

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ P-I-N ДІОДІВ У ХВИЛЕВІДНО-ЩІЛИННІЙ ЛІНІЇ НА ЧАСТОТАХ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Автор Хохановська Ю. О.

(науковий керівник – ст. викладач, Омеляненко М. Ю.)

Послідовна розробка пристроїв, до складу гібридно-інтегральних схем яких входять напівпровідникові елементи, можлива лише за умови знання параметрів еквівалентних схем використовуваних компонентів. Вимірювання цих параметрів існуючими методами супроводжується значними труднощами. По-перше, проведення вимірювань потребує точного встановлення положення референсної площини, що є досить складною, якщо взагалі можливою, операцією. По друге, дослідження слід проводити у тій електродинамічній системі, із застосуванням якої передбачається побудова кінцевого пристрою, з метою включення до еквівалентної схеми елементу дифракційних поправок. Таким чином, проектування пристрою на хвильовідно-щілинній лінії (ХЩЛ) із застосуванням р-і-п діодів неминуче вимагало розробки спеціального методу знаходження параметрів еквівалентної схеми напівпровідникового елемента.

В лабораторії елементів і систем НВЧ кафедри РТПС була розроблена проста і ефективна методика вимірювання параметрів р-і-п діода в ХЩЛ, що не вимагає трудомістких процедур, пов'язаних із встановленням положення референсної площини, яка є основним джерелом похибок при вимірюваннях у міліметровому діапазоні довжин хвиль. Сама процедура вимірювань в чомусь схожа на добре відомий метод Дешана [1], проте використовує особливості вимірюваного об'єкта для виключення референсних вимірювань в їх традиційному вигляді.

Математичні викладки та оцінки для запропонованої методики описані в [2]. В цій статті наводяться результати моделювання та експериментальних досліджень.

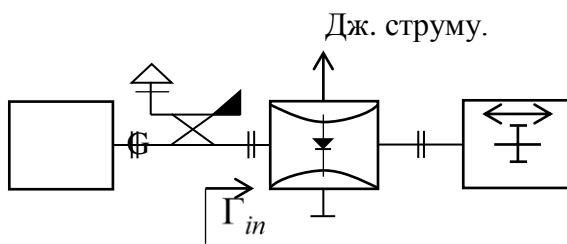


Рисунок 1. Схема вимірювань
параметрів р-і-п діода

Для розуміння методу в цілому на рис. 1 показана схема вимірювань, що містить генератор НВЧ, спрямований відгалуджувач, коротку вимірювальну секцію ХЩЛ з встановленим діодом і рухомий короткозамикач в прямокутному хвильоводі.

Відповідно до еквівалентної схеми для різниці $1 - |\Gamma_{in}|^2$ можемо записати:

$$1 - |\Gamma_{in}|^2 = \frac{4g_T}{(1 + g_T)^2 + b_T^2} \quad (1)$$

де $g_T = (G_\delta + \operatorname{Re}(Y_{in}))/Y_0$; $b_T = (B_\delta + \operatorname{Im}(Y_{in}))/Y_0 = b_\delta + \operatorname{Im}(Y_{in})/Y_0$; Y_0 – хвильова провідність секції ХЩЛ; G_δ , B_δ – активна та реактивна провідності діода; $\operatorname{Re}(Y_{in})$, $\operatorname{Im}(Y_{in})$ – активна та реактивна складові вхідної провідності вимірювальної секції справа від діода; $b_\delta = B_\delta/Y_0$.

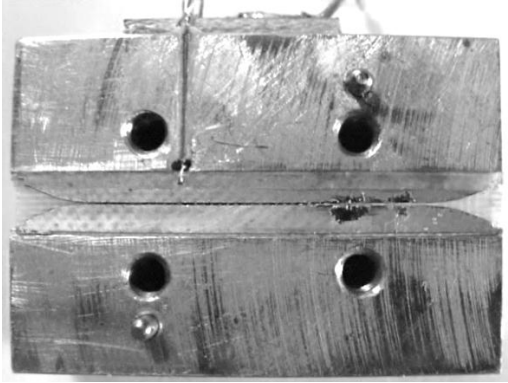


Рисунок 2. Схема вимірювань параметрів р-і-п діода

Для проведення процедури вимірювання параметрів р-і-п діода згідно із запропонованою методикою була розроблена спеціальна вимірювальна камера із підкладкою ХЩЛ, на яку встановлено діод і яка забезпечена двома високоякісними плавними переходами, які мають зворотні втрати не менше 20 дБ в діапазоні частот вимірювань (рис. 2).

Формула (1) описує параметри діода та пов'язує їх із коефіцієнтом відбиття в лінії. З її використанням визначення параметрів діода зведено до вимірювання відстаней до поршня в положеннях, коли спостерігається максимум і мінімум відбиття хвилі.

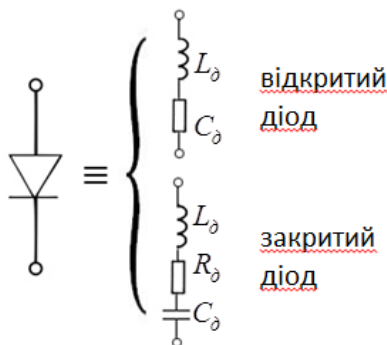


Рисунок 3. Еквівалентна схема діода

Зафіксувавши відстань Δl між двома критичними точками характеристики відбиття при включенні діода у відкритому стані (рис.3), можна визначити індуктивну складову діода згідно формули $b_\delta = \operatorname{ctg}(\beta \Delta l)$. Проведення такої ж процедури для закритого стану діода дає реактивну складову, з якої можна вирахувати ємність, знаючи індуктивність.

В ході експериментальних випробувань методики досліджувався діод (рис. 3) з параметрами $L_\delta = 0,022$ нГн; $C_\delta = 0,028$ пФ;

$R_\delta = 8$ Ом. Теоретична частотна характеристика втрат в ХЩЛ з встановленим паралельно діодом в його відкритому і закритому станах представлена на рис. 4 (криві 1, 2 відповідно). Розрахунки проведені в наближенні теорії кіл для ХЩЛ з хвильовим опором $Z_0 = 170$ Ом (діелектричний фольгований матеріал товщиною 140 мкм, шириною щілини $w = 150$ мкм, діелектричною проникністю $\varepsilon = 2,65$, тангенсом кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta = 0,0009$, хвилевідна камера $a \times b = 5,2 \times 3,4$ мм). Тут же точками позначені експериментально отримані результати. Видно досить гарну відповідність експериментальних і теоретичних результатів, що, звичайно, є наслідком вимірювання параметрів діода безпосередньо в лінії передачі, що використовується.

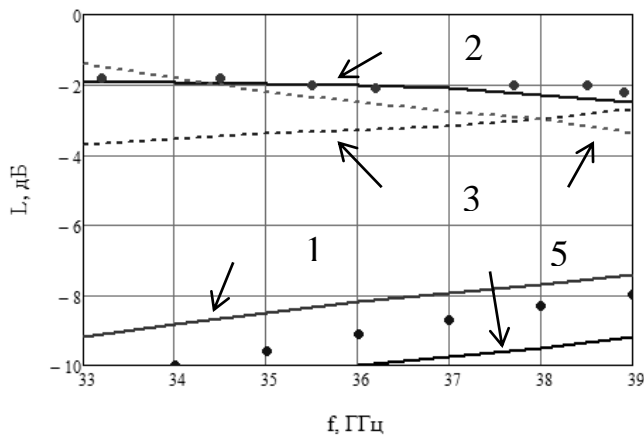


Рисунок 3. Теоретичні та експериментальні частотні характеристики втрат

Важливо відзначити, що моделювання в програмному середовищі електродинамічного аналізу «CST Microwave Studio» дало результати (штрихові лінії 3, 4 на рис. 4), що навіть наближено не описують результати даного експерименту. У зв'язку із вищесказаним, з метою використовувати можливість розрахунків в зазначеному пакеті програм для моделювання діода в його відкритому стані він

замінювався тонкою смужкою металу з відповідною довжиною. Таке представлення виявилось надзвичайно продуктивним, що, зокрема, ілюструє крива 5 на рис. 4, яка задовільно описує результати проведених вимірювань.

Варто підкреслити, що запропонована методика може бути застосована для знаходження параметрів різних діодів. Використовуючи її, наприклад, для змішувальних або детекторних діодів, можна знайти активну складову провідності, вимірюючи значення КСХ в мінімумі відбиття. У випадку р-і-п діодів в повністю відкритому або закритому станах виміряти активну складову важко через її погане розрізнення на фоні навіть малих втрат в секції ХЩЛ. Однак, ця величина може бути незалежно і точно виміряна на низьких частотах.

Проведена оцінка помилок показала, що при реальних втратах у вимірювальній секції помилки при визначенні параметрів діода не перевищують 20%, що можна вважати прийнятними для розробки схем, які містять ці діоди. Таким чином, в результаті запропонованої в даній роботі методики вимірювань, ми отримуємо певну еквівалентну схему діода, яка адекватно відображає його поведінку в реальному пристрої.

Перелік посилань

1. Альтман Дж. Л. Устройства сверхвысоких частот / Альтман Дж. Л. – Москва: «Мир». 1968. – 487 с.
2. Хохановская Ю. А. Измерение параметров р-і-п диодов в волноводно-щелевой линии на частотах миллиметрового диапазона длин волн / Хохановская Ю. А., Омеляненко М. Ю. // Вестник НТУУ "КПИ". Серия Радиотехника, Радиоаппаратостроение – 2018. - №4

Анотація

Описані експериментальні результати дослідження простої та ефективної з точки зору використання методики вимірювання основних параметрів р-і-п діода безпосередньо в електродинамічній системі ГІС.

Ключові слова: р-і-п діод, хвилевідно-щілинна лінія, гібридно-інтегральні схеми.

Abstract

The article represents experiment results of the technique that allows us to quickly estimate the parameters of the diode. New and unusual is that the measurements are made exactly in the electrodynamics system of the developed hybrid integrated circuit with these diodes and that gives adequate results for its development.

Keywords: p-i-n diode, fin-line, hybrid-integrated circuits.