

Study and Analysis of the Transmission and Reflection coefficient of the one-Dimensional fractal Structure located in a medium has different refractive index using FDTD

Dr .Alsamowal Saleh *

Dr .Ali Zaid **

Mohammad Asaad ***

(Received 22 / 5 / 2017. Accepted 12 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

Fractal geometry is one of the most prominent branches of modern applied mathematics. It has developed and developed in recent years as a result of the failure of Euclidean geometry to deal with many natural and scientific phenomena. Where the fractal structure is characterized by a self-similarity feature and a unique combination of gaps that results in the emergence of pass band within prevent band . So we can use them in microwave and optical applications instead of periodic structures that needed to perform defect within their structure to get the pass band.

Establishment of a software environment based on the finite difference time domain method (FDTD Finite difference time domain), was done in this research for studying and analyzing the one dimension fractal structure in order to accurately characterize the fractal one-dimension structure based on electromagnetic field parameters, and simulation of the propagation of electromagnetic waves within the fractal one-dimensional structure located in free space ,and calculate transmission and reflection coefficient, and study of the effect of fractal factors such as stage of growth, fractal dimension and the type of material studied on the transmission and reflection coefficient. In order to obtain a high selective filter

Keywords: Fractal Geometry, Cantor Bar. FDTD, High Selective Filter

* Postgraduate Student ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University ,Lattakia ,Syria

**Professor ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University ,Lattakia, Syria

***Assistant Professor ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Aleppo University , Syria.

دراسة وتحليل معامل الإرسال والانعكاس لبنية تجزئية أحادية البعد متوضعة في وسط له معامل انكسار مختلف باستخدام طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD)

د. السموعل صالح*

د. علي زيد**

محمد اسعد***

(تاريخ الإيداع 22 / 5 / 2017. قُبل للنشر في 12 / 12 / 2017)

□ ملخص □

تعد الهندسة التجزئية أحد أبرز فروع الرياضيات التطبيقية الحديثة، وقد ظهرت وتطورت خلال السنوات الأخيرة نتيجة قصور الهندسة الإقليدية عن معالجة الكثير من الظواهر الطبيعية والعلمية، حيث تتميز البنية التجزئية بخاصية التشابه الذاتي وبتراكبية فريدة تحوي فجوات ينتج عنها ظهور حزم تمرير ضمن حزم المنع الترددية، وبالتالي يمكننا استخدامها في التطبيقات الميكروية والضوئية بدلاً عن البنية الدورية التي كانت تحتاج إلى إحداث خلل ضمن بنيتها للحصول على حزم التمرير.

تم في هذه الدراسة بناء بيئة برمجية لدراسة وتحليل البنية التجزئية أحادية البعد بالاعتماد على طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD Finite difference time domain method)، وذلك بهدف توصيف البنية التجزئية أحادية البعد بشكل دقيق اعتماداً على معاملات الحقل الكهربائي والمغناطيسي، ومحاكاة انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية ضمن البنية التجزئية أحادية البعد المتوضعة في الفراغ الحر، وحساب معامل الإرسال والانعكاس ودراسة تأثير معاملات الجسم التجزئي مثل درجة التجزيء، والبعد التجزئي ونوع المادة المدروسة على معامل الإرسال والانعكاس، بهدف الحصول على مرشح عالي الانتقائي

الكلمات المفتاحية: الهندسة التجزئية، شريط كانتور، طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD). المرشح عالي الانتقائية

*أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.

**أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة حلب- سورية.

*** طالب دكتوراه - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.

مقدمة:

تترتب الذرات في البلورات المثالية بشكل دوري منتظم من دون أي خلل أو عيب، لقد درس الباحثون إمكانية التحكم بانتشار الأمواج عن طريق إحداث خلل في البنية الدورية للحصول على حزم التمرير ضمن حزم المنع الترددية أو للوصول إلى أدلة موجة أو مرشحات وغيرها من التطبيقات، إن دراسة الخلل وموقعه في البنى الدورية هو مسألة غاية في الأهمية وتستند معظم التطبيقات إلى كيفية إدخال الخلل أو العيب إلى البنية المدروسة في حين أن البنى التجزئية تحوي (عدم انتظام) في بنيتها (يتمثل عدم الانتظام في وجود فجوات ذات أبعاد مختلفة ضمن هذه التراكيب) وبالنتيجة لا داعي للجوء إلى إحداث هذا الخلل كما هو الحال في البنى الدورية [1][2].

أهمية البحث وأهدافه:

تستخدم الهندسة التجزئية في مجالات الاتصالات الميكروية والضوئية كمثال على ذلك تصميم مرشحات، هوائيات، عناصر الكترونية و ميكروية ذات خصائص جديدة مختلفة حيث يمكن الاستفادة منها في تصميم المرشحات عالية الجودة. و تستخدم طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD) لحل معادلات ماكسويل في المجال الزمني لحساب مركبات الحقل الكهرومغناطيسي خلال الزمن. يعرض هذا البحث اقتراح لتصميم مرشح مؤلف من بنية تجزئية أحادية البعد، تحوي شرائح موجبة السماحية الكهربائية (ϵ) و النفاذية المغناطيسية (μ) باستخدام طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني، وتحليل خصائصه، و تحليل معاملات الإرسال والانعكاس له، عند تغيير معاملات الجسم التجزئية وتغير نوع المادة المدروسة.

طرائق البحث ومواده:

1- الهندسة التجزئية

ظهرت الهندسة التجزئية نتيجة قصور الهندسة الإقليدية في معالجة العديد من الظواهر في الطبيعة [2]، ويعود أصل الكلمة لعام 1975 حيث صاغها العالم ماندليبروت من اللغة اللاتينية (fractus)، والتي تعني كسر أو جزء [2]. إن الفكرة الأساسية في الهندسة التجزئية هي التشابه الذاتي أو ثبات المقياس، حيث يكون الجسم أو السطح متشابهاً ذاتياً إذا أمكن تحليله إلى نسخ أصغر من نفسه وعليه فإن مفهوم التشابه الذاتي هو الخاصية التي يكون فيها الهيكل الكامل محتوي في أجزائه ويعرف الجسم التجزئي بأنه جسم غير منتظم، أو هو شكل هندسي غير نظامي غير قابل للوصف أو القياس باستخدام الهندسة الإقليدية ومن أهم الأمثلة عليه (سبيرينسكي - فان كوخ - شريط كانتور) [3][17] يوصف الجسم التجزئي بثلاث معاملات :

$$1-1 \text{ البعد التجزئي (Fractal Dimension (D)) : هو عدد غير صحيح يعطى بالقانون } D = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{\rho})} \text{ [2]}$$

حيث N عدد القطع أو النسخ المتشابهة في التركيب عند درجة التجزئ الأولى ρ . معامل التقسيم أو التصغير لهذا الجسم .

$$2-1 \text{ درجة التجزئ (Stage of growth (S)) : بالنسبة لعملية التكرار في الحصول على الجسم التجزئي}$$

فإن هذه العملية تجري على عدة مراحل، كل مرحلة تسمى درجة التجزئ والتي تبدأ من الدرجة $S=0$ التي تمثل

الجسم الأساسي، وتستمر حتى اللانهاية حيث تنعدم المادة أي تصبح قطع الجسم صغيرة جداً. هذه العملية تقوم بتطبيق علاقة البعد التجزئي في كل مرحلة من مراحل

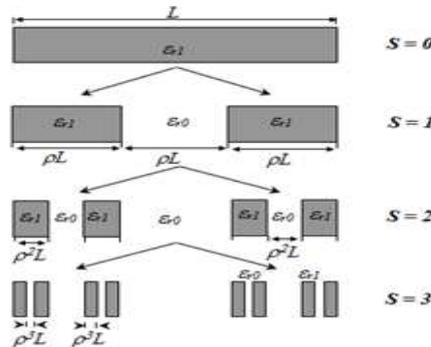
التجزئي S [3] [5] .

1-3- معامل تغيير أبعاد الفجوات (Lacunarity) :

العنصر الأساسي الثالث في تكوين الجسم التجزئي، ويعبر عن توزع الفراغات أو الفجوات داخل الجسم التجزئي. الحاجة إلى هذا المعامل (Lacunarity) تكمن في التعبير عن الجسم التجزئي ذو البعد D بعدة أشكال لها نفس البعد التجزئي، ونفس درجة التجزيء، ولكنها تختلف عن بعضها البعض بتوزيع الفراغات الموجودة ضمنها، أو بشكل آخر تختلف بتوزيع المادة، أو بكثافة المادة ضمن درجة تجزيء محددة للجسم [2] [5] .

2 شريط كانتور cantor bar

يمثل شريط كانتور (cantor bar) قطعة مستقيمة طولها (L)، ذات دليل انكسار (n) متوضعة في الفراغ الحر ذو قرينة الانكسار (n_0). يتم تقسيم القطعة إلى (X) قطع متساوية بمعامل تقسيم ($\rho=1/X$) ثم ننزع (Y) قطعة من الشكل بحيث ($Y < X$) نحصل على قطع عددها ($X-Y$) تشبه الجسم الأصلي، ولكن أقل طول بمقدار نسبة معامل التقسيم (ρ) هذه المرحلة ندعوها درجة التجزيء الأولى (S_1)، وتسمى بالجسم المولد للتركيب. في مرحلة التجزيء الثانية نقوم بنفس العملية السابقة فنحصل على (X^2) قطعة مشابهة للجسم الأصلي، ولكن مصغرة بمقدار (ρ^2). وهكذا بالنسبة إلى المرحلة الثالثة للتجزئي نحصل على (X^3) قطع مصغرة بمقدار (ρ^3)، وتستمر هذه العملية حتى نصل إلى درجة تجزيء عالية جداً عندها تنتهي المادة، أو تصبح قليلة جداً ونحصل عندها على الغبار الكانتوري. إن النموذج المعروف في هذا البحث هو شريط كانتور ذو البعد التجزئي $D = \log_2 / \log_3$ المكون من الزجاج والهواء يتشكل هذا النموذج انطلاقاً من تقسيم الشريط الأولي ذو الطول L وذو دليل الانكسار n_1 إلى ثلاث قطع ذات طول متساو (ρL)، (هنا معامل التجزيء $\rho = 1/3$) وإزالة قطعة في المنتصف هذا ما ندعوه درجة التجزيء الأولى $S=1$ أو المولد للجسم التجزئي، في مرحلة التجزيء الثانية نقوم بنفس العملية السابقة فنحصل على أربعة قطع مشابهة للجسم الأصلي، ولكن مصغرة بمقدار $\rho^2 = 1/9$ وهكذا بالنسبة إلى المرحلة الثالثة للتجزئي نحصل على ثمان قطع مصغرة بمقدار $\rho^3 = 1/27$ كما هو مبين في الشكل (1) [4][6][7][17].

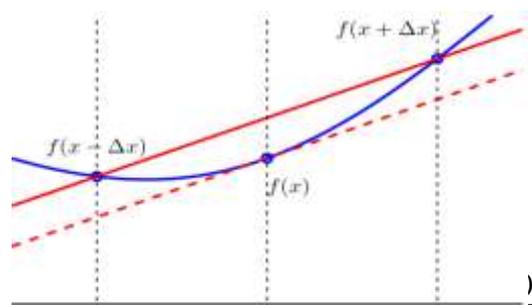


الشكل (1) يوضح توزيع شريط كانتور ذو البعد $D = \log_2 / \log_3$ من أجل المراحل التجزئية الأولى.

3 طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD)

ظهرت عدة طرق لدراسة ومحاكاة المسائل الهندسية الكهرومغناطيسية، حيث لكل طريقة محاسنها ومساوئها، وهذا طبيعي نظرا لاختلاف فعالية هذه الطرق بالنسبة للمسائل المطروحة، حيث هناك مجالات ترددية مختلفة وبنى هندسية بسيطة ومعقدة ومسائل هندسية تحتاج لزمان كبير للحساب والتحليل بالإضافة إلى اختلاف وسائل وإظهار النتائج ودقتها. [10]

إن اختيار طريقة الحساب يعتمد على نوع المسألة المطروحة للحل، ولكن بشكل عام معظم الطرق تتبع أسلوب تشكيل شبكة لتقسيم الفراغ الذي يحوي البنية إلى عناصر صغيرة، ثم يتم معالجة هذه العناصر بشكل منفصل. أحد هذه الطرق (FDTD) وهي في تطور مستمر حيث تعتمد على طريقة الفروقات المحدودة لحل معادلات ماكسويل في المجال الزمني لحساب مركبات الحقل الكهرومغناطيسي خلال الزمن، وهذه الطريقة تستخدم في الحساب عناصر مربعة تتضمن كلا من خواص مركبات الحقل المغناطيسي والكهربائي، حيث يتم حساب الحقول بأسلوب تبادلي بين الحقل الكهربائي والمغناطيسي. [10][11]



الشكل (2) يوضح طريقة الفروق المحدودة

انطلاقاً من معادلات ماكسويل :

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (1)$$

قانون غاوس يصف العلاقة بين توزيع الشحنة الكهربائية والحقل الكهربائي الناتج عنها.

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2)$$

قانون غاوس للمغناطيسية ينص هذا القانون على أن عدد خطوط المجال المغناطيسي الخارجة من سطح مغلق يساوي صفر

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

قانون فارادي

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (4)$$

قانون أمبير

3-1 خوارزمية (Yee) [10][11][12]

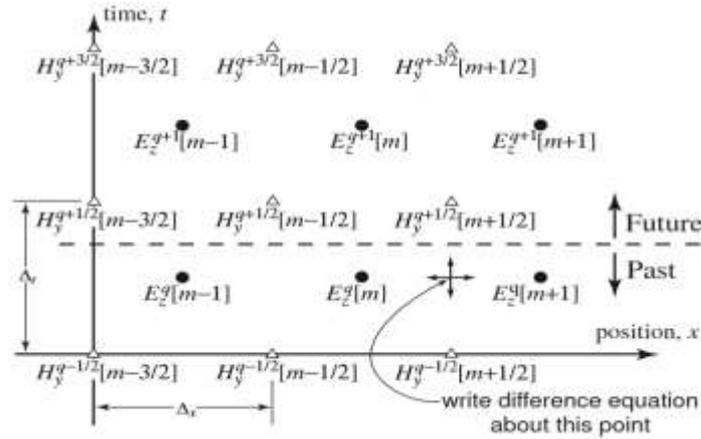
تم افتراض خوارزمية الفروق المحدودة في المجال الزمني من قبل العالم (Yee)، ويمكن تلخيص الخوارزمية على الشكل التالي، استبدال المشتقات في قانوني فارادي بالفروق المحدودة، يتم بعدها فصل الزمان والمكان بحيث يكون الحقلان الكهربائي والمغناطيسي متعاقبان في الزمان والمكان، ثم حل ناتج معادلة الفروق للحصول على المعادلات المحدثة (UPDATE EQUATION) التي تعبر عن الحقول المستقبلية غير المعروفة بالنسبة للحقول الماضية المعروفة، ثم تقييم الحقول المغناطيسية خطوة زمنية واحدة في المستقبل بعد أن أصبحت معروفة وتقييم

الحقول الكهربائية خطوة زمنية واحدة في المستقبل بعد أن أصبحت معروفة، ثم تكرار الخطوتين السابقتين حتى يتم الحصول على الحقول خلال المدة الزمنية المرغوبة [13].

1-1-3 معادلات التحديث للبنية أحادية البعد [12][11][13]

فرض البنية أحادية البعد يصبح قانون فرادي $\mu_y \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x}$ المشتق الزمني للحقل المغناطيسي بالنسبة للمشتق المكاني للحقل الكهربائي، وهي تستخدم من أجل تقدم الحقل المغناطيسي خطوة زمنية. إن الحقول فوق الخط المهشر غير معروفة وهي تمثل (الحقول المستقبلية) أما الحقول تحت الخط المهشر هي حقول معروفة. وبعد تطبيق الفروقات المحدودة على المعادلة نحصل على معادلة التحديث للحقل المغناطيسي [12].

$$(5) H_y^{q+\frac{1}{2}} \left[m + \frac{1}{2} \right] = H_y^{q-\frac{1}{2}} \left[m + \frac{1}{2} \right] + \frac{\Delta t}{\mu \Delta x} (E_z^q [m+1] - E_z^q [m])$$

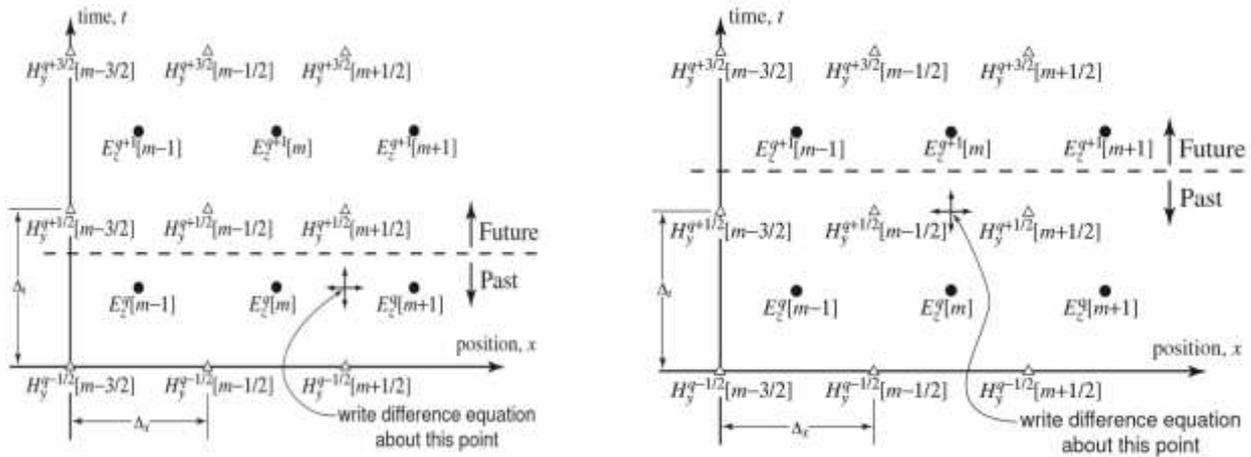


الشكل (3) يوضح معادلة التحديث وتقدم الحقول

بعد تطبيق هذه المعادلة على كل العقد المغناطيسية، فإن الخط المهشر الفاصل بين القيم السابقة والمستقبلية سوق يتحرك نصف خطوة زمنية .

وبنفس الطريقة نكتب قانون أمبير $\epsilon_z \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x}$ المشتق الزمني للحقل الكهربائي بالنسبة للمشتق المكاني للحقل المغناطيسي، وهي تستخدم من أجل تقدم الحقل الكهربائي خطوة زمنية، وبعد تطبيق الفروقات المحدودة على المعادلة نحصل على معادلة التحديث للحقل الكهربائي [12]

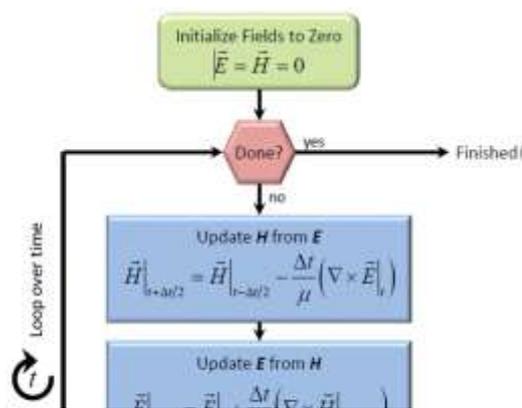
$$(6) E_z^{q+1} [m] = E_z^q [m] + \frac{\Delta t}{\epsilon \Delta x} \left(H_y^{q+\frac{1}{2}} \left[m + \frac{1}{2} \right] - H_y^{q+\frac{1}{2}} \left[m - \frac{1}{2} \right] \right)$$



الشكل (4) يوضح معادلة التحديث وتقدم الحقول

هكذا تستمر العملية حتى الوصول إلى نهاية الخطوات الزمنية، وصولاً إلى قيم الحقل الكهربائي والمغناطيسي في كل الخطوات المكانية، ومنه نستطيع تحديد معامل الانعكاس والارسال، عن طريق حساب الحقل الكهربائي في النقطة المكانية الأولى والنقطة المكانية الأخيرة خلال المجال الزمني وبإجراء تحويل فورييه على الحقلين مع تحديد الحقل الكهربائي للمنبع. [11][12]

بفرض عدد الخطوات المكانية (NZ) نحصل على الحقلين $E_z^q[1]$ $E_z^q[Nz]$ مع تحديد حقل المنبع $E_z^q[Src]$ وبعد إجراء تحويل فورييه للحقول وينسبة $(\frac{E_z^q[1]}{E_z^q[Src]})$ نحصل على معامل الانعكاس وينسبة $(\frac{E_z^q[Nz]}{E_z^q[Src]})$ نحصل على معامل الإرسال [13].



الشكل (5) يوضح خوارزمية (FDTD) البسيطة

النتائج والمناقشة:

تم اختيار شريط كانتور كمثال عن الأجسام التجزئية المكونة من شرائح من مواد ذات دليل انكسار موجب كأساس في دراستنا، لأن الهندسة التجزئية تعطي عددا من المعاملات التي تضيف درجات حرية أكثر في تصميم أي عنصر ميكروي، إضافة إلى أن التركيب التجزئي يحوي عددا من الفجوات متغيرة الأبعاد، ويمكن التحكم بها، من قبل معاملات الجسم التجزئي، درس هذا العمل معامل الإرسال (T) ومعامل الانعكاس (R) الناتجان عن الجسم التجزئي المقترح سابقا وذلك باستخدام طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD)

- المرحلة الأولى: قمنا بدراسة أثر تغيير نوع المادة المكونة للتوزع التجزئي عن طريق دراسة معامل الانعكاس لبينة مكونة من (الزجاج والهواء) ومقارنته مع معامل الانعكاس لبينة مكونة من (السيلاكا والهواء) ومقارنته مع معامل الانعكاس لبينة مكونة من (التيفلون والهواء)

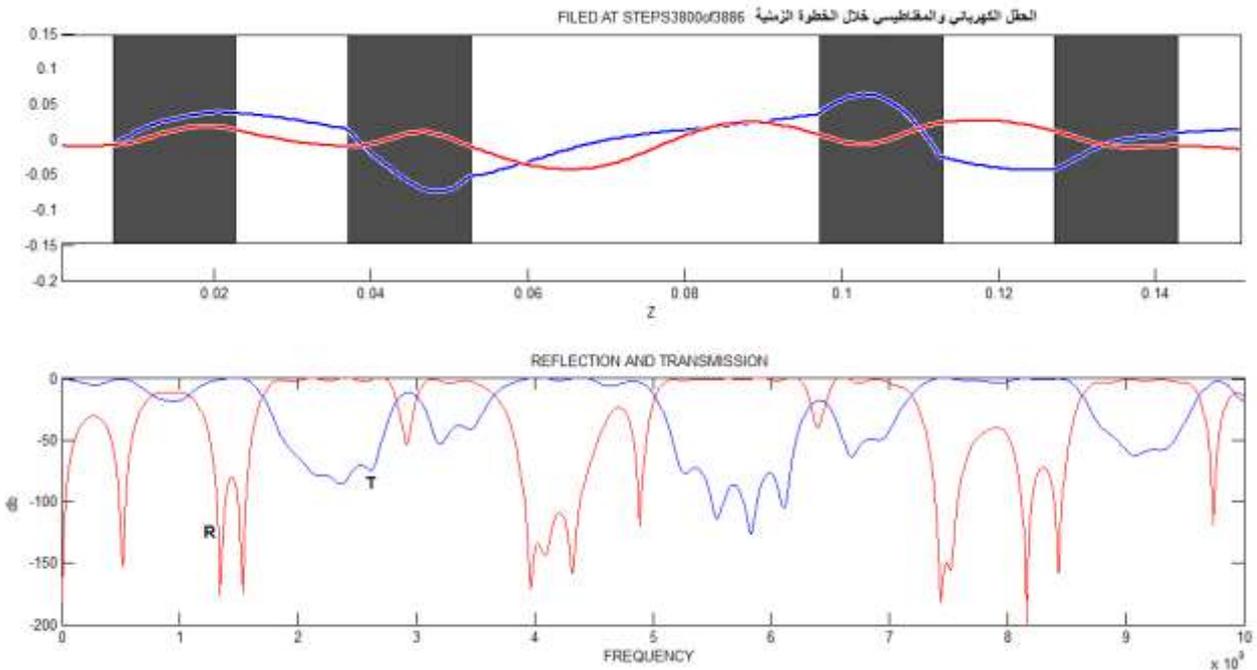
- المرحلة الثانية: قمنا بدراسة أثر تغيير البعد التجزئي لبينة مكونة من (الزجاج والهواء) عن طريق دراسة معامل الانعكاس لبينة ذات بعد تجزئي ($D=\log 2/\log 3$) ومقارنته مع معامل الانعكاس لنفس البنية ذات بعد تجزئي ($D=\log 3/\log 5$)

- المرحلة الثالثة: قمنا بدراسة أثر تغيير درجة التجزئ لبينة مكونة من (الزجاج والهواء) عن طريق دراسة معامل الانعكاس لهذه البنية ذات بعد تجزئي ($D=\log 3/\log 5$) عند درجة التجزئ ($s=2$) و ($s=3$)

1-دراسة أثر تغيير نوع المادة المكونة للتوزع التجزئي:

1-1 بنية مكونة من الزجاج والهواء

درس معامل الانعكاس للتوزع التجزئي لشريط كانتور ذو البعد التجزئي $D=\log 2/\log 3$ المكون من أعمدة من الزجاج والهواء، حيث دليل انكسار الزجاج ($n_1=2.2$)، ودليل انكسار الهواء ($n_0=1$)، ومجال التردد العامل (0-10) Ghz وأبعاد الشرائح (1.5 cm).

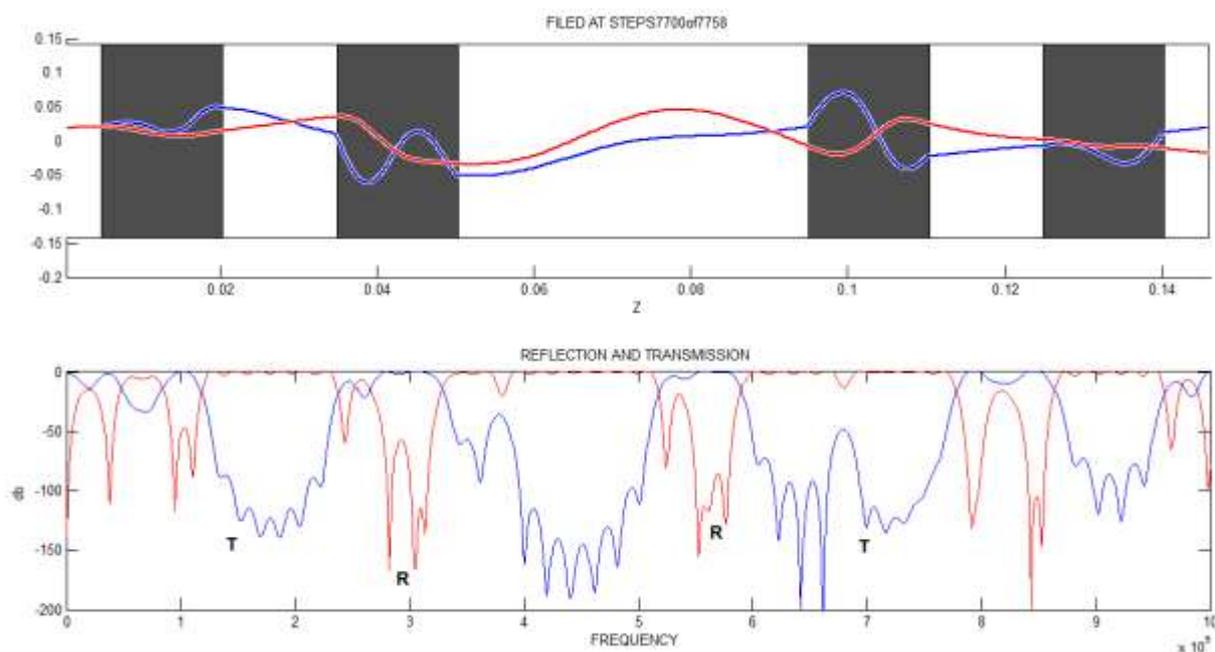


الشكل (6) البنية التجزئية أحادية البعد ذات البعد التجزئي $D=\log 2/\log 3$ المكون من الزجاج والهواء

يظهر الشكل (6) البنية التجزئية أحادية البعد ذات البعد التجزئي $D=\log_2/\log_3$ المكون من الزجاج والهواء ويظهر انتشار الحقل الكهربائي والمغناطيسي خلال البنية وعدد الخطوات الزمنية كما يظهر معامل الإرسال والانعكاس

1-2- بنية مكونة من السيلكون والهواء

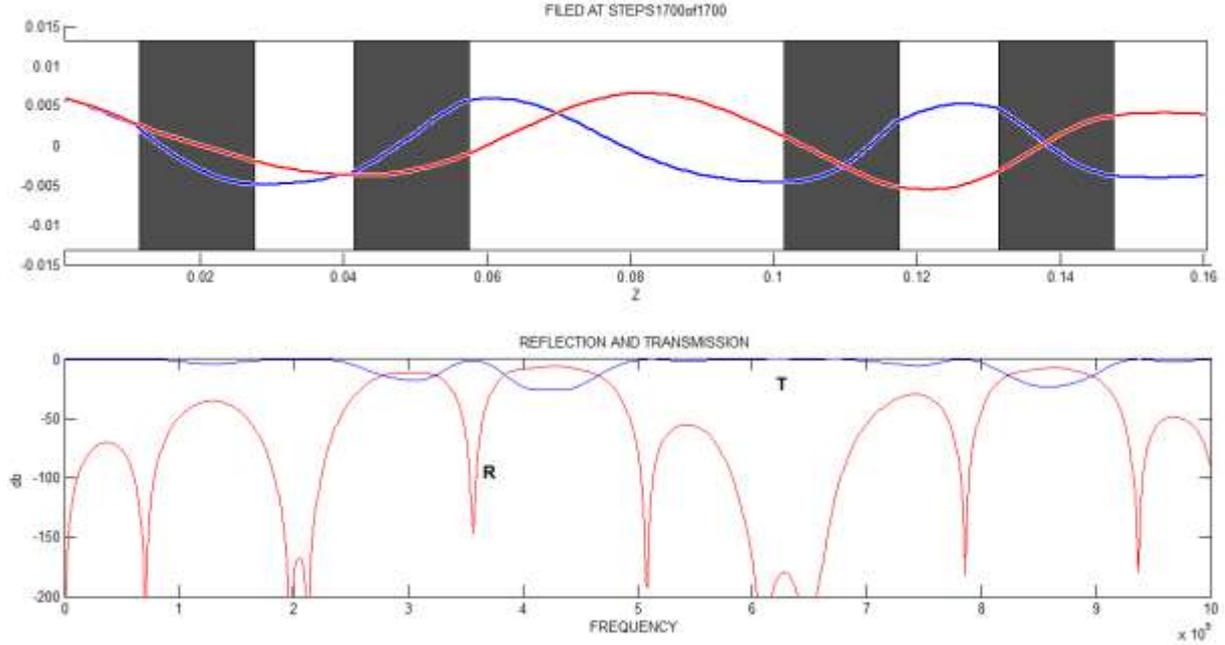
درس معامل الانعكاس للتوزيع التجزئي لشريط كانتور ذو البعد التجزئي $D=\log_2/\log_3$ المكون من أعمدة من السيلكون والهواء، حيث دليل انكسار السيلكون ($n_1=3.44$)، ودليل انكسار الهواء ($n_0=1$)، ومجال التردد (0-10) Ghz وأبعاد الشرائح (1.5 cm).



الشكل (7) البنية التجزئية أحادية البعد ذات البعد التجزئي $D=\log_2/\log_3$ المكون من السيلكون والهواء

1-3- بنية مكونة من التيفلون والهواء

درس معامل الانعكاس للتوزيع التجزئي لشريط كانتور ذو البعد التجزئي $D=\log_2/\log_3$ المكون من أعمدة من السيلكون والهواء، حيث دليل انكسار التيفلون ($n_1=1.4$)، ودليل انكسار الهواء ($n_0=1$)، ومجال التردد (0-10) Ghz وأبعاد الشرائح (1.5 cm).



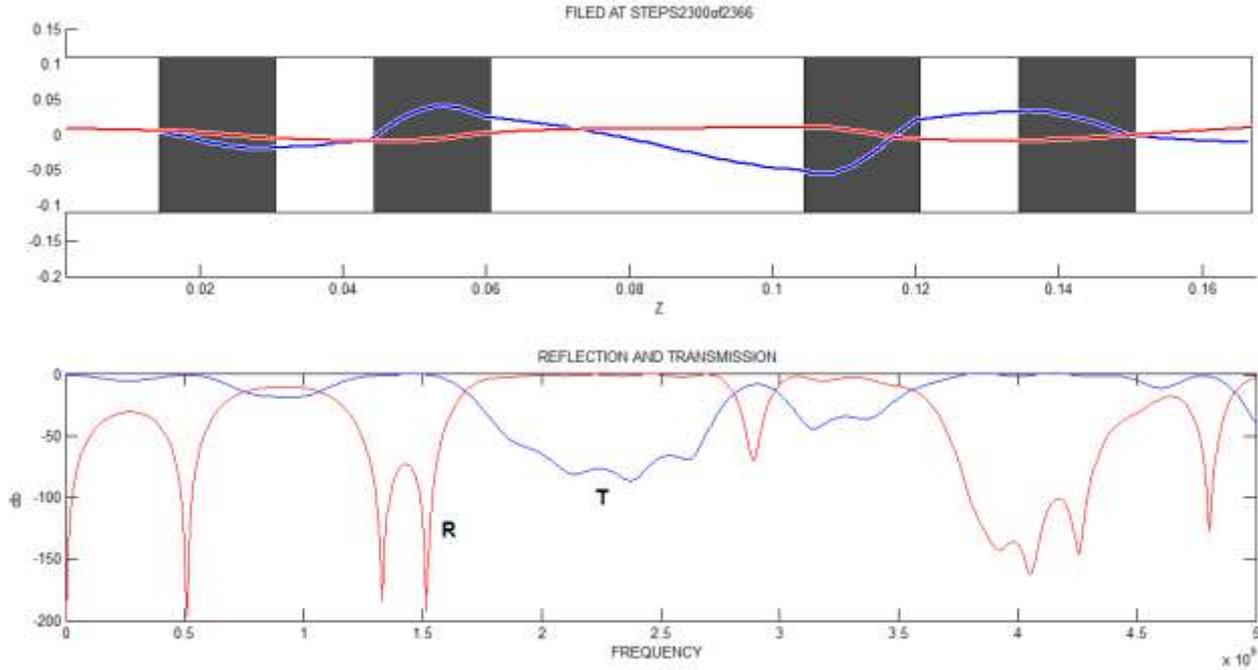
الشكل (8) البنية التجزئية أحادية البعد ذات البعد التجزئي $D=\log 2 / \log 3$ المكون من التيفلون والهواء

نلاحظ أن تغيير نوع المادة المكونة للتركيب التجزئي يؤدي إلى اختلاف مواقع توضع حزم التميرير ضمن حزم المنع، و اختلاف في توزيع الحقل الكهربائي ضمن البنى المقترحة، وهذا سببه أن أنماط الحقول الكهربائية ذات الترددات المنخفضة تتمركز طاقتها في مناطق ذات ثابت العازلية العالية، أما أنماط الحقول الكهربائية ذات الترددات المرتفعة تتمركز طاقتها في مناطق ذات العازلية المنخفضة، وكلما كان الفرق بين ثوابت العازلية للبنية المدروسة أكبر كلما كانت حزمة المنع الترددية أكبر وهذا ما يفسر ظهور حزمة منع في بنية (السيلاكا هواء) أكبر من حزمة المنع في بنية (الزجاج هواء) عند نفس المجال الترددي [14][15].

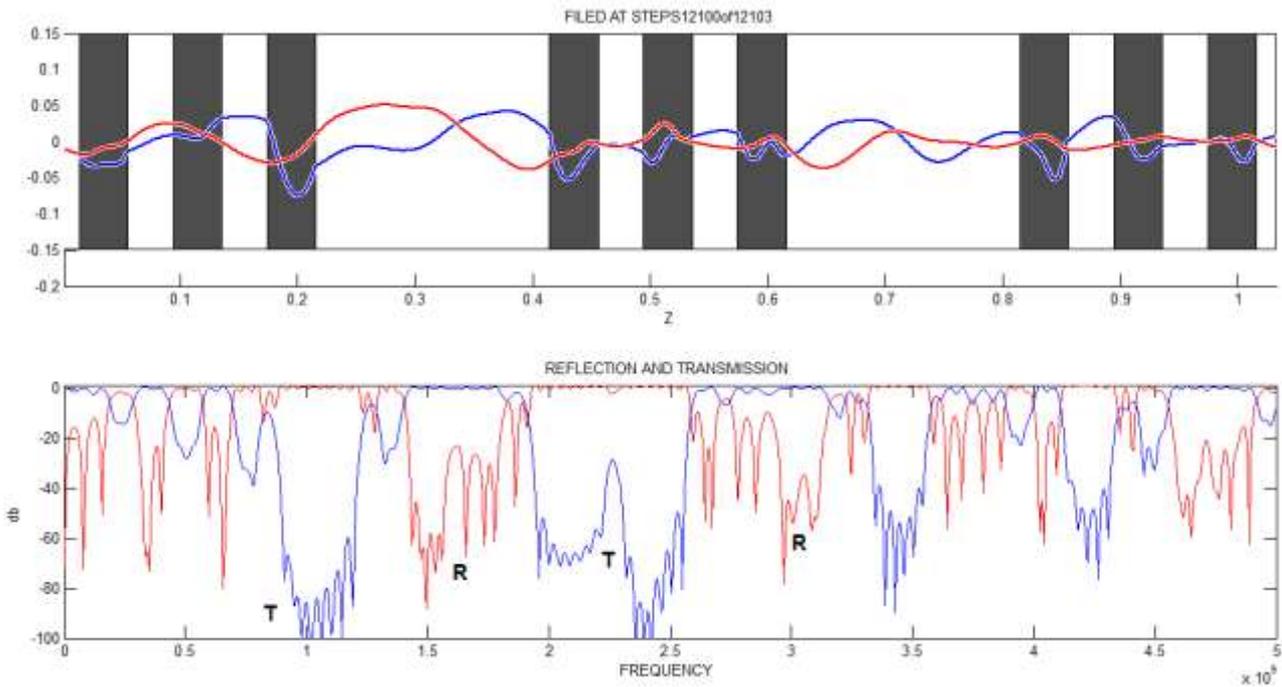
2- دراسة تغيير البعد التجزئي

لمعرفة أثر تغير البعد التجزئي على معامل الانعكاس، نستعويض عن النموذج المدروس بشرط كانتور ذو بعد تجزئي $D=\log 3 / \log 5$ مكون من الزجاج والهواء، له نفس أبعاد الشرائح المكونة للبنية، يتشكل هذا النموذج انطلاقاً من تقسيم الصفيحة الأولية وذي دليل الانكسار ($n_1=2.2$) إلى خمس قطع ذات طول متساو، (هنا معامل التجزئي $p=1/5$) وإزالة قطعتين في المنتصف عند درجة التجزئي الأولى $S=0$ ، ونكرر العملية ذاتها من أجل درجة التجزئي الثانية، وهكذا بالنسبة إلى المرحلة الثالثة للتجزئي.

1-2 زجاج هواء ($D=\log 2/\log 3$)



الشكل (9) البنية التجزئية أحادية البعد ذات البعد التجزئي $D=\log 2/\log 3$ المكون من الزجاج والهواء ($D=\log 3/\log 5$) زجاج هواء

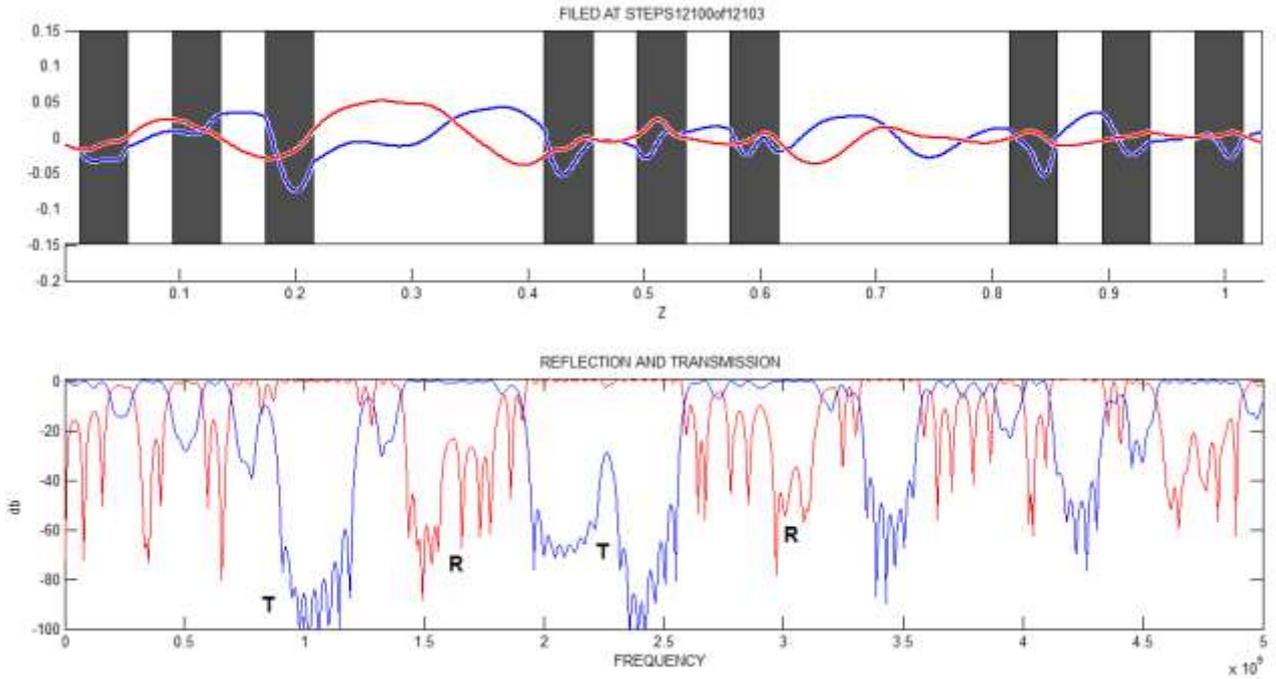


الشكل (10) البنية التجزئية أحادية البعد ذات البعد التجزئي $D=\log 3/\log 5$ المكون من الزجاج والهواء

نلاحظ من الشكلين (9-10) أن تغيير البعد التجزئي لنفس طول القطعة (L)، يؤدي إلى تغيير أطوال الأجواف الطنينية في التركيب، وهذا يؤدي إلى تغيير توزيع حزم التمرير الموجودة ضمن حزم المنع الترددي [16].

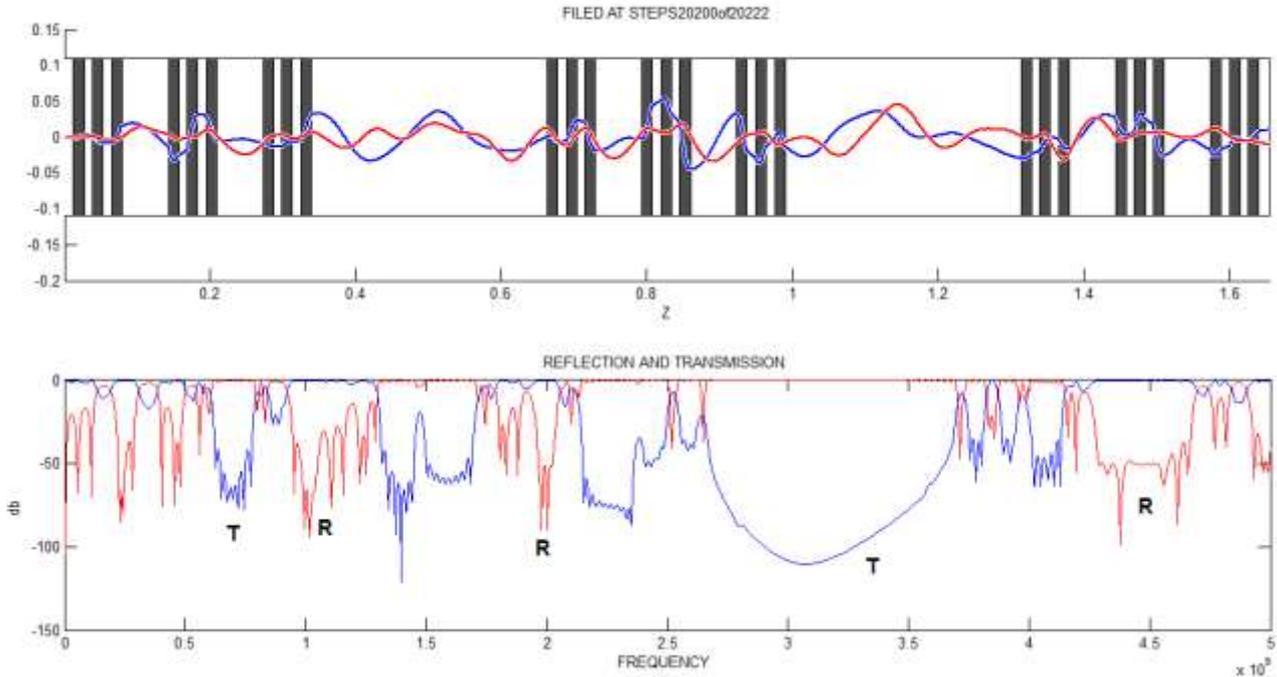
3-دراسة أثر تغيير درجة التجزيء

لدراسة أثر تغيير درجة التجزيء على معامل الانعكاس، ستتم دراسة شريط كانتور ذو بعد تجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكون من الزجاج والهواء عند درجة تجزيء $(s=2)$ و عند درجة تجزيء $(s=3)$
 3-1- شريط كانتور ذو بعد تجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكون من الزجاج والهواء عند درجة تجزيء $(s=2)$



الشكل (11) شريط كانتور ذو بعد تجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكون من الزجاج والهواء عند درجة تجزيء $(s=2)$

3-2- شريط كانتور ذو بعد تجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكون من الزجاج والهواء عند درجة تجزيء $(s=3)$



الشكل (12) شريط كانتور ذو بعد تجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكون من الزجاج والهواء عند درجة تجزيء $(s=3)$

نستنتج أنه بتغيير درجة التجزيء: يتغير عدد حزم المنع، يتغير عرض حزم المنع، تتغير مواقع حزم التمرير، يتغير عدد حزم التمرير.

الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت هذه الدراسة إمكانية تصميم وتطبيق المرشحات عالية الانتقائية، عن طريق تصميم بنية مكونة من تعاقب شرائح من مواد موجبة بشكل تجزيئي، حيث أدى دراسة الهندسة التجزيئية باستخدام طريقة الفروق المحدودة (FDTD) إلى الحصول على مرشحات تجزيئية ذات كفاءة عالية (من خلال دراسة وتحليل معامل الإرسال والانعكاس لهذه المرشحات عند تغيير معاملات الجسم التجزيئي ونوع المادة المدروسة)، وقد ساهمت الهندسة التجزيئية بتصميم مرشحات تعطي حزم تمرير أو منع دون إحداث خلل في البنى الدورية، الأمر الذي مكننا من الحصول على نماذج تصميمية أكبر.

المراجع:

- [1] JOHN D.JOANNOPOULOS, STEVEN G.JOHNSON, JOSHUA V. N.WINN, ROBERT D.MEADE : *Photonic Crystal, Modeling The Flow Of Light, Second Edition* ,Princeton University 2008
- [2] KAYA ,A. *An Investigation With Fractal Geometry Analysis Of Time Series* Izmir July, 2000.750.
- [3] FALCONER, K. *Fractal Geometry Mathematical Foundations And Applications. Second Edition, University Of St Andrews, Uk Wiley* 2003,750.
- [4]BERTOLOTTI ,M ;MASCIULLI ,P;SIBILIA,C ;WIJNANDS,F ;HOEKSTRA, H. *Transmission Properties Of A Cantor Corrugated Waveguide. Optical Society Of America Vol. 13, No.3,1996, 628-634.*
- [5] LORENZO ROSA, *Thermal Emission Control Via Band gap Engineering In A periodically Designed Nanophotonic Devices. Nanomaterials , Issn 2079-4991 May 2015,814-825*
- [6]MONSORIU ,A; ZAPATA-RODRIGUEZ,C.J ;SILVESTRE,E; FURLAN,W.D. *Cantor -Like Fractal Photonic Crystal Waveguides. Optics Communication No.252 , 2005, 46-51.*
- [7]SAFIULLAH KHAN, MUHAMMAD J. MUGHAL , QAISAR A. NAQVI *Reflection And Transmission Of An Electromagnetic Wave Due To Fractal Slab Sandwiched Between Ordinary Material Electromagnetics Research Letters, Vol. 57, 1-7, 2015*
- [8]SABAH, C., F. DINCER, M. KARAASLAN, E. UNAL, H. T. TASTAN, AND K. DELIHACIOGLU, "Transmission Tunneling Through The Periodic Sequence Of Double-Negative And Double-Positive Layers," *13th Conference On Microwave Techniques, 2013*
- [9] G, DWIGHT, X, SUN. *Reflection From Fractal Multilayers. Proceeding Of Optics Letters , Vol 15,No24, 1990, 1428-1430.*
- [10]A. TAFLOVE, S. HAGNESS, *Computational Electrodynamics, Second Edition, Artech House. 2000.890*
- [11] A. TAFLOVE, *Advances in Computational Electrodynamics, Artech House. 1998.900*
- [12]J. SCHNEIDER *Understanding The Finite-Difference Time-Domain Method, Artech House, 2015. 430*
- [13] H.YANG , M.RAJ *FDTD Modeling of Metamaterials Theory and Applications , Artech House, 2014. 380*
- [14]J.D. JOANNOPOULOS, R.D. MEADE, J. N. WINN, '*Photonic Crystals: Molding The Flow Of Light*', Princeton University Press, Princeton, Nj, 1995.
- [15].JOHRI, M ; AHMED,Y; BEZBORUAH,T . *Photonic Band Gap Materials: Technology, Applications And Challenges. Current Science , Vol 92,No10,25 May 2007,1361-1365.*
- [16]A.S. SALEH AND H. AUBERT : *Self-Similar Multi-Slab Media With Variable Lacunarity For The Design Of Microwave Filters, ,, Electronics Letters, Vol.37, No. 17, Pp.1071-1073, August 2001*
- [17]A. V. LAVRINENKO, S. V. ZHUKOVSKY, K. S. SANDOMIRSKI, S. V. GAPONENKO, *Propagation of classical waves in nonperiodic media: Scaling properties of an optical Cantor filter, Physical Review E, Volume 65, 036621,2002,1-8*