

Исследование поглощающих свойств пирамидальных поглотителей с применением временной селекции

С.А. Леухин^{1,2}, И.В. Казаков², И.В. Гольяев¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

²ОАО «Завод Магнетон»

Аннотация: в данной работе было проведено исследование влияния интервала временной селекции на точность определения поглощающих свойств пирамидального поглотителя в небезэховых условиях. Выполнены измерения коэффициентов отражения от пирамидального поглотителя. Были рассмотрены коэффициенты отражения для пирамидального поглотителя с применением временной селекции и без нее. Определены оптимальные рамки временной селекции и основные факторы, влияющие на их выбор.

Ключевые слова: рупорные измерения, временная селекция, радиопоглощающие материалы

1. Введение

В настоящее время остро стоит вопрос об измерении как частотной дисперсии диэлектрической и магнитной проницаемости, так и поглощающих характеристик композитных материалов в СВЧ диапазоне. Данной тематикой широко занимаются такие предприятия как АО «Концерн ПВО Алмаз-Антей», ОАО «ОКБ Новатор», ФГУП «ВИАМ», а также Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН [1-3].

На сегодняшний день имеется множество методов измерения диэлектрической и магнитной проницаемости, а также S-параметров композитных материалов в СВЧ диапазоне: с использованием коаксиальных ячеек и пробников, волноводных линий передачи, рупорных антенн, а также различные резонаторные, полосковые методики и т. д. [1]. Все перечисленные методы обладают как неоспоримыми преимуществами, так и существенными недостатками, определяющими их область применения [4]. Следовательно, рассматривая данные методы для измерения пирамидальных поглотителей в частности и композиционных материалов в целом можно заключить, что метод измерения в свободном пространстве с помощью рупорных антенн является наиболее оптимальным. Данный метод позволяет измерять образцы с периодическими структурами и неоднородностями, а также получить усредненные параметры композитного материала, т. к. измерения производятся на образцах большой площади по сравнению с остальными методами, что безусловно является преимуществом. Данный фактор может являться и недостатком, т. к. изготовление образцов больших размеров требует больших трудозатрат и проведения предварительных испытаний и моделирования. Кроме того, рупорные измерения предполагают наличие специально подготовленного помещения (безэховой камеры), которое экранируется и внутри которого подавляются переотражения с помощью пирамидального поглотителя. Однако, применение временной селекции позволяет избежать затрат на специальную подготовку помещения и производить измерения в не безэховых условиях [1,4].

В работе проведено исследование коэффициента отражения пирамидального поглотителя с применением временной селекции в небезэховых условиях.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Измерения производились на базе ОАО «Завод Магнетон» при помощи векторного анализатора PLANAR C4420. К двум его портам были подключены коаксиально-волноводные переходы, на концы которых проводилась TRL-калибровка. Затем один из них подключался к рупорной антенне, установленной на неподвижном штативе, а перед штативом помещалась радиопрозрачная стойка. В качестве приёмно-передающего устройства использовались антенны П6-30, П6-17А, SAS-585 характеристики которых указаны в таблице 1.

Таблица 1. Параметры измерительных антенн

Антенна	Частотны диапазон измерений, ГГц	Дальняя зона, см
П6-30	16,7-20	9,5
П6-17А	5,6-8	11
SAS-585	8-12	95

Дальняя зона рупорной антенны определялась по формуле 1, где r – это дальняя зона рупорной антенны, D – это раскрыв рупорной антенны, λ – наименьшая длина волны в частотном диапазоне измерений рупорной антенны.

$$r \geq 2 \frac{D^2}{\lambda}. \quad (1)$$

Измерения производились на пирамидальном поглотителе в небезэхоных условиях. Общий размер панели пирамидального поглотителя составлял 480x480 мм, основание пирамиды 80x80 мм, высота пирамид 190 мм, толщина подложки под пирамидами 55 мм. Образец пирамидального поглотителя крепился на отражающий экран с помощью клеевого соединения, при этом отражающий экран крепился к радиопрозрачной стойке с помощью винтового соединения.

Расстояние между штативом с антенной и стойкой с образцом необходимо было подобрать так, чтобы вершины пирамид поглотителя находились за пределами ближней зоны рупора. Для П6-30 и П6-17А оно составило 39 сантиметров, для SAS-585 - 125 сантиметров.

В ходе эксперимента производились измерения следующих коэффициентов отражения: $S_{11\text{своб.}}$ – это коэффициент отражения от свободного пространства измерительно комнаты; $S_{11\text{экp.}}$ – это коэффициент отражения от отражающего экрана, помещенного на стойку; $S_{11\text{погл.}}$ – это коэффициент отражение от пирамидального поглотителя, установленного на отражающий экран. Результирующий коэффициент отражение пирамидального поглотителя вычислялся по формуле 2:

$$S_{11\text{рез.}} = \frac{S_{11\text{погл.}} - S_{11\text{своб.}}}{S_{11\text{экp.}} - S_{11\text{своб.}}}. \quad (2)$$

Для использования фильтрации во временной области, необходимо было определить временной промежуток, в течение которого приходит интересующий нас сигнал. Это было сделано следующим образом: стойка с металлическим экраном (без исследуемого образца) помещалась на границу ближней зоны используемой антенны. При этом на графике коэффициента отражения во временной области имелся отчетливый пик, положение которого давало возможность определить начало интересующего нас промежутка.

Затем стойка перемещалась в положение, в котором она должна была находиться при измерении образца. При этом пик на графике смещался вправо, давая

возможность определить правую границу промежутка. На рисунке 1 представлены временные зависимости коэффициента отражения металлического экрана на стойке, помещенного в положение измерений пирамидального поглотителя.

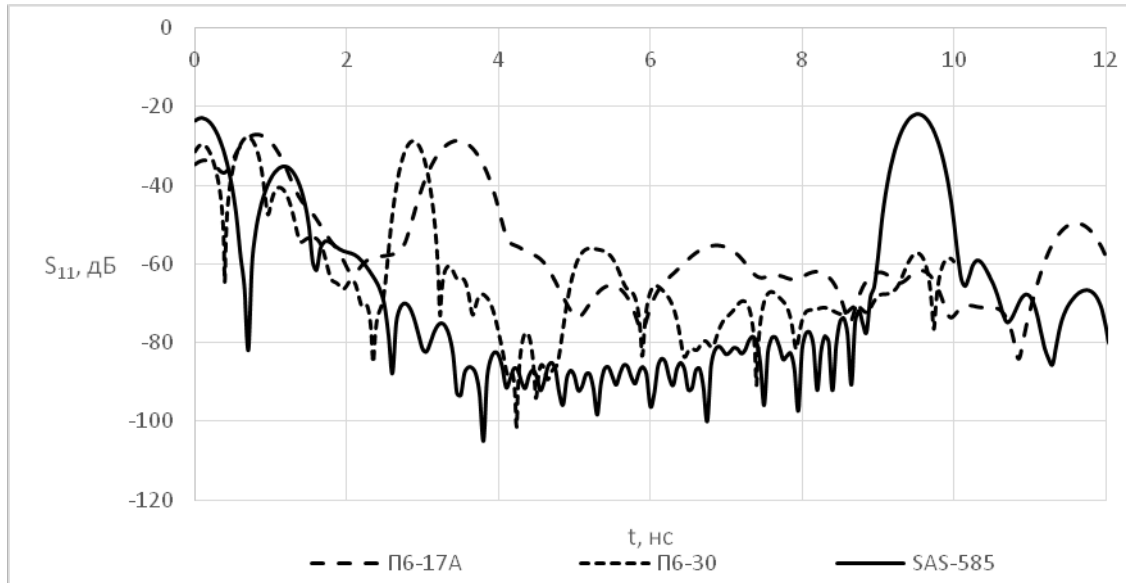


Рисунок 1. Коэффициент отражения во временной области от отражающего экрана, установленного на стойку.

На основании данных опытов был выбран наиболее оптимальный временной промежуток для осуществления временной селекции: П6-30 – это от 2 до 6 нс; П6-17А – это от 2 до 5 нс; SAS-585 – это от 6 до 12 нс. При этом на данной временной зависимости коэффициента отражения видно, что остальные значения, не входящие в оптимальный промежуток для осуществления селекции, имеют осцилляции коэффициента отражения. Осцилляции коэффициента отражения при этом имеют различную природу: те что располагаются слева от оптимального промежутка обусловлены рупорной антенной, а те что расположены справа от оптимального промежутка, обусловлены наличием отражающих поверхностей в помещении.

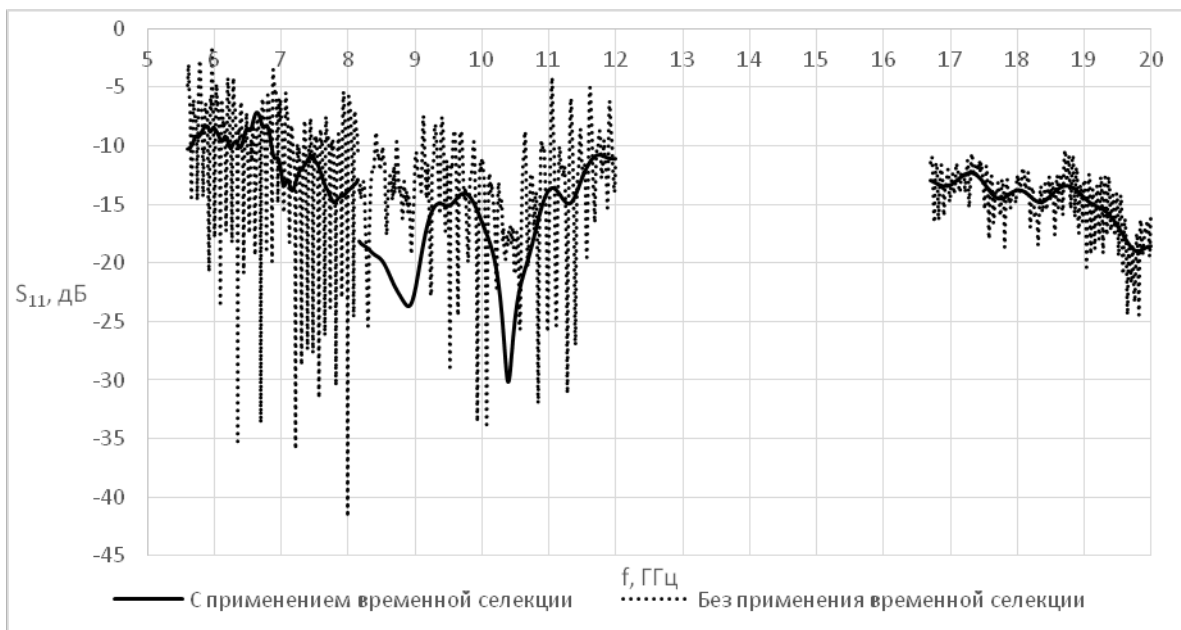


Рисунок 2. Частотная зависимость коэффициента отражения для пирамидального поглотителя с оптимальными значениями временной селекции.

На рисунке 2 представлены частотные зависимости коэффициента отражения для пирамидального поглотителя. Видно, что частотная зависимость коэффициента отражения без применения временной селекции имеет большое количество осцилляций, обусловленных наличием отражающих поверхностей, т. е. небезэховостью помещения. Применение временной селекции позволяет уменьшить влияние условий измерения. При этом влияние условий измерения более явно проявляет себя на низких частотах, на рупорных антеннах П6-17А и SAS-585, т. к. осцилляции на данных частотах имеют наибольший разброс значений коэффициента отражения.

3. Заключение

Проведенные измерения пирамидальных поглотителей в небезэховых условиях показывают, что применение временной селекции позволяет убрать негативное влияние помещения. Данный метод измерений подойдет для производственных помещений с наличием векторного анализатора с функцией временной селекции для сравнительной оценки поглощающих свойств различных типов радиопоглощающих покрытий. При этом следует учесть, что некоторые типы поглотителей могут быть измерены только с помощью рупорной методики. К таким как раз можно отнести пирамидальные поглотители.

Кроме того, в ходе эксперимента были определены оптимальные рамки временной селекции: П6-30 – это от 2 до 6 нс; П6-17А – это от 2 до 5 нс; SAS-585 – это от 6 до 12 нс. Незначительно расширение данных рамок дает результаты близкие к значениям рисунка 2. Соответственно, чем шире окно временной селекции, тем сильнее влияние небезэховости помещения, что приводит к появлению соответствующих осцилляций.

Соответственно, применение временной селекции позволяет получить результат, подходящий для сопоставления различных поглотителей, без дополнительных затрат на специализированную подготовку помещения.

Список литературы

1. Семененко В. Н., Чистяев В. А., Политико А. А., Басков К. М. Стенд для измерений в свободном пространстве радиофизических параметров материалов в сверхширокой полосе сверхвысоких частот // Измерительная техника. 2019. № 2. С. 55–59.
2. Бачурин В. С., Деменев А. Д., Пышный В. Д. Широкополосное измерение ЭПР методом частотно-временных преобразований // Радиоэлектроника. 2010. № 7. С. 1–23.
3. Бачурин В. С., Деменев А. Д., Пышный В. Д., Безукладников Е.В. Измерение характеристик локальных центров рассеяния в условиях слабой безэховости // труды всероссийской конференции «Радиолокация и связь». 2009. С. 549–556.
4. Любченков А. В. Анализ методов измерения электродинамических параметров материалов, поглощающих сверхвысокочастотное электромагнитное излучение // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 9. С. 17–19.