

Анализ характеристик материалов в диапазоне метровых волн резонансным методом

Д.А. Веденькин, Р.Р. Хабибуллин, Е.В. Васильев

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ*

Аннотация: В статье рассматривается способ анализа характеристик материалов, с возможностью более точного измерения типовыми измерительными приборами. Рассмотрены смоделированные компьютерные модели тройников, с разным типом распространения волны. Также говорится о конструкции созданных моделей и приведен анализ полученных результатов по исследованию характеристик материалов, с возможностью более точного измерения типовыми измерительными приборами.

Ключевые слова: СВЧ, диапазон метровых волн, диапазон сантиметровых волн, волноводный тройник, коаксиальный тройник, резонансный метод.

На данный момент существует множество методов оценки коэффициентов передачи и отражения материалов, таких как разностный метод, трактовый метод и др, каждый из которых имеет свои достоинства, недостатки и присущие ему ограничения. При разработке или модернизации методов стараются избавиться от их очевидных недостатков в измерении технических параметров веществ и устройств, а также сделать метод более доступным в материальном плане.

Цель работы состоит в улучшении методов оценки коэффициентов передачи и отражения материалов для более быстрого и легкого получения информации о материале, параметры которого могут быть критическими при проектировании во многих приложениях радиотехники.

Резонансный метод оценки параметров основан на четвертьволновом короткозамкнутом волноводном шлейфе – E-тройник, который накрывается сверху измеряемым материалом.

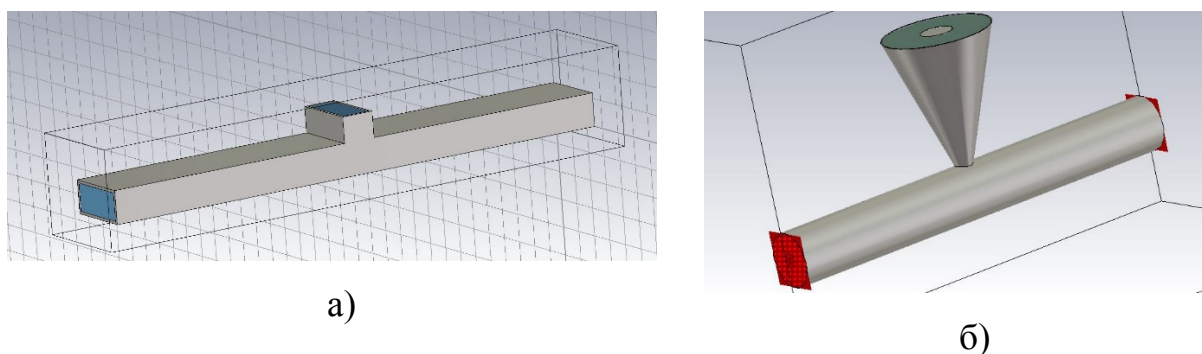


Рис. 1 – Волноводные тройники на линиях передач: а) волноводный E – тройник, б) коаксиальный тройник

Волноводный E – тройник (рис. 1а) эквивалентен с последовательным подключением параллельного колебательного контура с комплексным сопротивлением $Z_0 = \infty$. [1-4] Из-за бесконечно высокого комплексного сопротивления на этой частоте отсутствует сигнал на выходе устройства. В волноводной же линии размер ответвителя выбирается равным $\lambda_v/4$, для того что бы волна прошла путь равный двум $\lambda_v/4$ и вернувшись в основной волновод сложилась с основной волной в противофазе, вследствие чего на выходе волновода наблюдается отсутствие сигнала на резонансной частоте в идеальном случае и сильное ослабление сигнала в реальных измерениях. [5-7]

Коэффициент отражения и передачи волноводного E – тройника, настроенного на частоту 12 ГГц, путем подбора высоты четвертьволнового шлейфа равным $\lambda_v/4$, представлен на рис. 2а.

Для измерения характеристик материалов на более низких частотах можно использовать тот же резонансный метод, применимо к такой волнонесущей структуре как коаксиальная линия. Коаксиальный тройник (рис. 1б) работает по тем же принципам, что и волноводный тройник. [8-10]

Коэффициенты отражения и передачи коаксиального тройника, настроенного на частоту 0.3 ГГц, путем подбора высоты четвертьволнового шлейфа равным $\lambda_v/4$, представлен на рис. 2б.

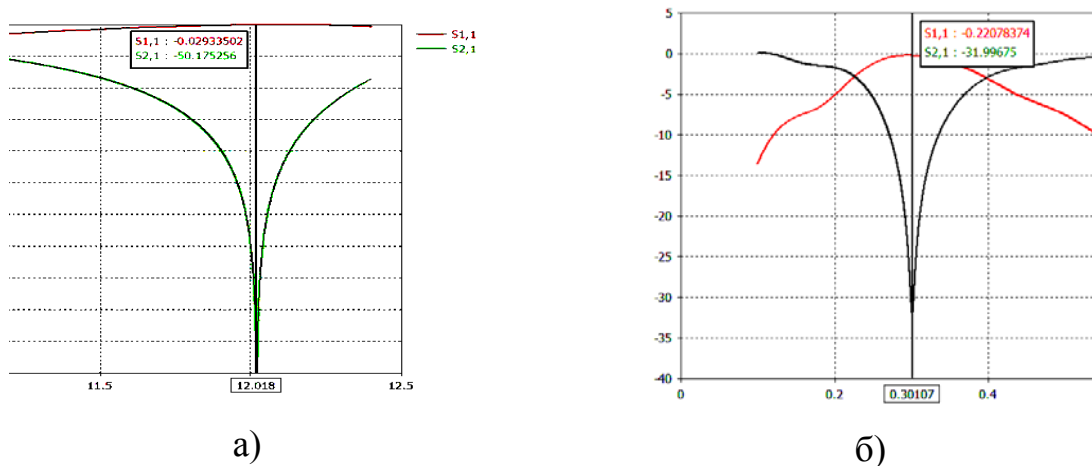


Рис. 2 – Графики S – параметров: а) на волноводном тройнике, настроенным на резонансную частоту 12 ГГц, б) на коаксиальном тройнике, настроенном на резонансную частоту 0.3 ГГц

По результатам проведенного моделирования коэффициенты передачи, для ряда материалов толщиной $k=1$ мм и разной удельной проводимостью, а также отклонение резонансной частоты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты измерений на частоте 12 ГГц и 300 МГц

Удельная проводимость, См/м	Сантиметровый диапазон волн		Метровый диапазон волн	
	$S_{2,1}$, дБ	F, ГГц	$S_{2,1}$, дБ	F, МГц
$5 \cdot 10^8$	-37.1341	12.011	-36.397	64,216
Медь $5.96 \cdot 10^7$	-37.0340	12.011	-36.372	64,216
Алюминий $3.56 \cdot 10^7$	-36.9895	12.011	-36.361	64,216
Хром $8 \cdot 10^6$	-36.7774	12.011	-36.305	64,216
$5 \cdot 10^5$	-35.6579	12.009	-36.007	64,211
$5 \cdot 10^4$	-33.0832	12.003	-35.175	64,2
$5 \cdot 10^3$	-28.0508	11.986	-33.059	64,163
$5 \cdot 10^2$	-20.9776	11.929	-27.295	64,11

По результатам измерений видно, что при уменьшении удельной проводимости металлов коэффициент передачи увеличивается. А сдвиг

резонансной частоты на измерениях, проводимых на метровых длинах волн уменьшается, в отличии измерений на сантиметровых длинах волн, где отклонение резонансной частоты тем больше, чем меньше удельная проводимость материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Литература

1. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Казань, 2008. Т. 11. № 4. pp. 40-46.
2. Гридинарь, И.М. Электродинамические свойства метаматериалов, созданных упорядоченными тонкопроволочными токопроводящими частицами. Автореф. дис. к.ф.-м.н. / И. М. Градинарь – Самара, 2012. – 18 с.
3. Веденькин Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Казань, 2007. Т. 10. № 5. с. 36.
4. Armaut, L. R., Adaptive Control and Optimization of Electromagnetic adiation, Attenuation and Scattering Using Self-Adaptive Material Systems. // IEEE Trans. on Antennas and Propag. 2003. V. 51. № 7. pp.1530 – 1548.
5. Astrakhan M.I., Fersman G.A. Two-Frequency Grid Structure with Resonant Slots. Journal of Communications Technology and Electronics. 1994. № 39. pp. 17 – 28.
6. McSpadden, J.O., Yoo, T., Kai Chang. Theoretical and experimental investigation of a rectenna element for microwave power transmission // IEEE Microwave Theory and Techniques/ - 1992. – Vol.40, № 12. – pp. 2359-2366.

7. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток. // Наука и бизнес: пути развития. Казань, 2013. № 10 (28). с. 56-59.

8. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики. // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. с. 64-68.

9. Шурховецкий А.Н. Многоканальная частотно-избирательная система СВЧ диапазона на основе направленных фильтров бегущей волны // Инженерный вестник Дона. 2010. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292

10. Мирошниченко А.Ю., Царев В.А., Губанов В.А., Акафьева Н.А. Моделирование электродинамических параметров многомодового двухззорного резонатора для миниатюрных многолучевых приборов клистронного типа // Инженерный вестник Дона. 2013. №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1902

References

1. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Yu.E. Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy. Kazan', 2008. Т. 11. № 4. pp. 40-46.

2. Gridinar', I.M. Elektrodinamicheskiye svoystva metamaterialov, sozdannykh uporyadochenmi tonkoprovolochnymi tokoprovodyashchimi chastitsami [Electrodynamic properties of metamaterials created by ordered fine-gauge conductive particles]. avtoref. dis. k.f.-m.n. I. M. Gradinar.' Samara, 2012. 18 p.

3. Veden'kin D.A. Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy. Kazan', 2007. Т. 10. № 5. p. 36.

4. Armaut, L. R., Adaptive Control and Optimization of Electromagnetic adiation, Attenuation and Scattering Using Self-Adaptive Material Systems. // IEEE Trans. on Antennas and Propag. 2003. V. 51. № 7. pp.1530 – 1548.



5. Astrakhan M.I., Fersman G.A. Two-Frequency Grid Structure with Resonant Slots. Journal of Communications Technology and Electronics. 1994. № 39. pp. 17 – 28.
6. McSpadden, J.O., Yoo, T., Kai Chang. Theoretical and experimental investigation of a rectenna element for microwave power transmission. IEEE Microwave Theory and Techniques. 1992. Vol.40, № 12. pp. 2359-2366.
7. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Yu.E. Nauka i biznes: puti razvitiya. Kazan', 2013. № 10 (28). pp. 56-59.
8. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Yu.E., Potapova O.V. Nelineynyy mir. 2014. T. 12. № 10. pp. 64-68.
9. Shurkhovetskiy A.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2010. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.
10. Miroshnichenko A.Yu., Tsarev V.A., Gubanov V.A., Akaf'eva N.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1902.