

УДК 681.3.06

В.П. Манойлов, д.т.н., с.н.с.

В.В. Яковлев, аспір.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ВИМІРЮВАННЯ МАЛОГО ВІДБИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕУЗГОДЖЕНОГО ПОДВІЙНОГО Т-МОСТУ

Розглядається метод для виміру малих значень модуля коефіцієнта відбиття за допомогою неузгодженого подвійного Т-мосту. Описується методика виміру і порядок обробки дослідних даних. Наводяться експериментальні дані вимірювання КСХН хвильоводних елементів у діапазоні 3,8–5,7 мм запропонованою схемою та розрахунок похибки виміру.

Безпосередній вимір малих значень модуля коефіцієнта чи відбиття коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН) хвильоводних елементів у міліметровому діапазоні проводиться за допомогою вимірювальних ліній типу Р1-15, що випускаються серійно, та дозволяє вимірювати КСХН порядку 1,1 з похибкою $\pm 10\%$. При вимірі КСХН хвильоводних елементів порядку 1,02–1,06 ця похибка значно погіршується. Для зменшення похибки виміру малих значень КСХН застосовуються хвильоводні мостові методи, в основу яких покладені властивості подвійного трійника. Хвильоводний елемент із невідомим КСХН порівнюється з відомим еталоном. Значення невідомого КСХН знаходиться безпосередньо за калібруванням мостової схеми; точність виміру залежить від точності еталона і від точності виготовлення подвійного трійника. Мостовий метод для виміру малих значень КСХН розглядається рядом авторів. У більшій частині цих робіт [1, 2] розглядаються погоджені мостові схеми. Недоліками таких схем є асиметрія та перехресний зв'язок між бічними пліччями подвійного трійника. Для узгодження потрібно симетрувати подвійний трійник на кожній частоті діапазону за допомогою різних надбудовних елементів, що часто буває незручно і не призводить до бажаного результату. На практиці часто застосовують метод виміру малих значень КСХН, що заснований на застосуванні неузгодженого подвійного Т-мосту, вільний від вказаних вище недоліків.

В даний час цьому методу присвячений ряд робіт [3, 4], в яких наводиться аналіз його роботи цього методу в сантиметровому діапазоні хвиль. В даній роботі розглянуті вимоги до цієї схеми виміру в міліметровому діапазоні хвиль, при виконанні яких забезпечується необхідна точність виміру малих значень КСХН.

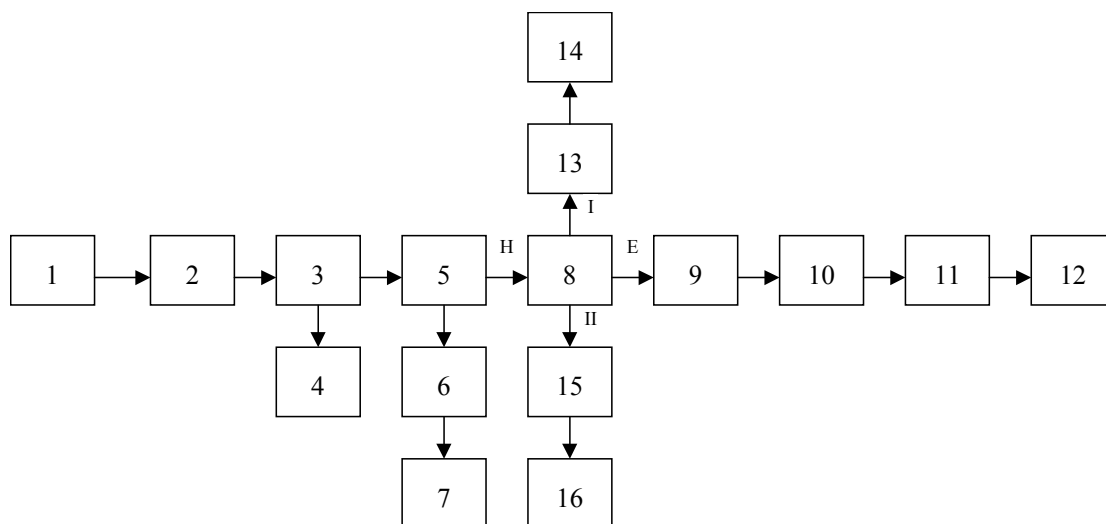


Рис. 1. Блок-схема для вимірювання малих значень відбиття за допомогою неузгодженого подвійного Т-мосту

Розглянемо блок-схему, що наведена на рис. 1; потужність від генератора НВЧ1, через що розв'язує атенюатор 2, спрямовані відгалужувачі 3 і 5, надходить у плече Н подвійного трійника 8, де поділяється між плечима І і ІІ. Перевірка нестабільності роботи генератора 1 за частотою проводиться за гетеродинним частотоміром 4. Спостереження за нестабільністю рівня вихідної потужності генератора 1 проводиться за допомогою детекторної секції 6 та індикаторного приладу 7. У плече І подвійного трійника 8 включений трансформатор повних опорів 13 і навантажувальний опір 14, а в плече ІІ – вимірюваний хвильоводний елемент 15 і погоджене навантаження 16. У плече Е подвійного трійника

включені, вимірювальний атенуатор 10, детекторна секція 11 і вимірювальний підсилювач 12, що розв'язує атенуатор 9. Процес виміру невідомого КСХН проводиться таким чином. Спочатку калібрують мостову схему. Для цього до плеча II подвійного трійника 8 приєднують каліброване навантаження з КСХН порядку 1,05–1,06.

Початкове ослаблення між плечима Е та Н подвійного трійника в децибелах визначається виразом (1):

$$N = -20 \lg | \Gamma |, \tag{1}$$

де $|\Gamma|$ – модуль коефіцієнта відбиття вимірюваного хвильоводного елемента. Залежність $N = f | \Gamma |$ зображена на рис. 2. За допомогою трансформатора повних опорів 13 підбираються модуль і фаза відбиття, що компенсує, таким чином, щоб при переміщенні каліброваного навантаження за допомогою мікрометричного гвинта відношення максимального та мінімального показань індикатора знаходилося в межах 0,5–0,8 децибел. За формулою (2) обчислюємо величину показань α_{cp} , що є опорною крапкою при вимірі невідомого КСХН:

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_{max} + \alpha_{min}}{2}, \tag{2}$$

де α_{max} і α_{min} – максимальне і мінімальне показання індикатора 12.

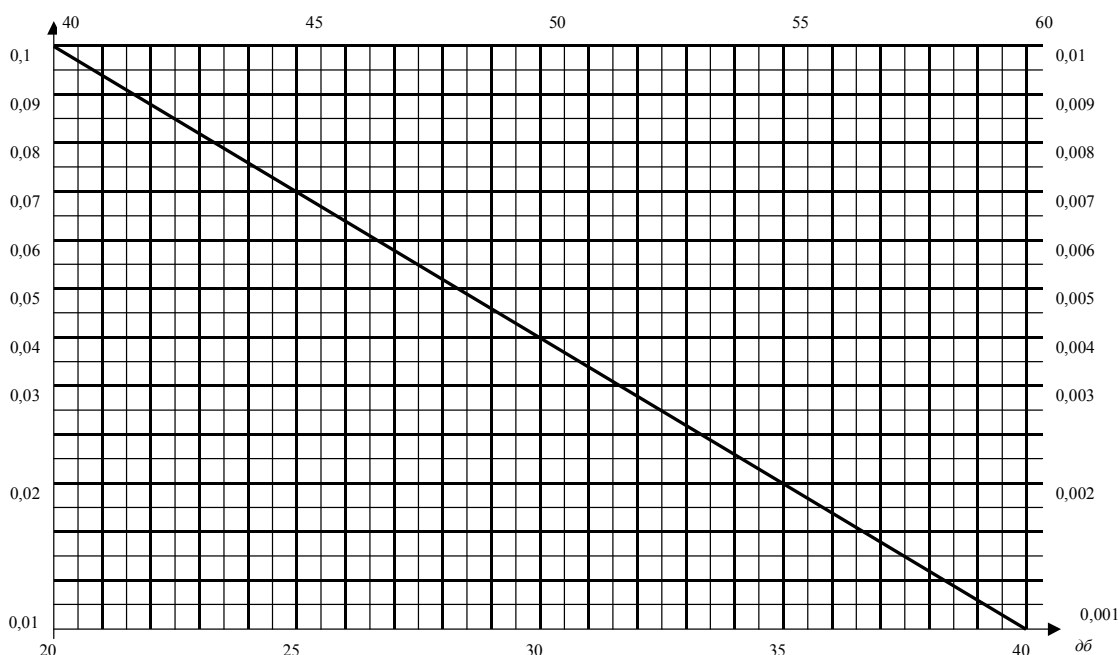


Рис. 2. Графік залежності $N = f | \Gamma |$

Правильність калібрування мостової схеми перевіряється приєднанням до плеча II подвійного трійника 8 навантаження з КСХН порядку 1,02–1,03 і при цьому стрілка індикатора 12 повинна різко падати до 0. Після перевірки правильності настроювання мостової схеми до плеча II подвійного трійника 8 підключають хвильоводний елемент із невідомим КСХН, навантажений на погоджене навантаження з КСХН порядку 1,05–1,06. Підключення хвильоводного елемента з ослабленням N_0 призводить до збільшення початкового ослаблення N . За допомогою вимірювального атенуатора 10 вимірюють величину N_0 при тій же чутливості вимірювального підсилювача 12, що і при калібруванні мостової схеми. Вимірювши N_0 і знаючи початкове ослаблення N , можна знайти, згідно з виразом (3), сумарну величину ослаблення N_1 :

$$N_1 = N + N_0 \text{ [дБ]}. \tag{3}$$

Графік залежності КСХН вимірюваного хвильоводного елемента від величини ослаблення N_1 зображений на рис. 3; таким чином, вимір невідомого КСХН зводиться до виміру величини ослаблення N_1 і перебування за графіком (рис. 3) величини КСХН. Відносну величину похибки даного методу виміру КСХН можна визначити за формулою (4):

$$\delta \Gamma = \delta \Gamma_1 \pm \sqrt{\delta \Gamma_2^2 + \delta \Gamma_3^2 + \sigma \Gamma_4^2}, \tag{4}$$

де $\delta\Gamma_1$ – похибка визначення модуля коефіцієнта відбиття атестованого навантаження, що застосовується при калібруванні та вимірюванні; $\delta\Gamma_2$ – похибка через установку балансу мосту; $\delta\Gamma_3$ – похибка вимірювального атенюатора; $\sigma\Gamma_4$ – сумарна випадкова похибка.

Атестація КСХН каліброваного навантаження проводиться методом “рухомого навантаження” на вимірювальній лінії [6]. Похибка атестації приблизно пропорційна величині коефіцієнта відбиття навантаження. Похибка установки балансу визначається при калібруванні мостової схеми. З цією метою за допомогою графіка (рис. 2) визначається максимальне та мінімальне відхилення величини модуля коефіцієнта відбиття погодженого навантаження від середнього значення.

Похибка вимірювального атенюатора, з врахуванням похибки неузгодженості, визначається за формулою (5):

$$\delta\Gamma_3 = \pm 0,113\Delta N, \tag{5}$$

де ΔN – абсолютна похибка вимірювального атенюатора Д5-14, що складає 0,25 децибелі.

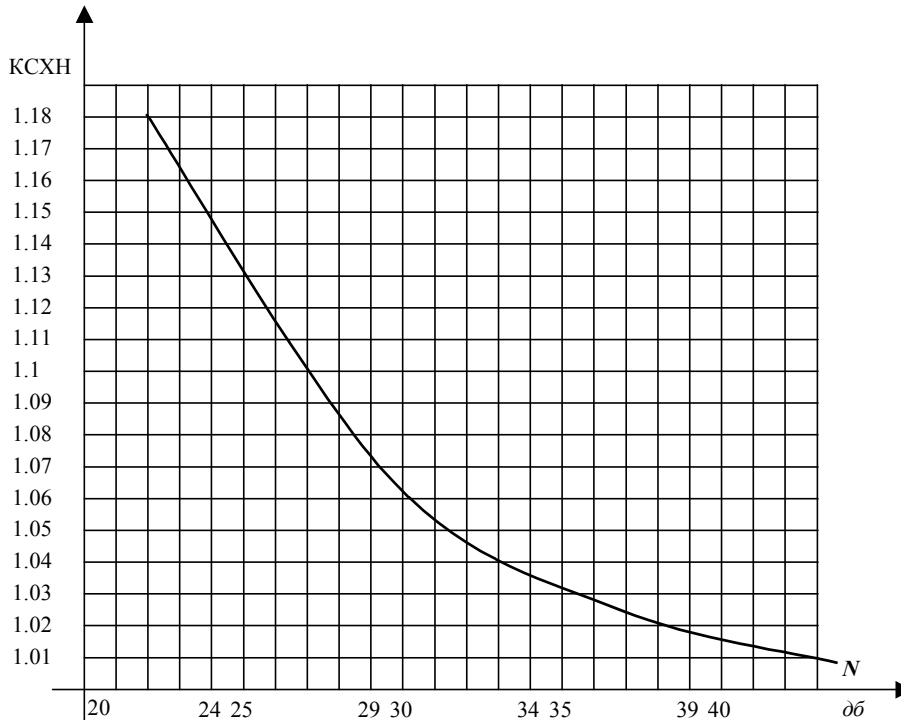


Рис. 3. Графік залежності КСХН вимірюваного хвильоводного елемента від величини ослаблення N

Сумарна випадкова похибка через недосконалість вхідного фланця подвійного трійника, похибка показань індикаторного приладу та нестабільності генератора можуть бути визначені шляхом обробки результатів багаторазових вимірів. Середньоквадратичну похибку ряду вимірів можна визначити за формулою (6):

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}, \tag{6}$$

де v_i^2 – залишкові похибки одиничних вимірів; n – кількість вимірів.

Максимальна сумарна випадкова похибка виміру приймається рівною 3σ .

Обчислимо похибку даного методу. В результаті шістьох вимірів були отримані значення окремих похибок (табл. 1).

Таблиця 1

Похибка	№ вимірювання						Σ
	1	2	3	4	5	6	
$\delta\Gamma_1$ дБ	0,22	0,24	0,18	0,16	0,22	0,25	0,21
$\delta\Gamma_2$ дБ	+0,10	-0,09	+0,08	-0,09	+0,12	-0,09	±0,10
$\delta\Gamma_3$ дБ	-0,025	+0,027	-0,032	+0,026	-0,022	+0,024	±0,025
$\sigma\Gamma_4$ дБ	-0,036	+0,045	-0,038	+0,048	-0,028	+0,032	$\sigma = \pm 0,045$

$$\delta\Gamma = 0,21 \pm \sqrt{0,1^2 + 0,025^2 + (3 \cdot 0,045)^2} = (0,21 \pm 0,17).$$

Відносна похибка виміру величини КСХН порядку 1,05–1,06 складає $\pm 1,5\%$.

На закінчення можна відзначити:

1. Отримані експериментальні результати виміру КСХН хвильоводних елементів показують, що запропонована методика виміру має меншу похибку, в порівнянні з вимірювальною лінією Р1-15.
2. Застосування даної методики вимірів дозволяє підвищити точність і зручність в умовах серійного виробництва хвильоводних елементів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Ремез Г.А.* Техника измерений на сантиметровых волнах. – М.: Сов. радио, 1949. – 280 с.
2. *Бова М.Т., Лайхтман І.Б.* Вимірювання параметрів антен і пристроїв НВЧ. – К.: Вища школа, 1973. – 110 с.
3. *Брянский Л.Н.* Точное измерение коэффициента стоячей волны напряжения и полных сопротивлений на сантиметровых волнах. – М.: Стандарт, 1963. – 220 с.
4. *Ахлезер А.Н.* Измерение малых ослаблений с помощью двойного тройника // Измерительная техника. – 1956. – № 4. – С. 34–38.
5. *Мирский Г.Я.* Радиоэлектронные измерения. – М.: Энергия, 1975. – 510 с.
6. *Абубакиров Б.А., Гудков К.Г., Нечаев Э.В.* Измерение параметров радиотехнических цепей. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
7. *Валитов Р.А., Сретенский В.Н.* Радиотехнические измерения. – М.: Сов. радио, 1970. – 710 с.

МАНОЙЛОВ В'ячеслав Пилипович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри медичних приладів та систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- електродинаміка;
- радіофізика НВЧ;
- біофізика.

ЯКОВЛЕВ Володимир Віталійович – аспірант кафедри медичних приладів та систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- технічна електродинаміка;
- антени та пристрої НВЧ.

vovan@zt.ukrtel.net

Подано 13.02.02

Манойлов В.Ф., Яковлев В.В. Измерение малых отражений с помощью несогласованного двойного Т-моста

Manoilov V.P., Yakovlev V.V. The measuring of a minor reflection with a usage of uncoordinated dual T-bridge

Манойлов В.П., Яковлев В.В. Вимірювання малого відбиття за допомогою неузгодженого подвійного Т-мосту

УДК 681.3.06

Измерение малых отражений с помощью несогласованного двойного Т-моста / В.Ф. Манойлов, В.В. Яковлев

Рассматривается метод для измерения малых значений модуля коэффициента отражений с помощью несогласованного двойного Т-моста. Описывается методика измерения и порядок обработки опытных данных. Приводятся экспериментальные данные замера КСВН волноводных элементов в диапазоне 3,8–5,7 мм предлагаемой схемой и расчет погрешности измерения.

УДК 681.3.06

The measuring of a minor reflection with a usage of uncoordinated dual T-bridge / V.P. Manoilov, V.V. Yakovlev

The method for measuring the minor values of modulus of the coefficient of reflection with usage of uncoordinated dual T-bridge is considered. The system of the measurements and the order of experimental data processing are described. The experimental date of measuring of coefficient of a standing wave by voltage of waveguide elements in a range of 3,8–5,7 mm, produced by proposed schema, is proposed. The error calculating is observed.