

И.А.ПОСТЕЛЬНИК, инженер НТУ «ХПИ»

ИЗМЕРЕНИЕ S-ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО СВЧ ТРАКТА НА ПРИНЦИПЕ ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Описаны характерные особенности метода исследования СВЧ цепей с помощью S-параметров. Приведены примеры измерения и определения характера цепи на основе импульсной рефлектометрии. С помощью измерителя неоднородностей линий проведен анализ входной цепи волоконно-оптического СВЧ тракта на базе передатчика/приемника AFBR-1310Z/AFBR-2310. Определена частотная зависимость коэффициента передачи тракта.

Ключевые слова: СВЧ, волоконно-оптический тракт, S-параметры, импульсная рефлектометрия, коэффициент передачи.

1. Введение

Для проведения испытаний соответствия уровня устойчивости бортового оборудования (БО) летательных аппаратов к действию высоко интенсивных радиочастотных электромагнитных полей (HIRF) зачастую необходимо экспериментально определить уровень экранирующих свойств корпуса БО. Высокая достоверность измерения экранирующих свойств обеспечивается с использованием оптических линий передачи информации. Экранирующие свойства корпуса БО минимальны в диапазоне его основных резонансных частот, которые лежат в диапазоне от 300 МГц до 3000 МГц. Создание достаточно чувствительного датчика электрического поля с оптической линией передачи информации является важной практической задачей, поставленной в рамках подготовки нашей испытательной лаборатории к аккредитации.

Проектирование модели СВЧ приборов, как правило, затруднено из-за отсутствия всей необходимой информации о параметрах комплектующих изделий. Существует несколько путей преодоления указанных трудностей. Один из них заключается в полном отказе от физических (структурных) моделей и описании СВЧ приборов на основании их внешних характеристик как четырехполюсников. Такие бесструктурные модели являются достаточно точными, в частности, потому, что они получены непосредственным измерением параметров готового прибора и автоматически учитывают все взаимосвязи в нем. Они более точны и потому, что их параметры измерены в том частотном диапазоне, для которого предназначен исследуемый прибор, физическая модель, какой бы сложной она не была – всегда *приближение*. Однако знание параметров моделей СВЧ приборов как четырехполюсников на одной частоте не несет информации об их поведении на смежных частотах. Поэтому необходимо большое число измерений в разных точках частотного диапазона. Недостатком этого пути является и потеря наглядности, так как

© И.А.Постельник, 2014

отказавшись от попыток заглянуть внутрь «черного ящика», труднее понять общие закономерности его поведения и развить расчетные методы, обладающие достаточной общностью.

2. Метод описания СВЧ тракта с помощью S-параметров

Более наглядные СВЧ модели основаны на оценке возмущений, возникающих при включении четырехполюсника в разрыв бесконечно длинной (или согласованной на своих концах) передающей линии и распространяющихся в ней в виде бегущих волн (рис. 1). Одна из систем параметров, основанная на такого рода эффекте, – система параметров матрицы рассеяния или система s-параметров нашла широкое распространение для описания СВЧ-устройств и приборов.

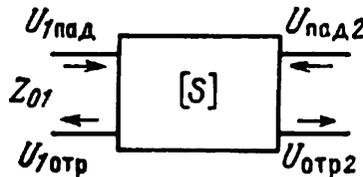


Рисунок 1 – Четырехполюсник в линии с согласованными нагрузками

Системы бегущих волн (напряжения или тока), к которым относится, и система параметров матрицы рассеяния, хорошо подходят для описания процессов в линиях с согласованными нагрузками.

Система S-параметров, введенная впервые в [2], является расчетной, то есть системой, параметры которой не могут быть измерены непосредственно. Эти параметры, описывают взаимосвязь падающих и отраженных волн мощности, и являются универсальными, то есть справедливыми как для вещественных, так и комплексных нагрузок. S-параметры позволяют найти, в частности, мощностные соотношения в устройствах каскадно соединенных с согласующими эти устройства четырехполюсниками, не прибегая к перемножению их матриц передач.

Нормировка в случае S-матриц осуществляется к действительной части комплексных сопротивлений генератора и нагрузки.

«S» происходит от слова «Scattering» (англ. рассеяния). Тестовые устройства могут быть: коаксиальные кабели, пассивные антенны, активные усилители, микроволновые фильтры и т.п. S-параметры имеют модуль коэффициента передачи / отражения (dB) и фазу (градусы) Принятое обозначение: S <выход> <вход>. Например, S21: передача от порта 1 в порт 2. Для измерения S-параметров используют векторные анализаторы и импульсные рефлектометры.

3. Принцип импульсной рефлектометрии

Импульсная рефлектометрия – это измерение отражения приложенного

импульсного сигнала во временной области. Импульсная рефлектометрия используется для выявления неоднородности волнового сопротивления и описание его характера. Измерение на этом принципе может быть использовано для:

- исследования коаксиальных и полосковых линий СВЧ-диапазона;
- контроля и регулировки согласующих широкополосных устройств;
- измерения параметров дискретных элементов, включенных в линию передачи (R, L, C);
- определения волнового сопротивления;
- оценки частотной характеристики затухания в линиях передачи;
- измерения переходных характеристик линий и устройств распределенного типа.

На рис. 2 изображена структурная схема работы импульсного рефлектометра (ИР). Импульсный генератор излучает в линию импульс возмущения (стимулятор). Отраженное напряжение от тестируемого устройства (ТЕСУ) измеряются ВЧ осциллографом на совпадение напряжения тестирования. С помощью формы измеренного отраженного сигнала изображенной на рис. 3-7 можно определить характер цепи и расположение неоднородностей.

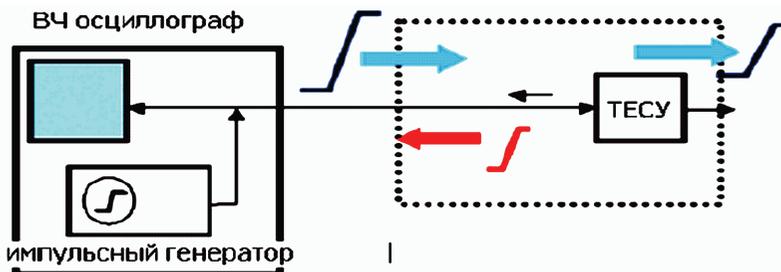


Рисунок 2 – Структурная схема измерения на принципе ИР

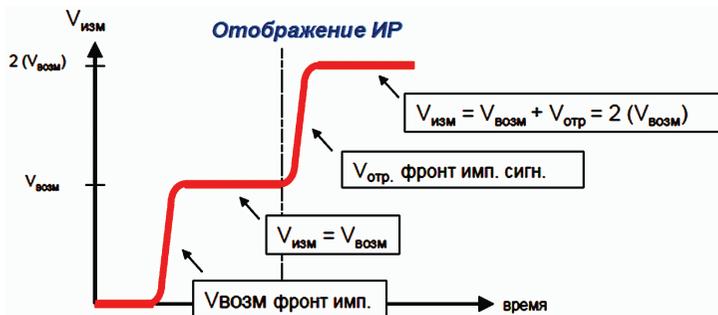


Рисунок 3 – Форма отраженного импульса при разомкнутой линии ($Z_H \rightarrow \infty$)

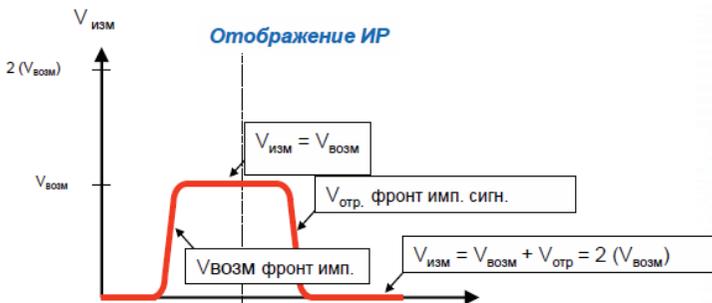


Рисунок 4 – Форма отраженного импульса при коротком замыкании ($Z_n = 0$)

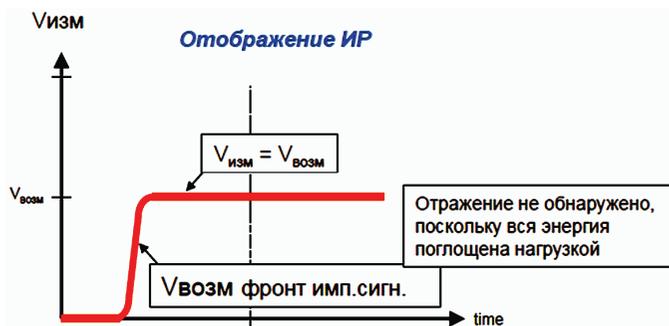


Рисунок 5 – Форма отраженного импульса при согласованной нагрузке ($Z_n = Z_0$)

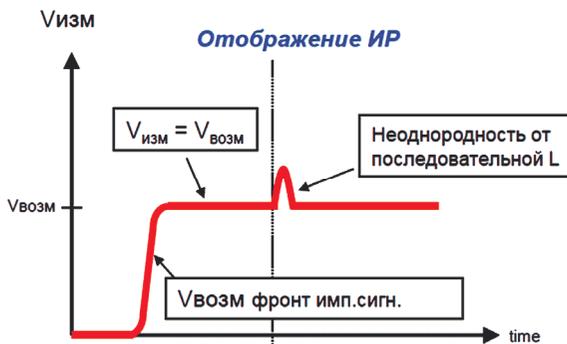


Рисунок 6 – Форма отраженного импульса при индуктивной нагрузке

4. Результаты измерений параметров входной цепи оптического тракта

Компанией Avago Technologies [3] выпущен компактный волоконно-оптический (ВО) передатчик AFBR-1310Z [4] (рис. 8) для работы в диапазоне от 200 MHz до 5.5 GHz на длине волны 1310 нм. Устройство предназначено для передачи аналоговых сигналов по одномодовому волокну, имеет оптиче-

ский интерфейс в виде пигтейла с коннектором FC/PC и включает в себя линейный широкополосный лазер Фабри-Перро на кристалле InGaAsAl/InP, фотодиод, который обеспечивает мониторинг и обратную связь. ВЧ усилитель с импедансом 50 Ом и контур смещения, позволяющий отдельно контролировать среднюю выходную мощность лазера. ВЧ вход связан по переменному току и не требует дополнительного блокирования постоянной составляющей. Высокая выходная мощность позволяет использовать лазер в пассивных оптических сетях с высоким коэффициентом деления.

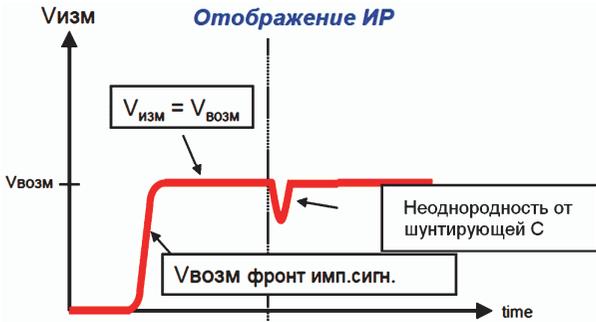


Рисунок 7 – Форма отраженного импульса при емкостной нагрузке



Рисунок 8 – Волоконно-оптический передатчик AFBR-1310Z

А также доступна ответная часть ВО СВЧ-тракта приемник AFBR-2310 [5] (рис. 9).

Приемник имеет широкую полосу пропускания, низкий темновой ток InGaAs/InP PIN фотодиода, который упакован внутри корпуса ТО. Вместе с интегрированным маломощным, высокопроизводительным E-pHEMT ВЧ усилителем, приемник имеет высокую чувствительность, что позволяет использовать его в пассивных оптических сетях.



Рисунок 9 – Волоконно-оптический приемник AFBR-2310

Задача состояла в исследовании входной цепи передатчика, определении характера и наличия неоднородностей. Данное исследование производилось с помощью импульсного рефлектометра «Измерителя неоднородностей линий P5-15». Описание принципа действия, настройки и параметры данного прибора изложено в [6].

При измерении входной цепи были получены следующие рефлектограммы отраженного сигнала (рис. 10-11).

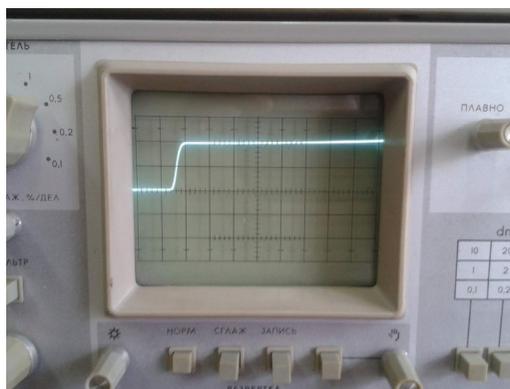


Рисунок 10 – Форма отраженного импульса при разомкнутой линии

На рис. 11, форма отраженного импульса указывает о наличии неоднородности входной цепи приемника. Для подключения импульсного генератора к входу оптического приемника используется стандартная система, параметры которой измерены в линии со стандартным характеристическим сопротивлением 50 Ом. Следовательно, входное активное сопротивление оптического приемника AFBR-1310Z отличается от 50 Ом. Этот факт был учтен при создании измерительного тракта, что позволило существенно улучшить его передаточную характеристику.

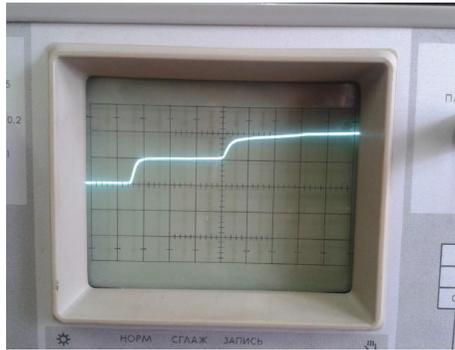


Рисунок 11 – Форма отраженного импульса при подключении входной цепи оптического передатчика

5. Коэффициент передачи тракта (Параметр S12)

Исследование коэффициента передачи тракта осуществлено с использованием высокочастотного генератора Agilent и цифрового осциллографа ТЕКТРОНИХ DPO 4104. Результаты исследований для усредненного коэффициента передачи представлены на рис. 12 в диапазоне частот от 200 МГц до 1000 МГц.

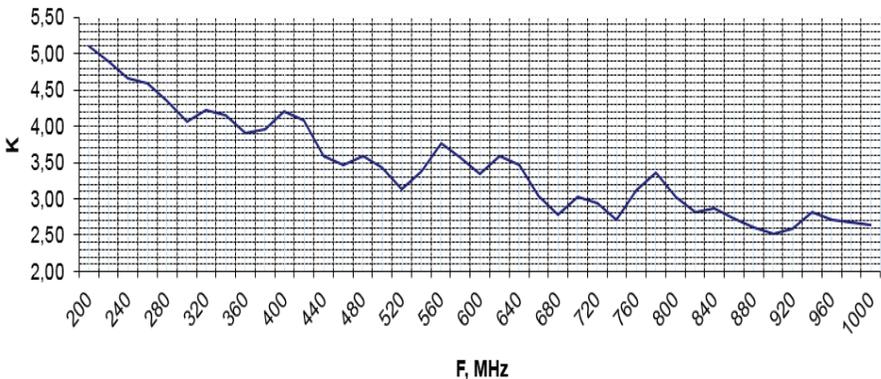


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента передачи от частоты

На рис. 13 показан коэффициент передачи для разных входных напряжений в диапазоне от 30 до 90 мВ (кривые снизу-вверх). Это означает что на вход измерительного тракта можно подавать сигнал с изменением амплитуды в три раза. Собственные шумы оптического тракта находятся на уровне 10мВ. Это связано с наличием внутреннего «темного» тока PIN-фотодиода в оптическом приемнике. Поэтому при передаче сигнала амплитудой ниже 30мВ, полезный сигнал теряется в собственных шумах измерительного тракта. При подаче сигнала амплитудой выше 90 мВ коэффициент передачи дос-

тигает точки компрессии (отклонение линейности амплитудной характеристики на 1дБ). Это происходит из-за проявления нелинейности устройства.

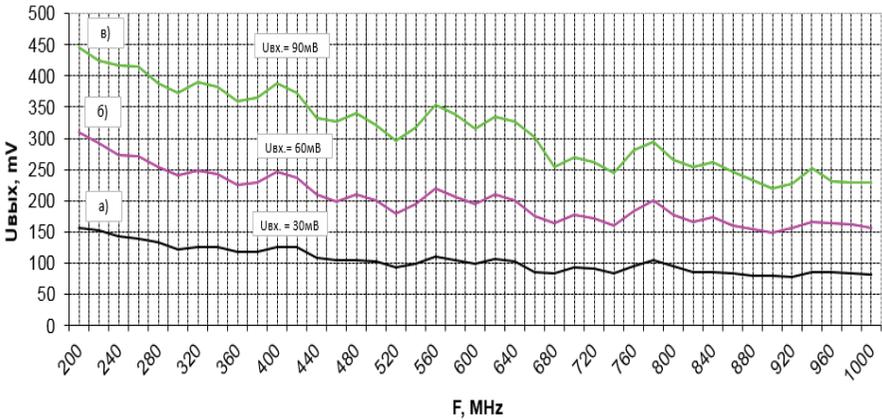


Рисунок 13 – Коэффициент передачи при $U_{\text{вх}}$: а) 30мВ, б) 60мВ, в) 90мВ

5. Выводы

Полученные результаты на основе измерений импульсной рефлектометрии позволили определить характер неоднородности линии. По форме отраженного импульса установлено, что входная цепь оптического приемника ведет себя как разомкнутая линия, сопротивление нагрузки которой стремится к бесконечности ($Z_{\text{н}} \rightarrow \infty$).

Создан макет измерительного тракта и определен коэффициент его передачи в диапазоне частот от 200 МГц до 1000 МГц. Во указанном диапазоне частот коэффициент передачи характеризуется усилением сигнала от 2,5 до 5 раз. Эти результаты будут положено в основу датчика электрического поля.

Список литературы: 1. *Н.З. Шварц / Усилители СВЧ на полевых транзисторах.* – М.: Радио и связь, 1987. – 200 с. 2. *K.Kurokawa Power Waves and the Scattering Matrix // IEEE Trans., 1965.* – 194 с. 3. <http://www.avagotech.com/pages/home> 4. Data Sheet – AFBR-1310Z, Fiber Optic Transmitter for Multi GHz Analog Links. 5. Data Sheet - AFBR-2310Z, Fiber Optic Receiver for Multi GHz Analog Links. 6. Техническое описание и инструкция по эксплуатации P5-15, 1989. – 179 с.

Bibliography (transliterated): 1. N.Z. Shvarc Usiliteli SVCh na polevykh tranzistorah. – M.: Radio i svjaz', 1987. – 200. 2. K.Kurokawa Power Waves and the Scattering Matrix IEEE Trans., 1965. – 194. 3. <http://www.avagotech.com/pages/home> 4. Data Sheet – AFBR-1310Z, Fiber Optic Transmitter for Multi GHz Analog Links. 5. Data Sheet - AFBR-2310Z, Fiber Optic Receiver for Multi GHz Analog Links. 6. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po ekspluatcii R5-15, 1989. – 179.

Надійшла (received) 17.03.2014