний коефіцієнт стійкості чотириполосника.

З (2) випливає, що при постійній потужності генератора ($P_T = \text{const}$) вимірювання K_{ms} зводиться до вимірювання потужності при прямому P_{HP} і зворотному P_{H3} напрямках передачі:

$$K_{ms} = \sqrt{P_{HP}/P_{H3}}. \quad (3)$$

При цьому немає необхідності попереднього калібрування вимірювальної установки, що виключає виникнення додаткових погрешностей калібрування.

В процесі вимірювання, в наслідок потенційної нестійкості транзистора, може відбутися збудження вимірювальної установки. Для виключення цього явища на вході або виході транзисторного чотириполосника включається пасивний взаємний чотириполосник, наприклад атенуатор А, який спільно з транзисторним чотириполосником утворюють новий стійкий чотириполосник, що гарантує стійкість вимірювальної установки.

Розрахунок параметрів

У роботі [6] обґрунтовано Т-подібну малосигнальну фізичну еквівалентну схему (рис. 1).

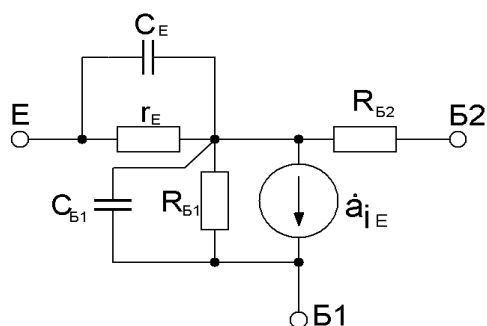


Рис. 1. Малосигнальна фізична еквівалентна схема одноперехідного транзистора

На схемі r_e і c_e — опір і ємність емітерного переходу; R_{B1} , R_{B2} — опори бази; C_{B1} — ємність активної області каналу одноперехідного транзистора; $\dot{\alpha}$ — коефіцієнт передачі по струму.

Використовуючи представлену фізичну еквівалентну схему, отримуємо матрицю провідності одноперехідного транзистора включеного із загальною базою 1

$$\|Y\|^{B1} = \left\| \begin{array}{cc} \frac{Z_{B1} + R_{B2}}{Z_{B1} \cdot R_{B2} \cdot (1 - \dot{\alpha})}; & \frac{-1}{R_{B2}(1 - \dot{\alpha})}; \\ \frac{-1}{R_{B2}}; & \frac{1}{R_{B2}}; \end{array} \right\| \quad (4)$$

де $Z_{B1} = \frac{1}{j\omega C_{B1}}$, $\dot{\alpha} = \frac{\alpha_0}{(1 + j\Omega)}$, $\Omega = \frac{f}{f_T}$, f_T — гранична частота одноперехідного транзистора.

Використовуючи властивості невизначеної матриці трьохполосника, яким є одноперехідний транзистор, отримано додаткові матриці провідності одноперехідного транзистора, включеного по схемі із загальним емітером і базою 2.

Підстановка елементів одержаних матриць в (1), дозволяє отримати вирази для коефіцієнтів підсилення транзистора на межі стійкості в різних схемах включення:

$$K_{MS}^{B1} = |1 - \dot{\alpha}|; \quad K_{MS}^{B2} = |Z_{B1}(1 - \dot{\alpha})|; \quad K_{MS}^E = \left| \frac{Z_E}{Z_{B1}(1 - \dot{\alpha})} \right|, \quad (5)$$

Вирішуючи (5), знаходимо параметри фізичної еквівалентної схеми одноперехідного транзистора:

$$f_T = \frac{f_{\text{вим}} \alpha_0}{(1 - \alpha_0)^2 K_{MS}^B}; \quad (6)$$

$$C_{B1} = \frac{\alpha_0}{\omega \cdot r_E \cdot K_{MS}^E}; \quad (7)$$

$$R_{Б1} = \frac{r_E \cdot K_{MS}^E}{\alpha_0}; \quad (8)$$

$$R_{Б2} = \frac{R_{Б1} \cdot \alpha_0}{K_{MS}^E - 1}. \quad (9)$$

При знаходженні параметрів (6—9) враховуємо наявність простих і достовірних методів знаходження параметрів α_0 , r_E и C_E .

Таким чином, для знаходження більшості параметрів фізичної еквівалентної схеми одноперехідного транзисторів досить провести вимірювання значень максимально-досяжного коефіцієнта підсилення цих транзисторів на межі стійкості в різних схемах їх включення.

Експериментальні дослідження

Виходячи з результатів другого розділу для знаходження K_{ms} транзистора, необхідно провести вимірювання потужності сигналу, що виділяється в дійсній складовій іммітансу вимірювача потужності при прямому $P_{НП}$ і зворотному $P_{НЗ}$ напрямках передачі і постійної потужності генератора ($P_G = \text{const}$). Для реалізації способу використана вимірювальна установка, структурна схема якої представлена на рис. 2.

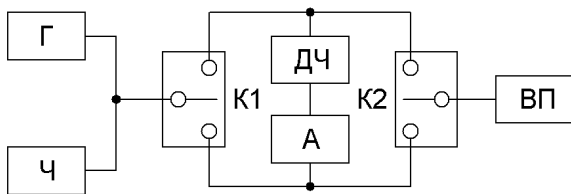


Рис. 2. Структурна схема установки для вимірювання K_{ms} чотириполюсника:

ДЧ — досліджуваний транзисторний чотириполюсник;
А — аттенюатор; Г — вимірювальний генератор;
Ч — частотомір; К1 і К2 — комутатори;

вання $P_{НП}$ і $P_{НЗ}$.

Враховуючи, що вимірювання потужності здійснюється одним і тим же вимірювачем потужності ВП, для якого $\delta_{НП} = \delta_{НЗ} = \delta_{ВП}$, знаходимо $\delta_{K_{MS}} = \delta_{НП}/2$, де $\delta_{НП}$ — відносна середньоквадратична похибка вимірювання потужності. Наприклад, у разі використання вимірювального моста типу М4-2, для якого $\delta_{ВП} = \pm 4\%$, знаходимо, що відносна середньоквадратична похибка визначення K_{ms} не перевищує $\delta_{K_{MS}} = \pm 2,84\%$.

Експериментальні дослідження проведені на транзисторах КТ117 показали, що для одноперехідного транзистора похибки визначення всіх параметрів не перевищують 5%, що пояснюється низькою частотою вимірювання (100 МГц) і як наслідок слабким впливом паразитних елементів в загальному виводі транзистора.

Висновки

1. Метод визначення параметрів визначення параметрів одноперехідного транзистора за результатами вимірювання коефіцієнта K_{ms} може застосовуватись при вимірюванні параметрів одноперехідних транзисторів. При проведенні вимірювань не потрібна реалізація режимів КЗ і ХХ, що підвищує точність і достовірність вимірювань.

2. Вимірювання параметрів проводяться на частотах, близьких до робочої частоти транзистора, що підвищує достовірність визначення параметрів фізичної моделі одноперехідного транзистора.

Аттенюатор А забезпечує стійкість вимірювальної установки, а комутатори К1 і К2 — послідовне підключення генератора Г і вимірювача потужності ВП до входу і виходу досліджуваного транзисторного чотириполюсника. На схемі не показаний блок живлення і НЧ фільтр, що забезпечують необхідний режим роботи транзистора (звичайно в активній області).

На підставі виразу (2), середньоквадратична похибка визначення K_{ms} рівна

$\delta_{K_{MS}} = \sqrt{\delta_{НП}^2 + \delta_{НЗ}^2}/2$, де $\delta_{НП}$ і $\delta_{НЗ}$ — відносні середньоквадратичні похибки вимірю-

3. На результати вимірювань не впливають паразитні параметри елементів виводів та корпусу транзистора і вимірювального тракту, що також сприяє підвищенню точності результатів визначення параметрів одноперехідного транзистора і стійкості вимірювальної установки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Столярский Э. Измерение параметров транзисторов / Э. Столярский — М.: Советское радио, 1976. — 288 с.
2. Транзисторы. Параметры, методы измерений и испытаний; под ред. И. Г. Бергельсона, Ю. А. Каменецкого, И. Ф. Николаевского. — М.: Советское радио, 1968. — 504 с.
3. Аронов В. Л. Испытание и исследование полупроводниковых приборов / В. Л. Аронов, Я. А. Федотов. — М.: Высшая школа, 1975.
4. Богачев В. М. Транзисторные усилители мощности / В. М. Богачев, В. В. Никифоров — М.: Энергия, 1978. — 343 с.
5. Филинюк Н. А. Активные СВЧ фильтры / Н. А. Филинюк — М.: Радио и связь, 1987. — 112 с.
6. Филинюк Н. А., Булыга И. В., Шведюк А. Г. Полупроводниковая индуктивность на базе однопереходного транзистора / Н. А. Филинюк, И. В. Булыга, А. Г. Шведюк // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікації та приладобудування: твори II Міжнар. наук.-техн. конфер. Вінниця, 16—19 листопада 2006р. — С. 28—30.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 20.11.08

Філінюк Микола Антонович — професор, **Шведюк Андрій Григорович** — здобувач.

Кафедра проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет;

Ліщинська Людмила Броніславівна — доцент.

Вінницький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету