

УДК 621.317.7

И.Л. Ветров, доцент, канд. техн. наук.**А.Г. Лукьянчук, доцент, канд. техн. наук.**

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: dekanatfre@mail.ru

ІЗМЕРІТЕЛЬНИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МИКРОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрена возможность построения измерительного преобразователя с расширенным диапазоном уровней микроволновых сигналов и линейной характеристикой преобразования.

Ключевые слова: характеристика преобразования, микроволновый детектор, погрешность преобразования, рабочий диапазон амплитуд

Экспериментальное определение S -параметров устройств СВЧ обычно производят путем измерения отношения напряжений, полученных с помощью квадратичных детекторов микроволновых сигналов [1, 2]. Рабочий диапазон уровней входных сигналов квадратичного полупроводникового детектора составляет 35 дБ, что недостаточно для решения ряда измерительных задач. С целью расширения диапазона уровней детектируемых сигналов предлагается измерительный преобразователь (ИП) микроволновых сигналов, реализующий метод замещения исследуемого микроволнового сигнала низкочастотным переменным напряжением. Принцип работы ИП поясняет упрощенная схема, показанная на рисунке 1.

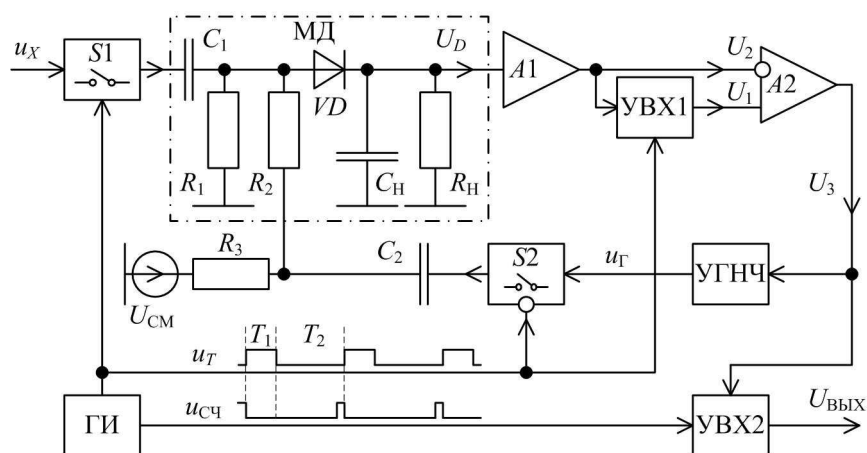


Рисунок 1 — Упрощенная схема ИП

Преобразование входного микроволнового сигнала $u_X = U_X \sin \omega t$ в выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ происходит в ИП за два такта. Тактирование процесса преобразования производит генератор импульсов ГИ, формирующий импульсное напряжение u_T , временная диаграмма которого показана на рисунке 1. Это напряжение управляет ключами $S1$, $S2$ и устройством выборки – хранения УВХ1.

Во время первого такта длительностью T_1 ключ $S2$ разомкнут, а ключ $S1$ замкнут и сигнал u_X поступает на основной вход микроволнового детектора (МД). Источник U_{CM} посредством цепи R_2 , R_3 создает на R_1 постоянное напряжение U_0 . Данное напряжение смещает диод VD в прямом направлении и создает ток смещения диода I_{D0} , повышающий чувствительность МД. Выходное напряжение микроволнового детектора U_{D1} , усиленное входным усилителем $A1$ в k_1 раз до уровня $U_1 = k_1 U_{D1}$, запоминается УВХ1.

Во втором такте длительностью T_2 ключ $S1$ размыкается, а через замкнутый ключ $S2$ и емкость C_2 на дополнительный вход МД (через сопротивление R_2) от управляемого низкочастотного генератора УГНЧ поступает гармоническое напряжение $u_G = k_G U_3 \sin \Omega t$. Частота этого напряжения удовлетворяет условию $2\pi/R_H C_H \ll \Omega \ll \omega$, а амплитуда с коэффициентом k_G пропорциональна выходному напряжению U_3 дифференциального усилителя $A2$.

На сопротивлении R_1 создается гармоническое напряжение u_R с амплитудой

$$U_R = k_G U_3 \quad R_1 / (R_1 + R_2) = k_R \quad k_G U_3, \quad (1)$$

где $k_R = R_1 / (R_1 + R_2)$ — коэффициент передачи делителя напряжения.

В результате детектирования u_R на выходе МД образуется напряжение $U_D = U_{D2}$, усиливается А1 до уровня $U_2 = k_1 U_{D2}$. Дифференциальный усилитель А2, обладающий коэффициентом усиления k_2 , формирует напряжение

$$U_3 = k_2 (U_1 - U_2) = k_1 k_2 (U_{D1} - U_{D2}). \quad (2)$$

Это напряжение управляет амплитудой низкочастотного гармонического напряжения, создаваемого УГНЧ.

В конце второго такта ГТИ формирует короткий импульс считывания $u_{сч}$ (рисунок 1), поступающий на УВХ2. При этом напряжение U_3 запоминается и используется в качестве выходного, что позволяет считать $U_{ВЫХ} = U_3$.

Определим рабочую характеристику преобразования ИП (РХП) в виде зависимости $U_{ВЫХ}$ от амплитуды микроволнового сигнала u_X . Для этого воспользуемся эквивалентной схемой МД, изображенной на рисунке 2. Напряжение U_{VD} и ток диода I_{VD} связаны зависимостью вида [3]

$$I_{VD} = I_S [\exp(\alpha U_{VD}) - 1],$$

где I_S — обратный ток насыщения диода; α — величина, обратная температурному потенциалу $p-n$ перехода диода.

При выполнении условия $R_H C_H \gg 2\pi/\omega$ выходное напряжение МД в первом такте определяется следующим уравнением [3]

$$U_{D1} = R_H I_S [I_0(\alpha U_X) e^{\alpha(U_0 - U_{D1})} - 1], \quad (3)$$

где $I_0(\alpha U_X)$ — модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Представим (3) в виде

$$U_{D1} = U_{D0} + U_{DX}. \quad (4)$$

Здесь $U_{D0} = R_H I_S [e^{\alpha(U_0 - U_{D0})} - 1] = R_H I_{D0}$ — постоянная составляющая выходного напряжения, обусловленная наличием на входе МД постоянного напряжения U_0 . Составляющая U_{DX} , обусловленная детектированием микроволнового сигнала u_X , определяется как

$$U_{DX} = (R_H I_S + U_{D0}) [I_0(\alpha U_X) e^{-\alpha U_{DX}} - 1]. \quad (5)$$

По аналогии с (4), (5) записываем соотношения для выходного напряжения МД во втором такте

$$U_{D2} = U_{D0} + U_{DR}, \quad (6)$$

$$U_{DR} = (R_H I_S + U_{D0}) [I_0(\alpha U_R) e^{-\alpha U_{DR}} - 1]. \quad (7)$$

Подстановка выражений (1), (4)...(7) в уравнение (2) дает

$$U_R = k_\Sigma (R_H I_S + U_{D0}) e^{-\alpha U_{DX}} \left[I_0(\alpha U_X) - I_0(\alpha U_R) e^{\alpha \frac{U_R}{k_\Sigma}} \right], \quad (8)$$

где $k_\Sigma = k_1 k_2 k_R k_G$ — результирующий коэффициент передачи.

Полученное выражение позволяет представить рабочую характеристику преобразования ИП в виде $U_{ВЫХ} = U_R / k_G k_R$, где U_R находится решением уравнения (8).

При бесконечно большом значении k_Σ из (8) следует $U_R = U_X$ и выходное напряжение ИП равно

$$U_{НИП} = U_X / k_G k_R. \quad (9)$$

Соотношение (9) определяет номинальную характеристику преобразования ИП (НХП).

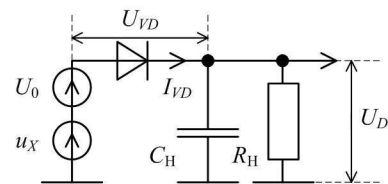
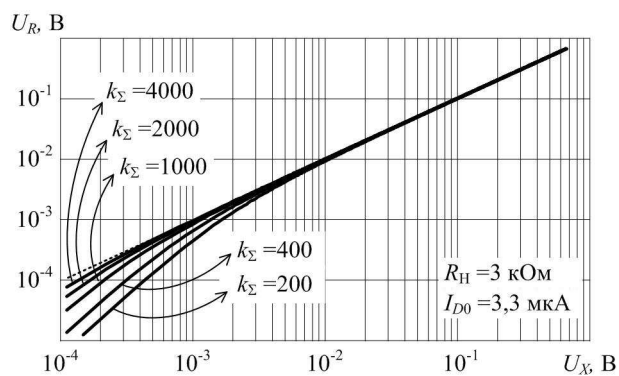


Рисунок 2 – Эквивалентная схема МД

Рисунок 3 — Зависимость U_R от U_X

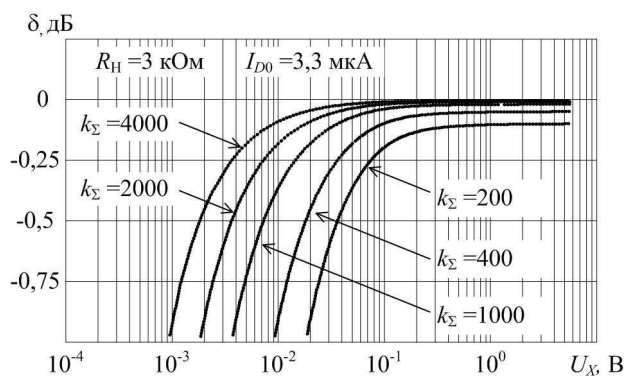
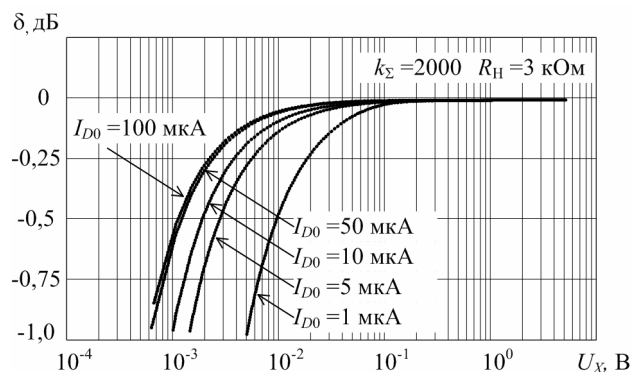
Графики зависимости U_R от U_X , соответствующие РХП, показаны на рисунке 3 сплошными линиями. Значения U_R получены решением уравнения (8) при $I_{D0} = 3,3$ мкА для кремниевого диода Шотки, имеющего следующие параметры [3]: $\alpha = 39$ В⁻¹, $I_S = 10^{-8}$ А. Прямая $U_R = U_X$, соответствующая НХП, показана на рисунке 3 пунктирной линией. Из графиков следует, что на участке $U_X > 10$ мВ РХП практически линейна и близка к НХП. При малых значениях U_X возникает отклонение РХП от НХП.

Оценим минимальную амплитуду $U_{\min}$ входного микроволнового сигнала, при которой относительное отклонение РХП от НХП не превышает допустимого значения $\delta_{\max}$. Мерой относительного отклонения служит величина

$$\delta = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{НП}}} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_R}{U_X} \right), \quad (10)$$

которую можно рассматривать как погрешность измерительного преобразователя.

На рисунке 4 изображена зависимость δ от U_X для нескольких значений k_Σ . Как показывает анализ графиков, величины $U_{\min}$ и k_Σ связаны обратной пропорциональной зависимостью. Так, при

Рисунок 4 — Зависимость δ от U_X Рисунок 5 — Зависимость δ от I_{D0}

$\delta_{\max} = 1$ дБ и $k_\Sigma = 200$ амплитуда $U_{\min}$ приблизительно равна 20 мВ и с увеличением k_Σ до 2000 уменьшается до значения 2 мВ. Увеличение k_Σ расширяет диапазон амплитуд преобразуемых микроволновых сигналов при заданном значении $\delta_{\max}$.

Влияние тока смещения диода I_{D0} на погрешность δ иллюстрируют графики, показанные на рисунке 5. Из графиков следует, что для снижения δ целесообразно устанавливать I_{D0} на уровне (10...50) мкА. Дальнейшее увеличение I_{D0} не приводит к существенному уменьшению δ . При $I_{D0} = 50$ мкА, $k_\Sigma = 2000$ и $\delta_{\max} = 1$ дБ значение $U_{\min}$ приблизительно равно 0,7 мВ, которому соответствует $U_{DX} \approx 4$ мкВ. Значение $U_{\min} = 0,7$ мВ можно принять в качестве оценки нижней границы рабочего диапазона U_X .

Анализ параметров квадратичных МД, используемых в панорамных измерителях КСВН и ослабления серии Р2, показывает, что их выходное напряжение может изменяться в диапазоне от $U_{DX} = (1...4)$ мкВ до $U_{DX} = (4...10)$ мВ. Из приведенных данных видно, что минимальные амплитуды выходных микроволновых сигналов МД и ИП существенно не отличаются, а максимальная амплитуда сигнала предлагаемого ИП значительно больше и теоретически ограничена пробивным напряжением применяемого диода.

Таким образом, применение предлагаемого измерительного преобразователя позволит на (10...20) дБ расширить рабочий диапазон амплитуд микроволновых сигналов по сравнению с применяемыми классическими квадратичными микроволновыми детекторами.

Дальнейшей задачей является исследование влияния частотных характеристик микроволнового детектора на параметры измерительного преобразователя.

Библиографический список использованной литературы

1. Гимпилевич Ю.Б. Измерение и контроль параметров микроволновых трактов / Ю.Б. Гимпилевич. — Севастополь: СевНТУ, 2009. — 239 с.
2. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: учеб. пособие для вузов / А.А. Данилин. — М.: Радиотехника, 2008. — 184 с.
3. Силаев М.А. Измерительные полупроводниковые СВЧ преобразователи / М.А. Силаев, А.Н. Комов. — М.: Радио и связь, 1984. — 152 с.

Поступила в редакцию 11.11.2010 г.

Ветров І.І., Лук'янчук О.Г. Вимірювальний перетворювач мікрохвильових сигналів

Розглянута можливість побудови вимірювального перетворювача з розширеним діапазоном рівнів мікрохвильових сигналів і лінійною характеристикою перетворення.

Ключові слова: характеристика перетворення, мікрохвильовий детектор, похибка перетворення, робочий діапазон амплітуд.

Vetrov I.I., Lukyanchuk A.G. A measuring converter of microwave signals

Possibility of creation of the measuring converter with the expanded range of levels of microwave signals and the linear converting characteristic is considered.

Keywords: the converting characteristic, the microwave detector, a converting error, a working range of amplitudes.