

М. Т. БОВА, П. А. СТУКАЛО

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МОДУЛЯТОРІВ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ

Останнім часом великого значення набули пристрої, в яких використані модулятори амплітуди коливань надвисоких частот. Вони можуть бути виконані на багатьох елементах, параметри яких регулюються електричним або магнітним полем: феритах, напівпровідниках, плазмі та сегнетоелектриках. Основним недоліком модуляторів, керованих магнітним полем, є низька швидкодія, тобто обмеженість частоти модуляції. Крім того, вони потребують значної потужності від джерела модулюючого сигналу.

Швидкодія плазмових і сегнетоелектричних модуляторів набагато вища, але для регулювання їх параметрів потрібна висока напруга; крім того, вони мають великі втрати. Напівпровідникові модулятори з високою швидкістю потребують низьку потужність для регулювання. Вони можуть бути виконані на діодах з $p-n$ - або $p-i-n$ -переходами.

Для порівняння параметрів досліджували модулятор на діодах з $p-n$ - та $p-i-n$ -переходами. Модулятор був виконаний у 3-сантиметровому діапазоні частот у стандартному хвилеводі. Діоди типу Д403Б і $p-i-n$, розміщені безпосередньо в хвилеводі, виготовлені на кафедрі напівпровідників і діелектриків Київського політехнічного інституту методом дифузії фосфору і бору в p -кремній з $\rho = 1000 \text{ ом}\cdot\text{см}$. Товщина i -шару дорівнювала 100 мк. Щоб полегшити порівняння параметрів, їх було змонтовано в корпусі з-під діодів Д403Б. Вольт-амперні характеристики діодів наведені на рис. 1 і 2.

Досліджувався модулятор з одним і двома діодами. Відстань між ними регулювали відповідними вставками. Досліджувалась залежність коефіцієнта відбиття Γ і послаблення τ від напруги зміщення (для $p-i-n$ -діодів — струму зміщення), частоти і відстані між діодами.

Реактивна провідність не компенсувалась. Ємність $p-i-n$ -діодів, виміряна куметром УК-1, не перевищувала 0,7—1 пф. Вели-

чина опору при зміщенні $+0,4$ в була не менше 6 ком, а при зміщенні -20 в — не менше 160 ком.

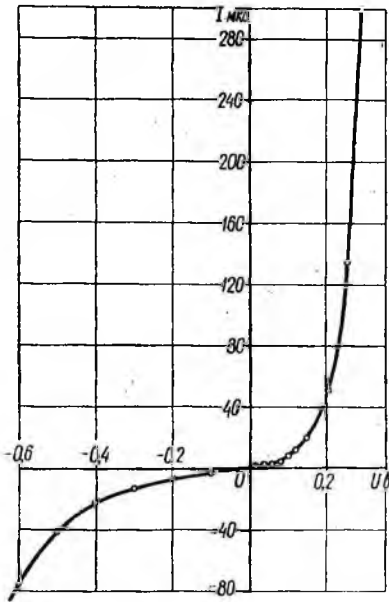


Рис. 1. Вольт-амперна характеристика діода Д403Б.

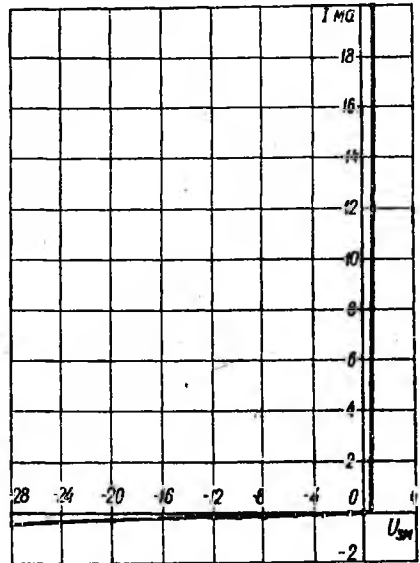


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика $p-i-n$ -діода.

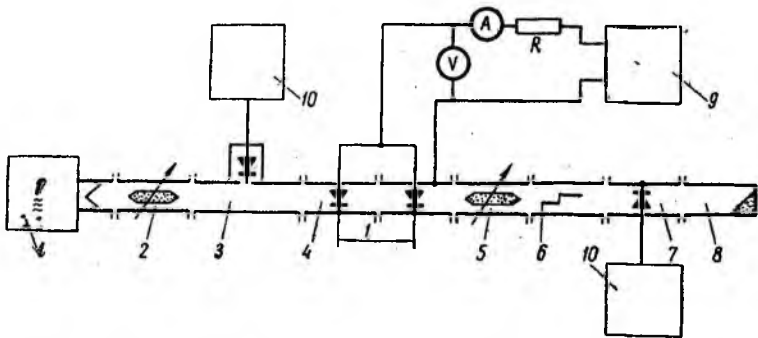


Рис. 3. Блок-схема виміральної установки:

1 — генератор високої частоти; 2 — атенуатор; 3 — вимірвальна лінія; 4 — досліджуваний модулятор; 5 — калібрований атенуатор; 6 — трансформатор повного опору; 7 — детекторна камера; 8 — узгоджене навантаження; 9 — впрямляч; 10 — вимірвальний підсилювач.

Блок-схема установки для дослідження модулятора показана на рис. 3. Залежність модуля коефіцієнта відбиття Γ від напруги зміщення для діодів Д403Б наведена на рис. 4.

Як видно з рисунка, модуль коефіцієнта відбиття мало залежить від напруги зміщення і зростає із збільшенням абсолютної величини $U_{зм}$. Проте зростання відбувається лише до напруги зміщення — (0,3 — 0,4) в. Потім Γ починає спадати. Частоту залежності модуля коефіцієнта відбиття досліджували тільки в 3-процентній смузі частот, де модуль Γ не змінюється. Для $p-i-n$ -діодів модуль коефіцієнта відбиття практично не залежить від струму зміщення при зміні його від 0 до 100 ма, мало залежить від частоти в тій же смузі частот і дорівнює приблизно 0,5.

На рис. 5 наведена залежність модуля послаблення τ від напруги зміщення для амплітудного модулятора на $p-n$ -діодах. При збільшенні абсолютної величини напруги зміщення послаблення зростає; реактивний опір діодів Д403Б збільшується, а активний — зменшується. Реактивний опір має емнісний характер. Зміна послаблення на один діод невелика і дорівнює приблизно 2 дБ. Для

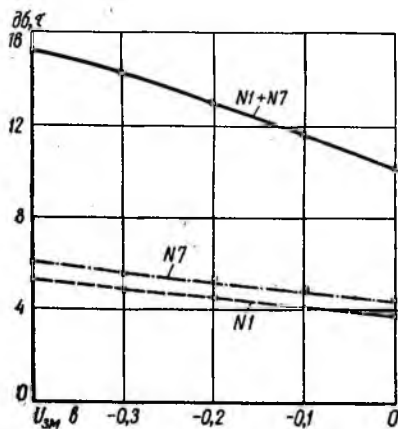


Рис. 5. Залежність послаблення модулятора на $p-n$ -діодах від напруги зміщення на частоті 8800 Мгц.

ється приблизно на 5 дБ. Отже, відбувається взаємодія двох діодів, що приводить до збільшення послаблення приблизно на 1 дБ. Величина послаблення зменшується при збільшенні частоти, але не в значній мірі.

На рис. 6 показана залежність послаблення від струму зміщення модулятора на $p-i-n$ -діодах. При збільшенні струму зміщення

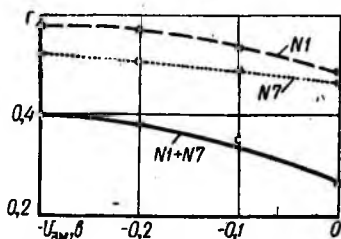


Рис. 4. Залежність модуля коефіцієнта відбиття модулятора на $p-n$ -діодах від напруги зміщення на частоті 8800 Мгц.

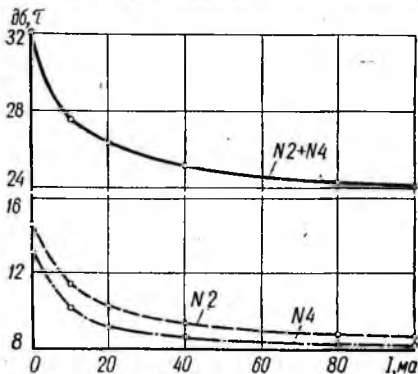


Рис. 6. Залежність послаблення модулятора на $p-i-n$ -діодах від струму зміщення на частоті 8800 Мгц.

послаблення зменшується і майже досягає свого найнижчого значення при 20 ма. При зміні струму зміщення від 0 до 20 ма послаблення зменшується приблизно на 4 дб. Це говорить про те, що при збільшенні струму понад 20 ма диференціальний опір $p-i-n$ -діода досягає постійної величини і далі не змінюється при зміні струму. Для двох діодів, включених на відстані чверті довжини хвилі в хвилеводі, зміна послаблення дорівнює приблизно 7 дб. У даному випадку взаємодія двох діодів приводить до зменшення послаблення порівняно з діодами Д403Б.

При зміні відстані між $p-n$ -діодами від $1/8 \lambda_{\text{хв}}$ до $\lambda_{\text{хв}}$ послаблення спочатку зростає приблизно на 1 дб до відстані $l = \frac{\lambda_{\text{хв}}}{4}$,

а потім падає приблизно на 4 дб до відстані $l = \frac{\lambda_{\text{хв}}}{2}$. Воно досягає свого найбільшого значення при відстані між діодами, рівній чверті довжини хвилі в хвилеводі, і найменшого — при відстані, рівній половині довжини хвилі. Такий же характер має залежність величини послаблення від відстані між $p-i-n$ -діодами. Різниця полягає в тому, що перепад послаблення від найбільшого значення до найменшого досягає приблизно 7—8 дб, а при відстанях від $l = 1/8 \lambda_{\text{хв}}$ до $l = 3/8 \lambda_{\text{хв}}$ він майже не змінюється. Ці експериментальні дані були одержані на частоті 8630 Мгц. Послаблення вимірювали методом компенсації каліброваним атенюатором.

Крім того, досліджували залежність коефіцієнта глибини модуляції m від її частоти. Коефіцієнт глибини модуляції вимірювали осцилографом ЭНО-1. Для контролю форми синусоїдної напруги паралельно ЭНО-1 вмикали осцилограф ДЭСО-1. Завал частотної характеристики ЭНО-1 не має значення при вимірюванні коефіцієнта глибини модуляції m , оскільки відбувається послаблення як максимального, так і мінімального сигналу, але відносна похибка вимірювання збільшується внаслідок зменшення обох сигналів.

Цей експеримент має більше якісний, ніж кількісний характер. Для точного визначення коефіцієнта глибини модуляції вимірювали послаблення. Експеримент показав, що для діодів Д403Б коефіцієнт глибини модуляції лишається постійним до частоти 200—300 кгц і зменшується приблизно в два рази на частоті 1,5 Мгц при одній і тій же напрузі зміщення і модулюючій напрузі (0,3 в). Для $p-i-n$ -діодів m також зменшується, але синусоїдна модуляція відбувається тільки в діапазоні від 400 кгц до 1 Мгц. У діапазоні частот від 1 до 1,5 Мгц рівень модуляції при $p-i-n$ -діодах набагато знижується.

Усі експерименти були проведені при потужності коливальних надвисокої частоти в кілька одиниць міліват.

N. T. BOVA, P. A. STUKALO
AN INVESTIGATION
OF UHF SEMICONDUCTOR MODULATORS

S u m m a r y

Comparative investigations of UHF modulators using $p-n$ -diodes or $p-i-n$ -diodes have been conducted at UHF. The transmission coefficient as a function of both bias and controlled voltages was measured.

It was shown that a modulator using $p-i-n$ -diodes has certain advantages as compared to one using ordinary $p-n$ -diodes.