

УДК 621.317.7

В.П. Куценко

Науково-виробниче підприємство «Кварсит»,
Укроборонпром, м. Костянтинівка, Україна
Україна, 85104, м. Костянтинівка, Донецької обл., вул. Шмідта, 20
Донецький національний технічний університет МОН, м. Донецьк, Україна
Україна, 83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58

Дослідження залежностей узагальнених комплексних величин подвійного хвилевідного трійника від режимів роботи НВЧ-кіл радіометричного приладу контролю

V.P. Kutsenko

*Scientific production enterprise of «Kvarsit», Ukroboronprom, Konstantinovka, Ukraine
Ukraine, 85104, Konstantinovka, Donetsk obl., Shmidta st., 20
Donetsk national technical university, MON, Donetsk, Ukraine
Ukraine, 83000, Donetsk, street of Artem, 58*

Research of Dependences of the Generalized Complex Sizes of a Double Waveguide tee From Operating Modes Over High-frequency Chains of the Radiometric Device of Control

В.П. Куценко

Научно-производственное предприятие «Кварсит»,
Укроборонпром, г. Константиновка, Украина
Украина, 85104, г. Константиновка, Донецкой обл., ул. Шмидта, 20
Донецкий национальный технический университет, МОН, г. Донецк, Украина
Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58

Исследование зависимостей обобщенных комплексных величин двойного волноводного тройника от режимов работы СВЧ-цепей радиометрического прибора контроля

На основі проведеного математичного моделювання вхідної частини радіометричного приладу контролю з подвійним хвилевідним трійником виконані комп'ютерні розрахунки введених його узагальнених комплексних величин, при відхиленні параметрів НВЧ-кіл від оптимальних значень.

Відповідно до результатів розрахунків узагальнених комплексних величин НВЧ-кіл від режимів роботи проаналізовані їх відносні похибки, що створюються від можливих відхилень від оптимальних значень довжини хвилі сигналу, всіх фаз і модулів комплексних коефіцієнтів відбиття антени і еквівалента антени, а також фази і модуля елемента зв'язку матриці розсіювання S_{12} подвійного хвилевідного трійника. Розраховані й побудовані графіки.

Ключові слова: радіометричний прилад контролю, подвійний хвилевідний трійник, оптимальні параметри, комплексні величини.

On the basis of the carried-out mathematical modeling of entrance part of the radiometric device of control with a double waveguide tee computer calculations of entered its generalized complex sizes are executed, at a deviation of parameters over high-frequency chains from optimum values. According to results of calculations of the generalized

complex sizes over high-frequency chains from operating modes their relative errors which are created at possible deviations from optimum values of length of a wave of the signal, all phases and modules of complex coefficients of reflection of the antenna and an antenna equivalent, and also a phase and the module of an element of communication of a matrix of dispersion of S_{12} of a double waveguide tee are analysed. Schedules are calculated and constructed.

Key words: radiometric device of control, double waveguide tee, optimum parameters, complex sizes.

На основе проведенного математического моделирования входной части радиометрического прибора контроля с двойным волноводным тройником выполнены компьютерные расчеты введенных его обобщенных комплексных величин, при отклонении параметров СВЧ-цепей от оптимальных значений. Соответственно результатам расчетов обобщенных комплексных величин СВЧ-цепей от режимов работы проанализированы их относительные погрешности, которые создаются при возможных отклонениях от оптимальных значений длины волны сигнала, всех фаз и модулей комплексных коэффициентов отражения антенны и эквивалента антенны, а также фазы и модуля элемента связи матрицы рассеяния S_{12} двойного волноводного тройника. Рассчитаны и построены графики.

Ключевые слова: радиометрический прибор контроля, двойной волноводный тройник, оптимальные параметры, комплексные величины.

Вступ

Активний розвиток елементної бази НВЧ-діапазону дозволяє сьогодні розробляти системи неруйнівного радіотеплового і радарного контролю діелектричних матеріалів і виробів, які здатні забезпечити підвищення якості, надійності продукції і рентабельності виробництва [1-3].

При розробці схем високочутливих радіометричних приладів контролю (РПК) у їх вхідній частині використовують подвійні хвилевідні трійники (ПХТ), які можуть обмежувати смугу прийнятих частот широкопasmових сигналів від об'єктів контролю, що знижує чутливість апаратури і точність дослідження.

Для отримання необхідних метрологічних характеристик РПК і підвищення достовірності контролю проводиться оптимізація параметрів вхідних елементів і кіл радіометричного приладу [4-7].

Метою даної роботи є дослідження, на основі проведених розрахунків оптимальних параметрів ПХТ [4], залежностей, введених у процесі моделювання узагальнених комплексних величин подвійного хвилевідного трійника від режимів роботи НВЧ-кіл радіометричного приладу контролю.

Основна частина

На основі проведеного раніше математичного моделювання вхідної частини радіометричного приладу контролю з подвійним хвилевідним трійником [2-4] виконаємо комп'ютерні розрахунки введених його узагальнених комплексних величин (КУВ), при відхиленні параметрів НВЧ-кіл у межах $\pm 10\%$ від оптимальних значень. У табл. 1 представлені оптимальні параметри ПХТ і з'єднаних з ним НВЧ-елементів.

Де $S_{12}, \varphi_{12}, S_{13}, \varphi_{13}, S_{14}, \varphi_{14}, S_{23}, \varphi_{23}, S_{24}, \varphi_{24}, S_{34}, \varphi_{34}$ – модулі і фази елементів зв'язку матриці розсіювання ПХТ; $\Gamma_A, \varphi_A, \Gamma_1, \varphi_1, \Gamma_2, \varphi_2, \Gamma_R, \varphi_R$ – відповідно модулі і фази коефіцієнтів відбиття від антени, змішувачів і еквівалентного навантаження; λ – довжина хвилі вихідного НВЧ-сигналу.

Таблиця 1 – Оптимальні параметри ПХТ і з'єднаних з ним НВЧ-елементів

φ_{12}	S_{12}	S_{13}	φ_{13}	S_{14}	φ_{14}	S_{23}	φ_{23}	φ_{24}	S_{24}	φ_{34}
0,166	0,07	0,704	0,176	0,704	0,173	0,704	0,342	0,34	0,704	0,25
S_{34}	Γ_A	φ_A	Γ_1	φ_1	Γ_R	φ_R	Γ_2	φ_2	λ	
0,07	0,307	0,248	0,222	0,296	0,1	0,25	0,227	0,182	2,166	

Відповідно до результатів розрахунків узагальнених комплексних величин НВЧ-кіл від режимів роботи за допомогою програми Mathcad 15 проаналізуємо їх відносні похибки ($\Delta_{\text{КУВ}}, \%$), що створюються при можливих відхиленнях від оптимальних значень довжини хвилі сигналу, всіх фаз і модулів комплексних коефіцієнтів відбиття антени і еквівалента антени, а також фаз і модулів елемента зв'язку матриці розсіювання S_{12} подвійного хвилевідного трійника (табл. 1). Результати досліджень дозволять істотно поліпшити метрологічні характеристики РПК.

Залежності відносної похибки ($\Delta_{\text{КУВ}}, \%$), що створюються при відхиленнях від оптимальних значень довжини хвилі сигналу (λ), представлені в табл. 2 і на рис. 1.

Таблиця 2 – Залежності відносної похибки

λ , мм	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta_{\text{КУВ}} \%$	0.88	3.276	5.967	7.659	8.67	9.141	9.034

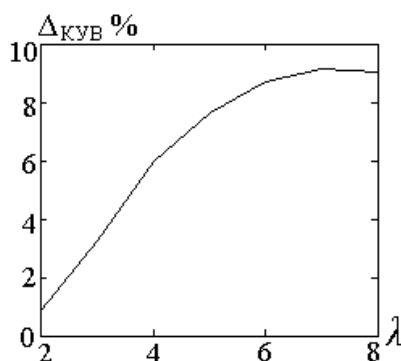


Рисунок 1 – Графік залежності відхилення КУВ (відносна похибка) ПХТ від нормованих значень при зміні довжини хвилі

Аналіз показує, що відхилення КУВ ПХТ від розрахункових оптимальних значень при зміні довжини хвилі вхідного сигналу від 2 до 8 мм коливаються від 0,88 до 9,14%. У діапазоні довжин хвиль, близьких до оптимальних ($\lambda=2,166$ мм), середня відносна похибка становить усього 0,88%. Особливо помітні ці відхилення при зміні довжини хвилі від 4 до 8 мм, де вони зростають до 9%.

Таблиця 3 – Аналіз залежностей значень узагальнених комплексних величин

$\varphi_n, \%$	-10	-8	-6	-4	-2	$0(\varphi_n)$	+2	+4	+6	+8	+10
$\Delta_{\text{КУВ}}, \%$	1.163	0.936	0.712	0.489	0.267	0.267	0.257	0.463	0.674	0.889	1.119
$\varphi_{\text{SH}}, \%$	-10	-8	-6	-4	-2	$0(\varphi_{\text{SH}})$	+2	+4	+6	+8	+10
$\Delta_{\text{КУВ}}, \%$	4.887	3.842	2.837	1.87	0.94	0.057	0.92	1.755	2.561	3.34	4.093
S_{12}	0.063	0.064	0.066	0.067	0.069	0.07	0.071	0.073	0.074	0.076	0.077
$\Delta_{\text{КУВ}}, \%$	0.237	0.187	0.137	0.088	0.038	0.013	0.063	0.112	0.162	0.211	0.26
Γ_A	0.276	0.282	0.289	0.295	0.301	0.307	0.313	0.319	0.325	0.332	0.338
$\Delta_{\text{КУВ}}, \%$	0,302	0,253	0,204	0,155	0,105	0,057	0,106	0,155	0,205	0,256	0,308
Γ_R	0.039	0.045	0.052	0.058	0.064	0.07	0.076	0.082	0.088	0.095	0.101
$\Delta_{\text{КУВ}}, \%$	9.163	7.163	5.266	3.453	1.714	0.057	1.68	3.247	4.756	6.21	7.613
Γ_2	0.204	0.209	0.213	0.218	0.222	0.227	0.232	0.236	0.241	0.245	0.25
$\Delta_{\text{КУВ}}, \%$	1.618	1.297	0.976	0.655	0.334	0.013	0.308	0.629	0.951	1.271	1.593

Аналіз залежностей значень узагальнених комплексних величин ПХТ при можливих відхиленнях від оптимальних всіх фаз (φ) і модулів ККВ (Γ_A , Γ_R), фаз (φ_S) і модулів елемента зв'язку матриці розсіювання ПХТ (S_{12}) представлений у табл. 3 і на рис. 2.

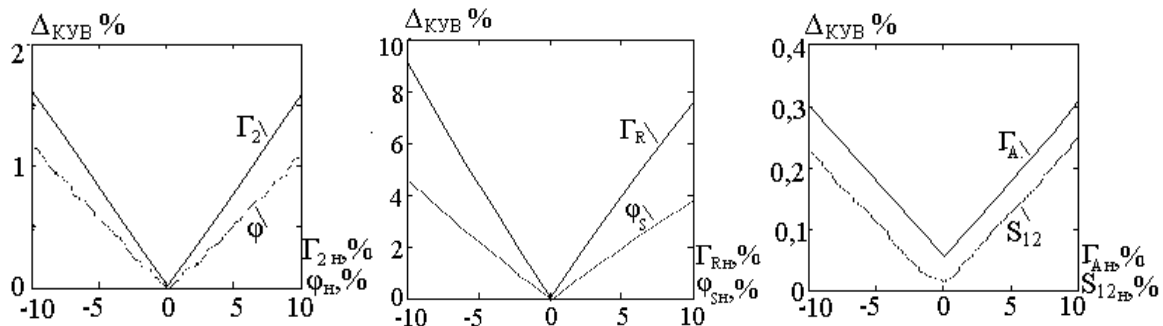


Рисунок 2 – Графіки залежності відхилення КУВ (відносна похибка) ПХТ при зміні параметрів НВЧ-кіл від оптимальних значень

Результати розрахунків значень КУВ, одержані при зміні всіх фаз коефіцієнтів відбиття приймальної антени φ_A , еквівалента антени φ_R , входів змішувачів φ_1 і φ_2 у межах $\pm 10\%$ від оптимальних значень (φ_H), показують практичну їх нечутливість до цих змін і коливаються від 0,06 до 1,16%.

В той же час при зміні фаз елементів зв'язку φ_{12} , φ_{13} , φ_{14} , φ_{23} , φ_{24} , φ_{34} матриці розсіювання ПХТ у межах $\pm 10\%$ від оптимальних величин (φ_{SH}) відхилення значень КУВ мають лінійну залежність, яка досягає 4,9%, а при зміні модуля елемента матриці розсіювання S_{12} у тих же межах – до 0,26%.

Більші відхилення КУВ ПХТ спостерігаються при зміні модуля ККВ від еквівалента антени Γ_R , ніж при зміні модуля ККВ антени Γ_A , які від оптимальних значень максимально відрізняються відповідно на 9,163% і 0,31%.

Висновки

Розраховані похибки узагальнених комплексних величин ПХТ при відхиленні параметрів НВЧ-кіл від оптимальних значень дозволяють використовувати їх для проектування НВЧ-каскадів високочутливих РПК.

Показано, що відхилення КУВ ПХТ від розрахункових оптимальних значень при зміні довжини хвилі вхідного сигналу від 2 до 8 мм коливаються від 0,88 до 9,14%. Особливо помітні ці відхилення при зміні довжини хвилі від 4 до 8 мм, де вони зростають до 9%.

Одержані значення КУВ ПХТ при зміні всіх фаз коефіцієнтів відбиття приймальної антени, еквівалента антени, входів змішувачів у межах $\pm 10\%$ від оптимальних значень показують практичну їх нечутливість до цих змін і коливаються від 0,06 до 1,16%. При зміні всіх фаз елементів зв'язку матриці розсіювання ПХТ від оптимальних величин відхилення значень КУВ мають лінійну залежність, яка досягає 4,9%, а при зміні модуля елемента матриці розсіювання S_{12} у тих же межах – до 0,26%.

Встановлено, що більші відхилення КУВ ПХТ спостерігаються при зміні модуля ККВ від еквівалента антени, ніж при зміні модуля ККВ антени, які від оптимальних значень максимально відрізняються відповідно на 9,163% і 0,31%.

Література

1. Куценко В.П. Методы и средства сверхвысокочастотной радиометрии / [Куценко В.П., Скрипник Ю.А., Трегубов Н.Ф., Шевченко К.Л., Яненко А.Ф.]. – Донецк : ИПШ «Наука і освіта», 2011. – 324 с.
2. Куценко В.П. Радиометричний НВЧ-контроль властивостей матеріалів / [Куценко В.П., Скрипник Ю.О., Трегубов М.Ф., Шевченко К.Л., Яненко О.П.]. – Донецьк : ИПШ «Наука і освіта», 2012. – 348 с.
3. Куценко В.П. Періодичне порівняння сигналів в НВЧ-радіометрії / Куценко В.П. – Донецьк : ИПШ «Наука і освіта», 2012. – 300 с.
4. Куценко В.П. Математическая модель двойного волноводного тройника в условиях низкоинтенсивных сигналов / В.П. Куценко // Штучний інтелект. – 2010. – № 3. — С. 590-598.
5. Куценко В.П. Аналіз підходів до розрахунків вхідних елементів НЗВЧ-радіометрів, як основних джерел похибок вимірювання низькоінтенсивних сигналів / В.П. Куценко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Вип. 20 (182). – Донецьк : ДонНТУ, 2012. – С. 199-205.
6. Куценко В.П. Оптимізація параметрів вхідних вузлів НЗВЧ-радарних систем в умовах низькоінтенсивних сигналів / [Куценко В.П., Сергиєнко С.П., Трегубов М.Ф., Сидоренко В.А.] // Штучний інтелект. – 2012. – № 4. – С.489-498.
7. Куценко В.П. Розрахунки оптимальних параметрів спрямованого хвилевідного відгалужувача і похибок перетворення низькоінтенсивних НЗВЧ-сигналів / В.П. Куценко, С.П. Сергиєнко // Штучний інтелект. – 2013. – № 1. – С.163-181.

Literatura

1. Kutsenko V.P. Methods and facilities of super-high-frequency radiometry / Kutsenko V.P., Skripnik Yu.A., Tregubov N.F., Shevchenko K.L., Yanenko A.F. is Donetsk: IPSHI «Science and education», 2011. – 324 p.
2. Kutsenko V.P. Rad_ometriczny over high-frequency control of properties of materials/ Kutsenko V.P., Skripnik Yu.O. Tregubov M. F. Shevchenko K.L. Yanenko O.P.– Donetsk: ИПШ «Science and education», 2012. – 348 p.
3. Kutsenko V.P. Periodic comparison of signals in over high-frequency Radiometry / Kutsenko V.P. – Donetsk: ИПШ «Science and education», 2012. – 300 p.
4. Kutsenko V.P. Mathematical model of a double waveguide tee in the conditions of low intensive signals / Kutsenko V.P. // the Scientific-theoretical magazine «Artificial intelligence». – Release 3/2010. – Donetsk : Institute of problems of artificial intelligence of MON and NAN of Ukraine, 2010. – P. 590-598.
5. Kutsenko V.P. Analysis of going near the calculations of entrance elements of radiometers, as basic sources of errors of measuring of the low intensive signals of // Scientific labours of the Donetsk national technical university. are Series the «Computing engineering and automation». – Vip. 20 (182) it is Donetsk. DonNTU, 2012. – P. 199-205.
6. Kutsenko V.P. Optimization of parameters of entrance knots of OHF-radio of the systems in the conditions of low intensive signals / Kutsenko V.P., Sergiyenko S.P., Tregubov N.F., Sidorenko V.A. // the Theoretical magazine «Artificial intelligence» is Producing. 4/2012. it is Donetsk. Institute of problems of artificial intelligence METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR and NAN of Ukraine, 2012. – C. 489-498.
7. Kutsenko V.P. Calculations of optimum parameters of the directed waveguide otvetvitel and errors of transformation low intensive over high-frequency signals / V.P. Kutsenko, S.P. Sergiyenko // the Scientific-theoretical magazine «Artificial intelligence». – Release 1/2013. – Donetsk : Institute of problems of artificial intelligence of MON and NAN of Ukraine, 2013. – P. 163-181.

*RESUME**V.P. Kutsenko**Research of Dependences of the Generalized Complex Sizes of a Double Waveguide Tee From Operating Modes Over High-frequency Chains of the Radiometric Device of Control*

On the basis of the carried-out mathematical modeling of entrance part of the radiometric device of control with a double waveguide tee computer calculations of entered its generalized complex sizes are executed, at a deviation of parameters over high-frequency chains from optimum values.

According to results of calculations of the generalized complex sizes over high-frequency chains from operating modes their relative errors which are created at possible deviations from optimum values of length of a wave of the signal, all phases and modules of complex coefficients of reflection of the antenna and an antenna equivalent, and also a phase and the module of an element of communication of a matrix of dispersion of S_{12} of a double waveguide tee are analysed. Schedules are calculated and constructed.

It is shown that a deviation of the generalized complex sizes of a double waveguide tee from calculated optimum values at change of length of a wave of an entrance signal from 2 to 8 mm hesitate from 0,88 to 9,14%.

The received values of the generalized complex sizes of a double waveguide tee at change of all phases of coefficients of reflection of the reception antenna, an equivalent of the antenna, entrances of mixers within $\pm 10\%$ from optimum values show their practical tolerance to these changes.

At change of all phases of elements of communication of a matrix of dispersion of a double waveguide tee from optimum sizes of a deviation of values of the generalized complex sizes have linear dependence which reaches 4,9%, and at change of the module of an element of a matrix of dispersion of S_{12} in the same borders – to 0,26%.

It is established that big deviations of the generalized complex sizes of a double waveguide tee are observed at change of modules of complex coefficients of reflection from an equivalent of the antenna than from the antenna.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2013.