

Устройство для регулировки коэффициента стоячей волны по напряжению в СВЧ-аттенюаторах

С.Н. Григорьев

Рассматриваются основные свойства, принципы работы и область технического применения устройства для регулировки коэффициента стоячей волны по напряжению в СВЧ-аттенюаторах. Разработан новый способ регулировки и измерений коэффициента стоячей волны по напряжению СВЧ.

Введение

Развитие радиоизмерительной СВЧ-индустрии, повышение качественных показателей разрабатываемых устройств, сокращение сроков разработки электронных изделий требуют создания точных и высокопроизводительных средств измерений. В настоящее время точность существующих согласованных резисторных СВЧ-аттенюаторов повышенной мощности во многом достигается за счет использования дорогих высококачественных СВЧ-узлов.

На протяжении длительного времени проблеме упрощения СВЧ-тракта согласованных измерителей больших мощностей уделяется пристальное внимание. Разработанные способы калибровки СВЧ-тракта, направленные на повышение точности измерений, при смягчении требований к качеству узлов для согласования и измерения повышенной СВЧ-мощности в настоящее время уже не устраивают потребителей и рынок спроса на сами приборы.

1. Назначение и описание устройства

Устройство [1] относится к области радиоизмерительной СВЧ-техники и предназначено для плавной ручной регулировки коэффициента стоячей волны по напряжению ($K_{СВЧ}$) в секционных, пленочных, резистивных СВЧ-аттенюаторах, делителях напряжения в режиме «реальной» нагрузки применительно к ваттметрам поглощаемой мощности (например, типа МЗ-104, МЗ-105, МЗ-106 и МЗ-108 как средствам измерения двойного назначения).

С.Н. Григорьев

г. Нижний Новгород, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ)

Рассматриваемое устройство, согласно рис. 1, состоит из двух соосно расположенных деталей, каждая из которых включает следующий ряд компонентов.

I. Металлическая деталь (изготовлена на основе однородного металла как монолитная структура): фаска (1), шлиц (2), шток (3), нижний торец (4) штока (3), направляющий цилиндрический штырь (5), отражающий электромагнитные волны диск (6), резьба метрическая (7) (под резьбовое отверстие в корпусе СВЧ-тракта).

II. Неметаллическая деталь: поглощающий электромагнитные волны диск (8) и цилиндрическое отверстие (9) в диске (8).

СВЧ-аттенюатор, представленный на рис. 2, куда вмонтировано созданное устройство (10), представлен следующими деталями: R1...R4 - пакеты подложек с нанесенными резистивными пленками, установленные в соответственно 1...4 секциях, верхняя крышка радиатора (11), корпус (12), нижняя крышка радиатора (13), ферритовые кольца (14), керамическая пластина 22ХС (15), керамическая пластина поликор - 98 % Al_2O_3 (16).

2. Принцип функционирования устройства

В основу заявляемого устройства заложен принцип плавного (непрерывного) изменения эквивалентной электроемкости - C_3 между плоскостью с нанесенными на подложку резистивными пленками и верхней внутренней гранью волновода, которое, в свою очередь, приводит к изменению волнового сопротивления СВЧ-тракта Z_0 и $|\Gamma|$ - коэффициента отражения волны в аттенюаторе, следовательно, изменяется и $K_{СВЧ}$ [2].

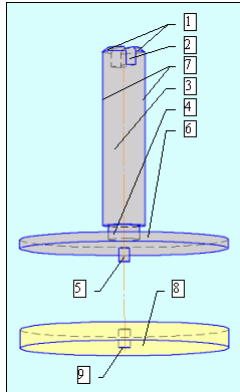


Рис. 1. Устройство для регулировки коэффициента стоячей волны по напряжению в СВЧ-аттенуаторах

При этом отраженные пространственные волны, распространяющиеся вне плоскости резистивной пленки [3–6], начинают взаимодействовать с соединенными отражающим и поглощающим дисками устройства, частично поглотившись, отражаются ими обратно в сторону резистивной пленки. Отраженная от устройства волна многократно отражается от внутренних боковых стенок корпуса волновода и под малым углом падает на плоскость резистивной пленки, начиная взаимодействовать с лежащими в плоскости резистивной пленки падающей и отраженной волнами [3–8].

Согласно рис. 1 и 2, вращательное движение штока (3) по резьбе в отверстии алюминиевого пресованного профиля – радиатора (11) и (13) позволяет соединенным отражательному (6) и поглотительному (8) дискам возвратно-поступательно двигаться в вертикальной плоскости параллельно платам R1...R4 с напыленными на них резисторами. При этом изменяется расстояние между поверхностью резистивной пленки и соединенными поглощающим и отражающим дисками, а значит, изменяются эквивалентная емкость $C_э$ и КСВ_У. Изменением высоты положения соединенных поглощающего и отражающего дисков над резистивной пленкой добиваются одновременного изменения эквивалентной емкости $C_э$ и максимального поглощения поглощающим диском пространственных отраженных волн.

Диаметры отражательного металлического (6) и поглощательного неметаллического (8) дисков выбираются из расчета максимального перекрытия площади напыленных резисторных пленок с центром, проекция которого лежит на оси симметрии конструкции.

При использовании только резьбовых ферро-

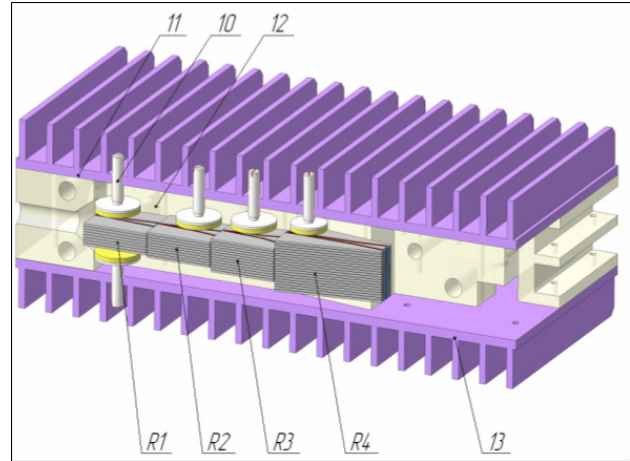


Рис. 2. Динамичный ручной (плавный) способ регулировки КСВ_У в 4-секционном, согласованном, резистивном СВЧ-аттенуаторе, использующийся в ваттметре поглощаемой мощности МЗ-105, при $P_{ном} = 500$ [Вт] и $f_{max} = 1,6$ [ГГц]

эпоксидных штырей или вертикальных нихромовых ножей (экспериментальные данные дают соответственно снижение на 0,5...0,8% и 1%) не удастся существенно понизить КСВ_У в СВЧ-тракте аттенуатора.

Для обеспечения требований по КСВ_У [9] необходимо подчеркнуть, что величина КСВ_У зависит от точности выполнения сопротивлений, качества изготовления и свойств многочисленных контактов между подложками в каждом пакете и между пакетами, а также между оконечными платами и основанием корпуса.

3. Экспериментальные результаты

Измерения КСВ_У в СВЧ тракте производились со следующими данными:

1) предельно допустимая частота колебаний падающей волны $f_{max} = 1600$ [МГц];

2) модуль коэффициента отражения падающей волны (в результате измерений)

$$\left| \frac{E_z \min}{E_z \max} \right| = \left| \frac{U_{\min}}{U_{\max}} \right| \cong \left| \frac{-0,045}{1} \cdot \frac{225 [В]}{225 [В]} \right| \cong \cong 0,045 < 1,000;$$

3) коэффициент стоячей волны по напряжению

$$1,000 < КСВ_U = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \approx \frac{1,045}{0,955} \approx 1,094 < 1,150.$$

В процессе проведения многочисленных опытов по замеру КСВ_У в СВЧ-аттенуаторе ваттметра типа МЗ-105 панорамными измерителями Р4 – 37 и Р4 – 38 (а также РК2 – 47 и Р2 – 52/4) был отмечен ряд особенностей.

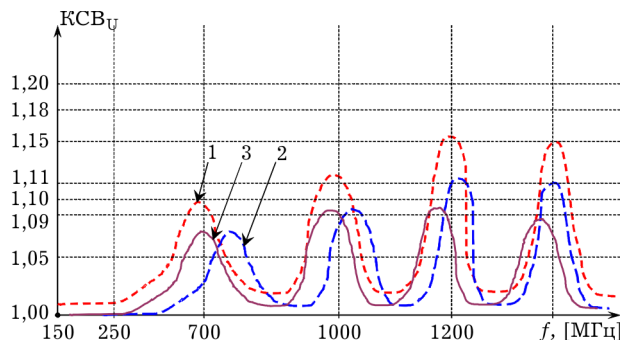


Рис. 3. Измерения $КСВ_U$ СВЧ-аттенюатора ваттметра МЗ-105 панорамными измерителями: Р4 - 37 (1... 1250 [МГц]) и Р4 - 38 (1250...1600 [МГц]): 1 - без применения устройства для регулировки $КСВ_U$; 2 - с применением устройства для регулировки $КСВ_U$ в кол. 3 шт.; 3 - с применением устройства для регулировки $КСВ_U$ в кол. 5 шт.

1. Зависимость числа максимумов $КСВ_{U_{max}}$ от количества пакетов (см. рис. 3.) с резистивными платами на основе диэлектрических теплоотводящих подложек, т. е. от числа возможных неоднородностей на стыках между самими пакетами. Например, СВЧ-аттенюатор ваттметра типа МЗ-105 состоит (см. рис. 2) из четырех пакетов. На мониторе панорамного измерителя наглядно видно наличие такого же количества локальных максимумов $КСВ_{U_{max}}$ - первый соответствует на частоте $f_{1max} = 700$ [МГц], следующий второй - на $f_{2max} = 1000$ [МГц], третий - на $f_{3max} = 1200$ [МГц] и четвертый - на $f_{4max} = 1600$ [МГц]. СВЧ-аттенюатор ваттметра типа МЗ-104 состоит из одного пакета, следовательно, у него один максимум $КСВ_{U_{max}}$, напротив, СВЧ-аттенюатор ваттметра типа МЗ-106 состоит из шести пакетов, в силу чего имеет шесть локальных максимумов $КСВ_{U_{max}}$.

2. Величина $КСВ_U$ в СВЧ-аттенюаторе сильно зависит от количества регулировочных винтов с отражающими и поглощающими электромагнитные волны дисками. Так, на примере СВЧ-аттенюатора ваттметра МЗ-105 видна характерная зависимость: при отсутствии устройства (поз. 1 на рис. 3) значение $КСВ_{U_{max}} \approx 1,16 \geq 1,15$. При наличии устройства для регулировки $КСВ_U$ (регулировочных винтов) в количестве 3 шт. (поз. 2 на рис. 3) достигается снижение $КСВ_{U_{max}} \approx 1,12 < 1,15$. Наконец, при наличии устройства для регулировки $КСВ_U$ в количестве 5 шт. (поз. 3 на рис. 3) обнаруживается, что $КСВ_{U_{max}} \approx 1,095 < 1,15$. При точном подборе количества устройства для регулировки $КСВ_U$, учитывающего оптимальную площадь покрытия резистивных пленок диаметрами дисков и нерезонансные точки монтажа, мож-

но добиться стабильных результатов замеров $КСВ_{U_{max}} \approx 1,05...1,10 < 1,15$. Значит, регулировочные винты с отражающими (металлическими) и поглощающими (неметаллическими) дисками уменьшают максимальные значения локальных максимумов - $КСВ_{U_{max}}$ до своих предельно-минимальных значений - $КСВ_{U_{lim min}}$, добиваясь в идеале гладкой, мелко пульсирующей формы характеристики $КСВ_U$, и в конечном итоге также существенного снижения неравномерности АЧХ выходного сигнала в СВЧ-тракте аттенюатора.

Экспериментальные графические данные, полученные в ходе проведения измерений $КСВ_U$ СВЧ-тракта аттенюаторов, у ваттметров МЗ-105 ($P_{ном} = 500$ [Вт], $f_{max} = 1600$ [МГц]) и МЗ-106 ($P_{ном} = 1500$ [Вт], $f_{max} = 1200$ [МГц]) панорамными измерителями Р4 - 37 и Р4 - 38 выявили характерную нелинейную зависимость мощности отраженной волны от $КСВ_U - P_{отр} = P_{отр}(КСВ_U)$ наглядно представленной на рис. 8. Основной причиной выявленной нелинейной зависимости мощности отраженной волны от $КСВ_U$ является то, что каждый из контактов между пакетами с резистивными платами представляет собой неоднородность в СВЧ-тракте, создающая в этих зонах частичные отражения волны и существенно ухудшающая согласование входа и выхода аттенюатора [2-8].

В результате контрольных испытаний внедренной конструкции устройства [1] для СВЧ-аттенюаторов в режиме «реальной» нагрузки были получены хорошие результаты.

1. Для ваттметра МЗ-104 при $P_{ном} = 100$ [Вт], 50 [Гц] $\leq f \leq 1600$ [МГц], $КСВ_U = 1,05...1,07 < 1,10$;
2. Для ваттметра МЗ-105 при $P_{ном} = 500$ [Вт], 50 [Гц] $\leq f \leq 1600$ [МГц], $КСВ_U = 1,07...1,10 < 1,15$;
3. Для ваттметра МЗ-106 при $P_{ном} = 1500$ [Вт], 50 [Гц] $\leq f \leq 1200$ [МГц], $КСВ_U = 1,10...1,12 < 1,15$.

Заключение

Анализ разработанного устройства для регулировки $КСВ_U$ [1] показал наличие ряда существенных особенностей и положительных качеств.

1. Возможность регулировки и измерения $КСВ_U$ в СВЧ-приборах в режиме «реального» сигнала до максимального значения граничной частоты и номинальной мощности.

2. Осуществлена возможность непрерывного режима регулировки $K_{СВУ}$ динамическим способом, в отличие от прежнего стационарного, производимого в дискретном режиме.

3. Простота конструкции, технологичность изготовления и эргономичность устройства позволяют обслуживающему персоналу оперативно и безопасно выполнять измерения.

4. В СВЧ-аттенуаторах ваттметров типа МЗ-104, МЗ-105 и МЗ-106 опытом выявлено наличие прямой зависимости числа максимумов $K_{СВУ_{max}}$ от количества пакетов с резистивными платами на основе диэлектрических теплоотводящих подложек.

5. Экспериментально подтверждено, что величина $K_{СВУ_{max}}$ в СВЧ-аттенуаторе ваттметров типа МЗ-104, МЗ-105 и МЗ-106 сильно зависит от количества регулировочных винтов с отражающими и поглощающими электромагнитные волны дисками.

Литература

1. Григорьев С.Н. Патент РФ № 2346362 на изобретение «Устройство для регулировки коэффициента стоячей волны по напряжению в СВЧ-приборах», приоритет с 25.06.2007. М.: Бюллетень ФИПС РФ № 4 от 10.02.2009.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988. С. 11-196.
3. Шутенко М.С. Элементы волноводных трактов // Радиолокационная техника. 1972. С. 5-48, 79-105, 109-131.
4. Изюмова Т.И., Свиридов В.Т. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии // Серия «Массовая радиобиблиотека». 1975. Вып. 876. С. 4-110.
5. Меркулов В.В., Синева И.С. О многократных отражениях в неоднородной линии передачи // Журн. радиоэлектроники. 2000. № 5.
6. Гордон П.В. Распространение и взаимодействие локализованных мод в нелинейных диссипативных средах: диссертация к. ф.-м. н.: 05.13.16. СПб: 1999.
7. Сычев А.Н. Приближенный аналитический метод для анализа многопроводных связанных экранированных МПЛ на слоистой подложке // Журн. радиоэлектроники. № 8. 2001.
8. Семенов В.С., Дыбовский В.Г., Неведомский А.В. Электромагнитное поле линейного переменного тока в плоскостной среде // Журн. радиоэлектроники. 2000. № 6.
9. Асташов О.К., Балло В.Л., Копытин Е.В. Ваттметр поглощаемой мощности МЗ-104, МЗ-105, МЗ-106 ИЛГШ.411151.001 ТУ. Нижний Новгород: «Фрунзенец» ФГУП «Нижегородский завод им. М.В.Фрунзе», 2004. С. 12-20.

The device for adjustment of factor of a standing wave on a voltage in the microwave attenuators

S.N. Grigoryev

Paper considers the basic properties, principles of work and area of technical application of useful model - devices for adjustment of factor of voltage standing wave on in the microwave attenuators. Result of paper became development of a dynamical, continuous way of adjustment and measurements of factor of voltage standing wave on of the microwave devices, as against a former stationary, discrete way, not satisfied to modern requirements of designing of the microwave technics and the market of demand.

Григорьев Сергей Николаевич, соискатель кафедры «Радиотехника» Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (ННГУ)