

УДК 621.317

Ю. О. Скрипник, О. П. Яненко*

Київський національний університет технологій та дизайну

* Науково-дослідний центр квантової медицини “ВІДГУК”, МОЗ України, м. Київ

ОЦІНКА ПОХИБКИ МОДУЛЯЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА У РЕЖИМІ ПЕРЕМИКАЧА

© Скрипник Ю. О., Яненко О. П., 2002

Досліджено похибку модуляційного НВЧ-перетворювача на $p-i-n$ -діодах у режимі перемикача. Запропоновано рекомендації для зменшення похибок модуляційного перетворювача.

The investigations of an error of the modulation SHF-transformer on the $p-i-n$ -diodes in the switch-regime are accomplished. The recommendations are proposed for decreasing of the errors of the modulation transformer.

Активний розвиток та використання радіометричних пристроїв і систем у фізиці, медицині, метеорології та інших галузях науки і техніки [1, 2] тісно пов'язаний із застосуванням модуляційних перетворювачів, які можуть компонуватися в схему радіометра в режимі ключа або перемикача.

Особливістю радіометра є те, що рівень вхідних сигналів збігається або менший за рівень власних шумів вхідних пристроїв радіометра.

Розгляд модуляційного перетворювача в режимі перемикача (рис. 1) показує, що практична реалізація такого перетворювача потребує створення складнішої схеми, в яку входить приймальна антена A_{Π} , еквівалент антени A_E , два $p-i-n$ -модулятори $M1$ і $M2$, що управляються протифазними комутуючими напругами, наприклад, прямокутної форми — $U_M \text{sign} \sin \Omega t$ і $U_M \text{sign} \cos \Omega t$ та суматор T у вигляді хвилевідного трійника.

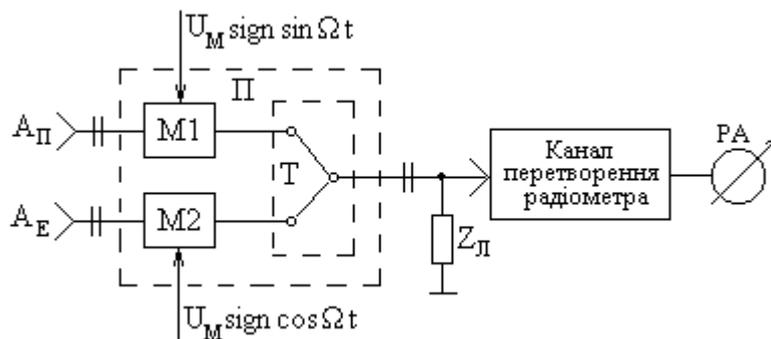


Рис. 1. Схема модуляційного перетворювача в режимі перемикача

По суті, схема являє собою два $p-i-n$ -ключі, які по чергову відкриваються та закриваються, пропускаючи на вхід сигнали в перший напівперіод комутації

$$E' = (E_C + E'_{\text{ША}})k'_1 + E''_{\text{ША}}k''_2, \quad (1)$$

де E_C – амплітуда вхідного сигналу; $E'_{\text{ША}}$, $E''_{\text{ША}}$ – амплітуда власного шумового сигналу приймальної антени та еквівалента антени, що визначаються температурою цих елементів; k'_1 , k''_2 – коефіцієнти передачі відкритого $M1$ та закритого $M2$ модулятора.

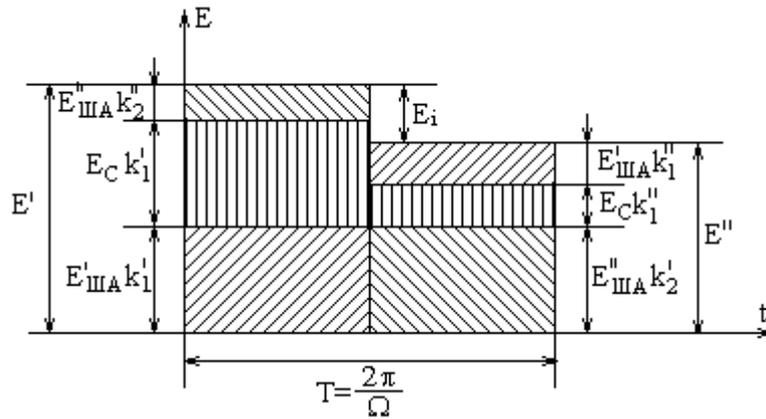


Рис. 2. Епюри амплітуд сигналів перемикача за період комутації

У другий напівперіод комутації

$$E'' = (E_C + E'_{ША})k''_1 + E''_{ША}k'_2, \quad (2)$$

де k''_1 , k'_2 – коефіцієнти передачі закритого М1 та відкритого М2 модулятора.

На рис. 2 наведено графічне зображення епюр сигналів (1 – 2) за період комутації.

Як видно із рис. 2, сигнали на виході модуляційного перетворювача в режимі перемикача є сумою сигналів, що проходять через відкритий та закритий $p-i-n$ -ключі, оскільки хвилевідний трійник T постійно з'єднаний з виходами модуляторів М1 і М2.

Амплітуда сигналу, що формується на виході детектора радіометричного приймача [3]

$$E_i = E' - E''. \quad (3)$$

Підставивши в (3) значення (1) і (2) та спростивши, отримуємо

$$E_i = E_C(k'_1 - k''_1) + E'_{ША}(k'_1 - k''_1) - E''_{ША}(k'_2 - k''_2). \quad (4)$$

За ідентичних модуляторів М1 і М2, коли $k'_1 = k'_2$, а $k''_1 = k''_2$ і подальшого спрощення (4) маємо

$$E_i = E_C(k'_1 - k''_1) \left(1 + \frac{E'_{ША} - E''_{ША}}{E_C} \right). \quad (5)$$

Як видно із (5), неідентичність приймальної антени та еквівалента антени приводить до виникнення паразитного різницевого сигналу, амплітуда і знак якого визначаються коефіцієнтом асиметрії

$$q = \frac{E'_{ША} - E''_{ША}}{E_C}. \quad (6)$$

Абсолютну похибку модуляційного перетворювача в режимі перемикача з урахуванням (6) можна записати

$$\Delta E = E_C - E_i = E_C [1 - (k'_1 - k''_1)(1 + q)], \quad (7)$$

а відносну

$$\delta E = [1 - (k'_1 - k''_1)(1 + q)] 100\%. \quad (8)$$

Аналіз (8) показує, що на відносну похибку модуляційного перетворювача значний вплив має коефіцієнт глибини паразитного різницевого сигналу q , який визначається асиметрією амплітуд антенних шумових сигналів $E'_{ША}$ та $E''_{ША}$. За нульового значення q , коли $E'_{ША} = E''_{ША}$, формула (8) має вигляд

$$\delta E = [1 - (k'_1 - k''_1)] 100\%. \quad (9)$$

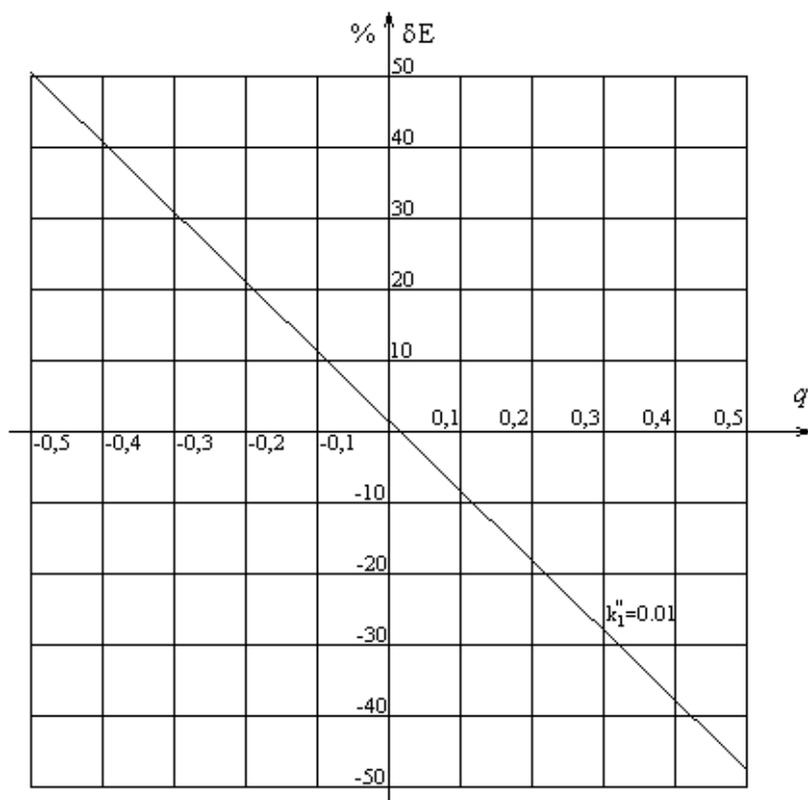


Рис. 3. Розподіл похибок модулятора-перемикача за наявності значної асиметрії антени і еквівалента

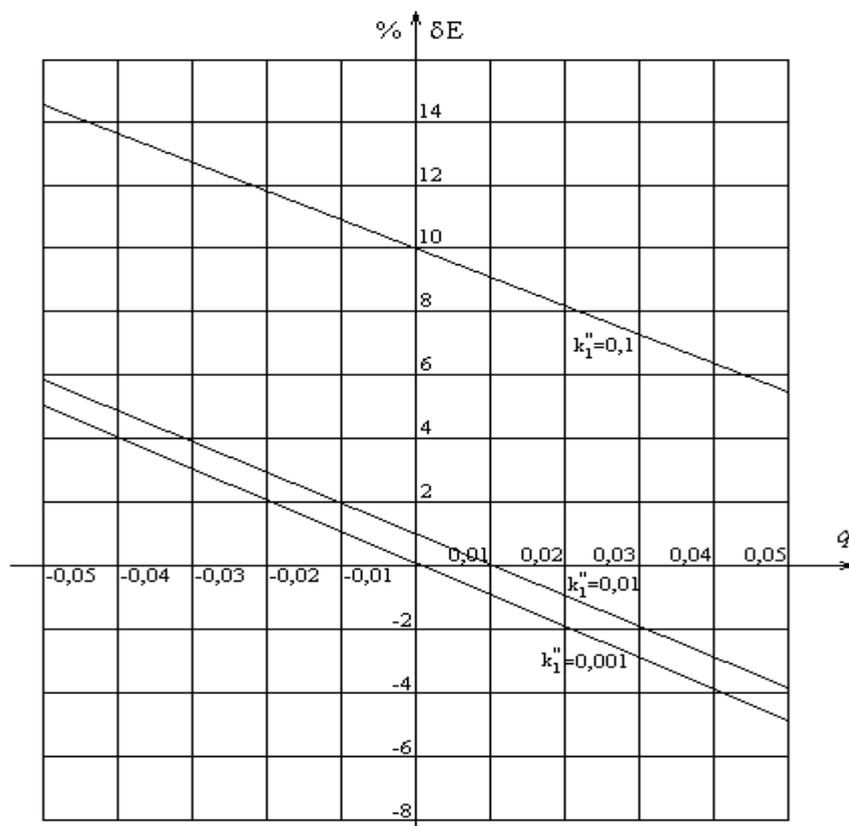


Рис. 4. Розподіл похибок модулятора-перемикача за малої асиметрії антени і еквівалента

Водночас наявність коефіцієнта q може впливати на значення та розподіл відносної похибки, що необхідно дослідити. Зазвичай еквівалент антени A_E вибирається так, щоб його шумові характеристики за інтенсивністю збігались або були близькі до характеристик приймальної антени A_{Π} . Однак отримати параметри, що ідеально збігаються $E'_{\text{ША}} = E''_{\text{ША}}$, практично неможливо. Якщо $E'_{\text{ША}} > E''_{\text{ША}}$, значення коефіцієнта модуляції m матимуть знак “+”, а якщо $E'_{\text{ША}} < E''_{\text{ША}}$ — “-“. Відповідно буде змінюватися і знак відносної похибки.

Дослідимо похибку на моделі узгодженого p - i - n -ключа без втрат $\Gamma_{\Gamma} = \Gamma_{\Pi} = 0$, $k'_1 = 1$ у відкритому стані, для чого застосуємо (9) та скористаємося характеристиками ідеального модулятора. Враховуючи вищесказане, формулу (9) можна записати у вигляді

$$\delta E = [1 - (1 - k''_1)(1 + q)] \cdot 100\% . \quad (10)$$

Для визначення поведінки відносної похибки у широких межах розрахунків виконаємо для великих значень коефіцієнта асиметрії $q = 10 - 50\%$ та одного із значень коефіцієнта $k''_1 = 0,01$, а також для малих коефіцієнтів асиметрії $q = 0 - 5\%$ і значень $k''_1 = 0,1; 0,01$ та $0,001$, що практично відповідає ідентичним шумовим характеристикам антени та еквівалента.

Результати розрахунку для максимальних q наведені на рис. 3, а для малих значень q на рис. 4.

Аналіз впливу значних асиметрій власних шумових сигналів антени та еквівалента ($q = 10 - 50\%$) на відносну похибку (рис. 3) показує, що вона може сягати десятків відсотків, а це необхідно враховувати під час розроблення вхідних ланцюгів радіометричного вимірювача — антени, еквівалента антени та модуляційного перетворювача, який застосовується у режимі перемикача.

За малих значень індексу паразитного різницевого сигналу ($q = 0 - 5\%$) відносна похибка, з урахуванням робочого значення коефіцієнта передачі закритого p - i - n -діода ($k''_1 = 0,01; 0,001$), знаходиться в межах $\delta E_{\max} < \pm 6\%$ при $q = 0,05$. Введенням операції вирівнювання інтенсивності шумів еквівалента антени, наприклад, зміною його температури, можна зменшити значення коефіцієнта до $q = 0,01 - 0,02$, що дає змогу забезпечити похибку перетворення модулятора в режимі перемикача на рівні $1 - 2\%$.

Отже, застосування модуляційного перетворювача в режимі перемикача відкриває широкі можливості для забезпечення високої точності перетворення вхідного сигналу, однак за умови повної ідентичності характеристик приймальної антени і еквівалента антени та узгодження входу і виходу модулятора з елементами радіометричного вимірювача.

1. Скрипник Ю. О., Манойлов В. П., Яненко О. П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону. – Ж., 2001. 2. Ситько С. П., Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины. – К., 1999. 3. Головка Д. Б., Скрипник Ю. О., Яненко О. П. Модуляційні НВЧ-вимірювачі електричних та неелектричних величин. – К., 2001.