

СПОСІБ ВИМІРУ ГРАНИЧНОЇ ЧАСТОТИ НАДВИСОКОЧАСТОТНИХ ТРАНЗИСТОРІВ

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути використаний при вимірі граничної частоти надвисокочастотних (НВЧ) транзисторів.

Відомий спосіб виміру граничної частоти, заснований на вимірі модуля коефіцієнта передачі струму I_{h21E} на одній фіксованій частоті в схемі з загальним емітером (див. Довідник по радіовимірювальних приладах/ Під ред. В.С. Насонова. Т.1. - М.:Сов. Радіо, 1976. - 232 с.) Значення модуля знаходиться через визначення відношення фіксованого струму бази до визначеного струму колектора.

Фіксований струм бази задається генератором струму, утвореним рівнобіжним контуром і резистором. Вимір струму колектора здійснюється при завданні режиму короткого замикання (КЗ) (за допомогою конденсатора) на високій частоті по падінню напруги в колі колектора. Модуль коефіцієнта передачі струму $|h_{21E}|$ дорівнює відношенню струму колектора до струму бази. Гранична частота визначається по відомому значенню вимірювальної частоти й обчисленого модуля I_{h21E} .

$$f_{gr} = f |h_{21E}|,$$

Де

f_{gr} - гранична частота яку необхідно визначити,

f — частота, на якій проводиться вимір,

$|h_{21E}|$ - модуль коефіцієнта передачі.

Недоліками даного методу є низька точність завдання струму бази і його не стабільність; зміна струму бази при кожній заміні транзистора, обумовлена наявністю резонансного контура у вихідному колі генератора струму; крім того зниження точності (особливо з підвищенням частоти) обумовлено неточністю виміру струму колектора через погіршення режиму КЗ у колекторному колі транзистора що вимірюється.

Відомий також засіб виміру граничної частоти, заснований (див. Чернушенко М., Майбородін А. В. Вимірювання параметрів електронних приладів дециметрового та сантиметрового діапазонів хвиль. -М.: Радіо і зв'язок, 1986. -336 с.) на вимірі коефіцієнта передачі струму $|h_{21E}|$ компенсаційним методом.

Сигнал від генератора високої частоти через елемент, що розв'язує, надходить на досліджуваний транзистор, ввімкнутий у вимірювальний канал. Цей сигнал, пропорційний вхідному струму транзистора, через аттенюатор і фазообертач подається в канал компенсації. Стан балансу фіксується на індикаторі, підключеному до вимірювального і компенсаційного каналам. Перед виміром схема калібрується. Для цього замість випробуваного транзистора в затискачі встановлюється перемичка. За допомогою аттенюатора і фазообертача зрівнюються амплітуди і фази сигналів у вимірювальному і компенсаційному каналах. Критерієм балансу є нульові показання на індикаторі. Далі встановлюють транзистор у контактуючий пристрій, задають режим живлення транзистора За допомогою аттенюатора і фазообертача знову домагаються нульових показань на індикаторі. Зміна загасання аттенюатора і фази фазообертача при переході від балансу при калібруванні до балансу при вимірі дорівнює модулю і фазі коефіцієнта передачі струму (відповідно).

Основний недолік методу - низька продуктивність вимірів, складність автоматизації вимірів.

Найбільше близьким є спосіб виміру граничної частоти НВЧ транзисторів, заснований на вимірі фази коефіцієнта передачі струму в схемі з загальною базою $\arg(h_{216})$ на фіксованій частоті (див. Шамшин Е.И. і ін. Вимірювальна установка для визначення граничної частоти СВЧ транзисторів // Електронна промисловість, 1977, - Вип (III). -С. 43-48.) Від генератора сигнал необхідної частоти і рівня по 50-омній лінії надходить на вхід транзистора, включеного за схемою з загальною базою. На виході транзистора забезпечується режим КЗ за допомогою чверть хвильового розімкнутого шлейфа, розташованого на відстані $\lambda/2$ від колектора (де L - довжина хвилі). Напруга пропорційна вхідному і вихідному струму, з пристроїв зняття сигналу, розташованих на відстані $L/4$ від входу і виходу транзистора, подається до входів фазометра. Калібрується вимірювач при установці в пристрій коротко замкненої перемички емітер-колектор. Далі, в контактуючий пристрій встановлюється транзистор, провадиться настроювання чверть хвильового розімкнутого шлейфа, і показання фазометра є шуканою фазою коефіцієнта передачі струму в схемі з загальною базою. По визначенню, (ДЕРЖСТАНДАРТ 18604. 9-82) граничною частотою (f) є частота, на якій фаза коефіцієнта передачі струму в схемі з загальною базою зростає до $\arg(h_{216}) = 1$, тобто граничну частоту знаходять із співвідношення:

$$f_{rp} = f \arg(h_{216}), \quad (1)$$

Де

f_{rp}

- шукана гранична частота,

f

- частота на який провадиться вимір,

$\arg(h_{216})$

- фаза коефіцієнта передачі.

При вимірах, відповідно до даного методу, виникає методична похибка, обумовлена неідеальністю короткого замикання на виході транзистора, неточністю калібрування й установки точки зняття сигналу. Для зменшення цих похибок необхідно проведення допоміжних механічних маніпуляцій, що знижують продуктивність вимірів і утрудняють автоматизацію вимірів.

В основу винаходу поставлена задача створення способу виміру граничної частоти НВЧ транзисторів, у якому за рахунок введення нових операцій досягається значне зниження систематичної і методичної похибок та виключаються ручні операції по настроюванню апаратури при зміні випробуваного транзистора. За рахунок цього підвищується точність вимірів і полегшується автоматизація виміру граничної частоти НВЧ транзисторів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виміру граничної частоти НВЧ транзисторів який містить операцію виміру фази коефіцієнта передачі струму в схемі з загальною базою $\arg(h_{216})$ на фіксованій частоті згідно винаходу операцію виміру фази коефіцієнта передачі роблять на двох різних частотах f_1 і f_2 . По визначеним значенням фазових зсувів Φ_1 і Φ_2 обчислюють значення граничної частоти за формулою 2.

$$f_{rp} = (f_2 - H) / (O_2 - O_1) \quad (2)$$

де Φ_1, Φ_2 - фаза коефіцієнта передачі на частоті f_1/f_2 відповідно

Причому співвідношення між частотами вибирають з умови

$$f_1/f_2 = (2n-3)/(2n-1) \quad (3)$$

де $n = 3, 4, 5, \dots$

На фіг. подана структурна схема пристрою, що реалізує заявлений спосіб.

Пристрій містить генератор сигналу 1, розв'язку 2, схеми зняття сигналу 3 і 6, фазометр 4, випробуваний транзистор з контактуючим пристроєм 5, чверть хвильовий розімкнутий шлейф 7.

Вихід генератора 1 через розв'язку 2 і схему зняття сигналу 3 залучений до вхідного кола випробуваного транзистора, встановленого в контактуючий пристрій 5. Вихідне коло випробуваного транзистора через схему зняття сигналу 6, навантажено на чверть хвильовий шлейф 7. Фазометр 4 підключається до вхідного і вихідного кола випробуваного транзистора, встановленого в контактуючий пристрій 5, через схеми зняття сигналу 3 і 6.

Пристрій працює таким чином. Сигнал від генератора 1 частотою f_1 через розв'язку 2 подається на схему зняття сигналу 3, з одного виходу якої сигнал надходить на опорний вхід фазометра 4, а з іншого - на вхід контактуючого пристрою 5 із установленим випробуваним транзистором. До виходу контактуючого пристрою 5 підключена схема зняття сигналу 6, до одного виходу якої підключений вимірювальний вхід фазометра 4, а до іншого - чверть хвильовий розімкнутий шлейф 7, за допомогою якого забезпечується коротке замикання на колетторі випробуваного транзистора, встановленого в контактуючий пристрій 5.

Зсув фази Φ_1 що вимірюється фіксують за показниками фазометра 4. Потім, за допомогою генератора 1, встановлюють частоту f_2 і фіксують зсув фаз Φ_2 за показниками фазометра 4. Шукану граничну частоту обчислюють по формулі (2).

Запропонований спосіб реалізується таким чином. По визначенню, (див. ДЕСТ 18604. 9-82 п. 2.4.2.) граничною частотою f_{rp} є частота, на якій фаза коефіцієнта передачі струму в схемі з загальною базою зростає до $\arg(h_{216})=1$, тобто граничну частоту знаходять із співвідношення:

$$f_{rp} = f / \arg(h_{216}) \text{ при } f < f_{rp}/2, \quad (4)$$

де f - частота вимірювального сигналу.

Вимір фазових зсувів Φ_1 і Φ_2 на вхідній і вихідній стороні транзистора провадиться на двох частотах f_1 і f_2 , а гранична частота обчислюється шляхом опрацювання результатів двох вимірів, відповідно до (2), при $f = f_{rp}/2$.

Фаза коефіцієнта передачі на необхідній частоті в діапазоні $f_1 \dots f_2$ може бути визначена на основі (2):

$$\arg(h_{216}) = f(0 > 2 - q > 1) / (f_2 - f_1) \quad (5)$$

У запропонованому способі, як впливає з (2,5), систематична похибка виключається або значно знижується. Для усунення методичної похибки, обумовленою неідеальністю КЗ на виході транзистора і неточністю установки точки зняття сигналу, необхідно, по-перше, забезпечити коротке замикання на виході за допомогою чверть хвильового розімкнутого шлейфа і розташувати його точно на відстані $n(l/2)$ від колектора і, по-друге, напругу на вході відбирати на відстані непарного числа $L/4$ від емітера. Таким умовам задовольняє симетричне розташування транзистора на відстані $(2n-1)l/4$ від точки знімання напруги на вході і кінця розімкнутої лінії на виході, а також вибір вимірювальних частот виходячи зі співвідношення

$$f_1/f_2 = (2n-3)/(2n-1) \quad n=3,4,5... \quad (6)$$

Так, при $f_2=1$ Гц $n=3$ $f_1/f_2=3/5$ маємо $f_1=0,6$ МГц і довжину ділянки лінії $3l_{1/4}=5l_{2/4}$

Зі збільшенням n у (6) при виборі вимірювальних частот їхня різниця $\Delta f=f_2-f_1$ скорочується, тобто зменшується вплив дисперсії лінії, але зростає її необхідна довжина для виконання умови:

$$(2n-3)L_{1/4} = (2n-1)L_{2/4} \quad (7)$$

Проте при малій різниці частот (наприклад $\Delta f < 20$ МГц) методична похибка наближається до нуля і вхідну напругу можна знімати практично в будь-якій точці лінії, що можна виконати мінімальної довжини.

СПОСІБ ВИМІРУ ГРАНИЧНОЇ ЧАСТОТИ , НАД ВИСОКО ЧАСТОТНИХ ТРАНЗИСТОРІ в



Автори:

В. Л . Кофанов

В. Я . Ніколаєв

О. В . Поремський