

КОАКСИАЛЬНЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ МЕРЫ

Андронов Е. В., Гошин Г. Г., Семибратов В. П., Фатеев А. В., Щуров В. В.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
пр. Ленина, 40, г. Томск, 634050, Россия
тел.: +7-3822-701518, e-mail: goshingg@svch.tusur.ru
Научно-производственная фирма «Микран»
ул. Вершинина, 47, г. Томск, 634034, Россия
тел.: +7-3822-900040, e-mail: andronov@micran.ru

Аннотация — Проведена разработка коаксиальных нагрузок холостого хода, короткого замыкания и согласованной, используемых в качестве калибровочных мер в измерительной технике.

I. Введение

Коаксиальные нагрузки холостого хода (ХХ), короткого замыкания (КЗ) и согласованные широко применяются как меры полного отражения и согласования для векторного анализатора цепей (ВАЦ). Так как нагрузки применяются в измерительной технике, электрические характеристики таких мер должны отвечать жёстким требованиям по коэффициенту отражения (КО) Γ . Для нагрузок ХХ и КЗ имеем $|\Gamma|=1$ с разностью фаз между ними 180° ; для согласованной нагрузки $|\Gamma|=0$. Но на практике такие значения в широкой полосе частот не достижимы, поэтому для согласованной нагрузки критерием являются значения $|\Gamma| \leq 0,047$ (КСВ $\leq 1,1$) во всём рабочем диапазоне. Для нагрузок ХХ и КЗ таким критерием является разность фаз между коэффициентами отражения в 180° с неопределённостью не более 10° . Эти значения параметров являются достаточным для однопортовых и двухпортовых калибровок ВАЦ.

Цель работы заключалась в создании для коаксиального тракта сечением 2,4/1,042 мм нагрузок ХХ, КЗ, согласованной и оптимизации их параметров в диапазоне частот от 0 до 50 ГГц.

II. Основная часть

Нагрузка КЗ представляет собой замкнутый на корпус отрезок воздушной коаксиальной линии (рис. 1).

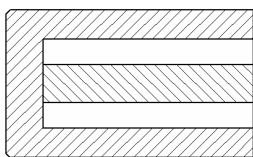


Рис. 1. Продольное сечение нагрузки КЗ.

Fig. 1. The longitudinal section of a short circuit coaxial load

Фаза КО нагрузки зависит от расстояния между опорной плоскостью и задней стенкой корпуса. Если дополнительными потерями на отрезке линии длиной b пренебречь, то модуль КО не изменится. Комплексный КО находится по формуле [1]

$$\Gamma = \frac{j2\pi f L(f) - Z_0}{j2\pi f L(f) + Z_0} e^{-j4\pi b / \lambda},$$

где L — паразитная индуктивность, Z_0 — волновое сопротивление линии, f — частота.

Нагрузка ХХ представляет собой разомкнутый отрезок воздушной коаксиальной линии с диэлектрической опорой (рис. 2). Чтобы исключить излучение при реализации нагрузки используют замкнутую конструкцию корпуса.

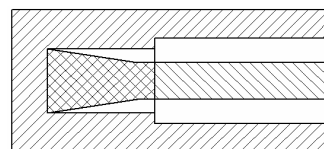


Рис. 2. Продольное сечение нагрузки ХХ.

Fig. 2. The longitudinal section of an open circuit

Комплексный КО находится по формуле [1]

$$\Gamma = \frac{1 - j2\pi f Z_0 C(f)}{1 + j2\pi f Z_0 C(f)} e^{-j4\pi b / \lambda},$$

где C — краевая ёмкость.

Для достижения во всём частотном диапазоне требуемой разности фаз была проведена оптимизация формы и геометрических параметров согласованной диэлектрической опоры. Для минимизации неопределённости разности фаз, зависящей от краевой ёмкости, был уменьшен внутренний диаметр корпуса нагрузки. Частотная зависимость разности фаз нагрузок ХХ и КЗ приведена на рис. 3.

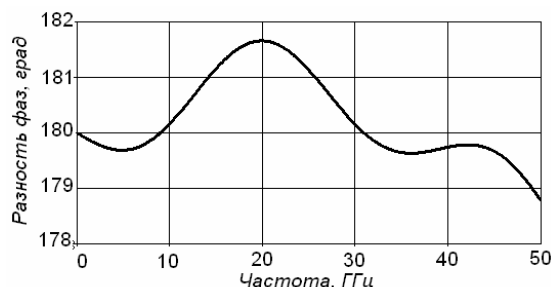
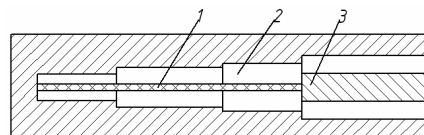


Рис. 3. Частотная зависимость разности фаз нагрузок ХХ и КЗ.

Fig. 3. Phase difference frequency dependence of open and short circuit coaxial loads

Согласованная нагрузка, представляет собой отрезок нерегулярной (ступенчатой) воздушной коаксиальной линии, в которой центральный проводник подключён к резистору, выполненному в виде резистивного поверхностного слоя на диэлектрической подложке (рис. 4).



1 — диэлектрическая подложка с напылённым резистором; 2 — воздух; 3 — коаксиальный тракт

Рис. 4. Продольное сечение согласованной нагрузки.

Fig. 4. The longitudinal section of a matched load

В результате расчета параметров ступени и параметров резистивного слоя была получена модель многоступенчатой нагрузки [2], частотная характеристика которой приведена на рис. 5.

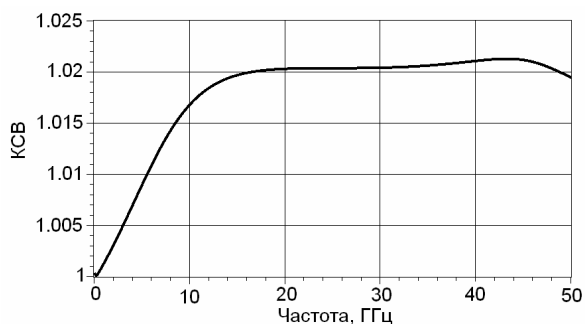


Рис. 5. Зависимость КСВ от частоты для многоступенчатой нагрузки.

Fig. 5. Dependence of VSWR vs. frequency for multistep load

III. Заключение

В докладе приведены результаты разработок коаксиальных нагрузок холостого хода, короткого замыкания и согласованной, которые используются в измерительной технике в качестве калибровочных мер. Достигнутые параметры нагрузок, как следует из частотных зависимостей, приведённых на рисунках 3 и 5, оказались лучше допустимых при калибровке ВАЦ.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 13.G25.31.0011 от 07.09.2010г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

IV. Список литературы

- [1] Гибель М. Основы векторного анализа цепей /Пер. с англ. С. М. Смольского; под ред. У. Филипп. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 500 с.
- [2] Михеев Ф. А., Щуров В. В., Фатеев А. В. Моделирование согласованных нагрузок для коаксиальных трактов // Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2010»: материалы конф. (Томск, 2010). Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. Ч. 4. С. 73—75.

COAXIAL CALIBRATION METRICS

Andronov E. V., Goshin G. G.,
Semibratov V. P., Fateyev A. V., Schurov V. V.
Tomsk State University of Control Systems and
Radioelectronics
40, Lenina str., Tomsk, 634050, Russia
Ph.: +7-3822-701518,
e-mail: GoshinGG@svch.tusur.ru
Research & Production Company "MICRAN"
47, Vershinina str., Tomsk, 634034, Russia,
Ph.: +7-3822-900040, e-mail: andronov@micran.ru

Abstract — Coaxial standard devices of open-circuit, short-circuit and matched load were developed. Such devices are used in calibration kit of the measurement technology.

I. Introduction

Coaxial standard devices of *open-, short-circuits and matched load* are in wide use in calibration kit of a Vector Network Analyzer (VNA). The electrical parameters of such devices have to satisfy strict requirements of a reflection coefficient (Γ). *Open- and short-circuits* have to have a phase shift of 180° and $|\Gamma|=1$, for a *matched load* $|\Gamma|$ equal to 0. But in practice such values are not achievable in a wide band, thereby the criteria for a matched load is the values of $|\Gamma| \leq 0.047$ ($VSWR \leq 1.1$) for a whole band. For *open- and short-circuits* the criteria is the phase shift between the reflection coefficients at $180 \pm 10^\circ$. These values are sufficient for 1-port and 2-port of VNA calibration.

The development and parameters optimizations of the *open-, short-circuits and matched loads* for the coaxial section of 2.4 / 1.042 mm in the frequency range from 0 to 50 GHz was the purpose of this work.

II. Main Part

Short-circuit load is closed to the body segment of the air coaxial line (Fig. 1). The phase of a reflection coefficient depends on the distance between the reference plane and the rear side of the body. If additional losses are negligible in the line of length b , then the module of a reflection coefficient does not change.

Open-circuit load represents the open segment of the air coaxial line with a dielectric support (Fig. 2). To eliminate the radiation in usage process of the load the closed hull design is used.

To achieve a required phase difference in a whole frequency range we optimized the shape and geometric parameters of the dielectric support. To minimize the uncertainty of the phase difference that depends on the regional capacity we reduce inner diameter of the shell loads. The frequency dependence of the phase shift between open and short circuits is shown in Fig. 3.

Matched load is an irregular stepped section of the air coaxial line in which the central conductor is connected to a resistor that is a resistive surface layer on a dielectric substrate (Fig. 4).

Calculated parameters of steps and the resistive layer were obtained by multistep model of the matched load [2], the frequency response is shown in Fig. 5.

III. Conclusion

The report presents the results of the development of coaxial open and short circuits and matched loads. The achieved parameters (the frequency dependences), that shown in figures 3 and 5 were better than acceptable during the calibrating process of VNA.