

تصميم مرشح عالي الانتقائية يعتمد التوزع التجزيئي لشرائح موجبة وسالبة معامل السماحية الكهربائية باستخدام (HFSS)

الدكتور السموعل صالح*

الدكتور علي زيد**

محمد اسعد***

تاريخ الإيداع 17 / 2 / 2014. قُبِلَ للنشر في 15 / 4 / 2014

□ ملخص □

اهتمت الأبحاث في السنوات الأخيرة بتفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية مع التراكيب المصنعة ذات معامل السماحية الكهربائية (ϵ) و النفاذية المغناطيسية (μ) السالبيين، تدعى هذه التراكيب بما وراء المادة (Metamaterial). تصمم هذه التراكيب بحيث تعطي خصائص كهرومغناطيسية لا تعطىها المواد الطبيعية المعروفة، أي أنها تكتسب خصائصها الكهرومغناطيسية من خلال تركيبها، وليس من خلال المواد المكونة لها، وهي تمتلك خواص جديدة تحدد آلية مختلفة لانتشار الأمواج الكهرومغناطيسية خلالها. درست هذه المواد بشكل نظري، وصنعت من أجل العديد من التطبيقات وخاصة في المجال الميكروي والضوئي. يعتمد هذا البحث على هذه المواد، ويوضحها ويحلل الخواص الكهرومغناطيسية الناتجة عن توضع أعمدة من هذه الشرائح سالبة معامل السماحية الكهربائية (ϵ) والنفاذية المغناطيسية (μ) (MMS) بشكل تجزيئي ضمن وسط مكون من مواد طبيعية. ويقارن العمل هذه الخواص مع الخواص الكهرومغناطيسية الناتجة عن توضع أعمدة من المواد الطبيعية بشكل تجزيئي أيضاً، ويتم استخدام المحاكى (HFSS High Frequency Structure Simulator) الذي يعتمد طريقة العنصر المنتهي في حساب كل من معامل الإرسال والاستقبال لهذه التراكيب.

الكلمات المفتاحية: الهندسة التجزئية، التوزع الكانتوري، المواد سالبة العازلية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية (Metamaterial)

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

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.

Designing a High Selective Filter based on the Fractal Distribution of Slabs with Positive and Negative Permittivity and Permeability Using HFSS

Dr. Alsamawal Saleh*
Dr. Ali Zaid**
Mohammad Asaad***

(Received 17 / 2 / 2014. Accepted 15 / 4 / 2014)

□ ABSTRACT □

Research over the past years has focused on electromagnetic waves and meta-materials. These structures are designed to give electromagnetic properties that cannot be produced by traditional, well known natural structures. Meta-materials obtain their electromagnetic properties from their structures, not from their components. Meta-materials have new properties that define different mechanisms for electromagnetic wave propagation. These materials have been studied theoretically and have been used in many applications, especially microwaves and photonic fields. This research depends on these kinds of material, explains them, and analyzes the electromagnetic properties that yield from putting columns from these slabs with negative permittivity and permeability coefficient (MMs) in a fractal distribution of a natural medium. This research also compares the resulting properties with the electromagnetic properties that yield natural materials distributed the same way. We use the HFSS simulator which depends on the finite element method for calculating transmission and reflection coefficient for these structures.

Keywords: fractals, cantor bar, Meta-material

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

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

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

مقدمة:

تطرقنا في الأبحاث السابقة إلى دراسة تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية مع المواد الطبيعية المعروفة، الأمر الذي قاد إلى تصميم العديد من الأجهزة، والتطبيقات التقنية المستخدمة في المجالات العلمية المختلفة. يعد كل من معاملي الإرسال والانعكاس من أهم العوامل التي تحدد خصائص التفاعل بين الأمواج الكهرومغناطيسية، والمواد مختلفة السماحية الكهربائية (ϵ) والنفاذية المغناطيسية (μ). لذا فإن دراسة تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية مع مواد أو تركيب صناعية ذات سماحية كهربائية (ϵ) ونفاذية مغناطيسية (μ) سالبة يمكن أن ينتج معاملات إرسال وانعكاس مختلفة عن ما ينتج تفاعل هذه الأمواج مع المواد الطبيعية المعروفة. تسمى هذه التركيب سالبة السماحية الكهربائية و النفاذية المغناطيسية (Metamaterial)، ويتكون هذا الاسم من شقين الأول (Meta) وهي كلمة لاتينية الأصل تعني ما بعد أو ما وراء، والشق الثاني (material) تعني مادة وبالتالي يصبح معنى الكلمة ما وراء المادة. لقد أدى دمج مفهوم الهندسة التجزئية مع المواد سالبة السماحية الكهربائية و النفاذية المغناطيسية (Metamaterial) إلى تصميم العديد من التجهيزات الخاصة بمنظومة الاتصالات مثل (الهوائيات - المرشحات-الألياف الضوئية).

أهمية البحث وأهدافه:

يقدم البحث لمحة مختصرة عن المواد سالبة السماحية الكهربائية وسالبة النفاذية المغناطيسية (MMS) وتطبيقاتها. وسيقدم البحث اقتراحاً لمرشح مؤلف من بنية تجزئية أحادية البعد، تحوي شرائح من مواد موجبة السماحية الكهربائية (ϵ) والنفاذية المغناطيسية (μ)، وسنحلل خصائصه، و معاملات الإرسال والانعكاس له، ونقارنه مع نفس البنية التجزئية الحاوية على شرائح من مواد سالبة السماحية الكهربائية (ϵ) و النفاذية المغناطيسية (μ) باستخدام المحاكى (HFSS)، وسيتم دراسة التغيرات التي تحصل على كل من معاملي الإرسال والانعكاس عند تغيير معاملات الجسم التجزئي.

طرائق البحث ومواده:**1-الهندسة التجزئية**

تستخدم الهندسة التجزئية لوصف أشكال في الطبيعة لا يمكن وصفها باستخدام الهندسة الإقليدية، إذ يعود أصل الكلمة لعام 1975 حيث صاغها العالم ماندلبورت من اللغة اللاتينية (fractus)، والتي تعني كسر أو جزء. ويعرف الجسم التجزئي بأنه جسم غير منتظم، أو هو شكل هندسي غير نظامي غير قابل للوصف أو القياس باستخدام الهندسة الإقليدية، ويتصف بأنه يمتلك خاصية التشابه الذاتي أو التكرار للشكل العام ومن أهم أمثلته (سيبيرينسكي -فان كوخ- شريط كانتور) [1].

يوصف الجسم التجزئي بثلاث معاملات :

1-البعد التجزئي (Fractal Dimension (D)) : هو عدد غير صحيح يعطى بالقانون :

$$D = \frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{\rho}\right)}$$

حيث N عدد القطع أو النسخ المتشابهة في التركيب عند درجة التجزء الأولى ، ρ معامل التقسيم أو التصغير

لهذا الجسم .

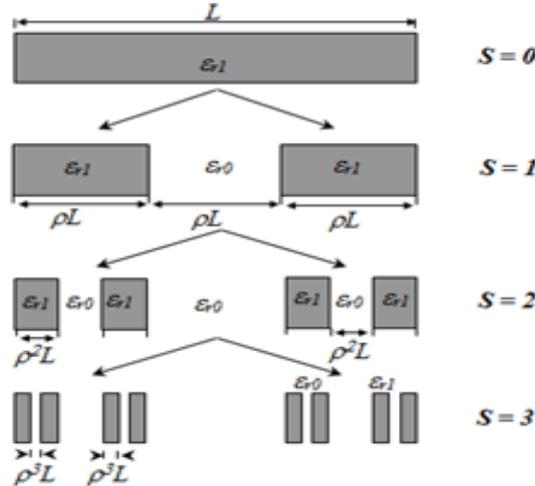
2-درجة التجزيء (Stage of growth (S)) : بالنسبة لعملية التكرار في الحصول على الجسم التجزيئي فإن هذه العملية تجري على عدة مراحل، كل مرحلة تسمى درجة التجزيء والتي تبدأ من الدرجة $S=0$ التي تمثل الجسم الأساسي، وتستمر حتى اللانهاية حيث تتعدم المادة أي تصبح قطع الجسم صغيرة جداً. هذه العملية تقوم بتطبيق علاقة البعد التجزيئي في كل مرحلة من مراحل التجزيء S [2].

3 -معامل تغيير أبعاد الفجوات (Lacunarity) :

العنصر الأساسي الثالث في تكوين الجسم التجزيئي، ويعبر عن توزع الفراغات أو الفجوات داخل الجسم التجزيئي. الحاجة إلى هذا المعامل (Lacunarity) تكمن في التعبير عن الجسم التجزيئي ذات البعد D بعدة أشكال لها نفس البعد التجزيئي، 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-شريط كانتور cantor bar

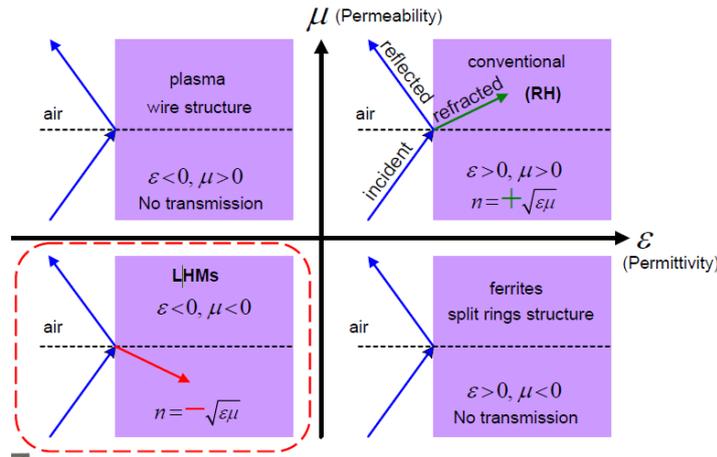
يمثل شريط كانتور (cantor bar) قطعة مستقيمة طولها (L) ، ذات دليل انكسار (n) متوضعة في الفراغ الحر ذي قرينة الانكسار (n_0) . يتم تقسيم القطعة إلى (X) قطع متساوية بمعامل تقسيم $(\rho = 1/X)$ ثم ننزع (Y) قطعة من الشكل بحيث $(Y < X)$ لنحصل على قطع عددها $(X-Y)$ تشبه الجسم الأصلي، ولكن أقل طول بمقدار نسبة 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 للتجزيء 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 التجزيئي $D = \log 2 / \log 3$ المكون من الزجاج والهواء يتشكل هذا النموذج انطلاقاً من تقسيم الشريط الأولي ذي الطول L وذي 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 التجزيئي، 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 للتجزيء نحصل على ثمان قطع مصغرة بمقدار $\rho^3 = 1/27$ كما هو مبين في الشكل (1) [4][3].



الشكل (1) يوضح توزيع شريط كانتور ذو البعد $D = \log 2 / \log 3$ من أجل المراحل التجزيئية

3-المواد سالبة السماحية الكهربائية و النفاذية المغناطيسية (Metamaterials)

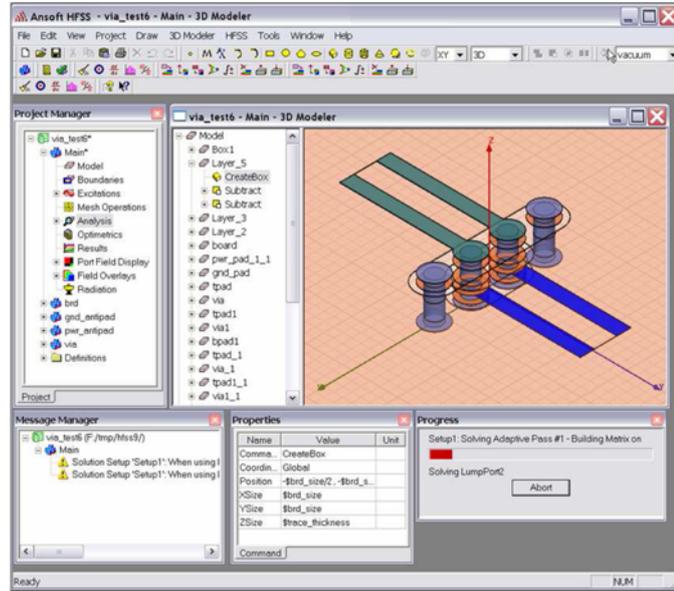
إن الدراسة النظرية للمواد (MMS) المسماة (Left Hand Material LHM) تمت منذ العام 1968 من قبل العالم الروسي Veselago. الذي قام بدراسة نظرية لانتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في وسط مع قيم أنية سالبة لثابت العازلية الكهربائية ϵ والنفاذية المغناطيسية μ ، ولكن لم تكن هناك تأكيدات تجريبية [5]. في العام 1996 بين العالم pendry وشركاؤه أن صف دوري من الأسلاك النحاسية مع أنصاف أقطار، ومباعدات محددة سوف ينتج استجابة كهربائية ذات ϵ سالبة. وبعد ثلاث سنوات وجد أن صف دوري من رنانات الحلقة المشطورة، سيكون له مجال ترددي تكون فيه النفاذية سالبة. وفي العام 2001 تصور العالم Smith وشركاؤه أنه إذا تم دمج هاتين المادتين الصناعيتين المقترحتين من قبل Pendry بطريقة ما فإن المركب سيكون مادة بسماحية ونفاذية سالبان معا، عندها تم صنع، وبناء مثل هذه المواد الصناعية المركبة، ولاحظوا خصائصها المادية. وكانت Metamaterial الأولى التي تم تصنيعها على شكل صف ثنائي البعد من خلايا وحدة (unit cell) مكررة من الأسلاك النحاسية، و رنانات الحلقة المشطورة حيث صف رنانات الحلقة المشطورة (split-ring resonator SRR) يسهم في النفاذية السالبة. وصف الأسلاك النحاسية يسهم في السماحية السالبة [6][7]. وبسبب الخصائص الكهرومغناطيسية غير العادية لمواد (MMS) فإن لها تطبيقات عديدة منها: إنشاء أنواع جديدة من الهوائيات بما يؤدي إلى تحسين أداء النظام كتحسين القدرة التي يشعها الهوائي، كما أن خاصية السماحية و النفاذية السالبتين يمكن أن تسمح بتصغير حجم الهوائي، واتجاهية عالية، وقابلية ضبط تردد العمل، إضافة إلى زيادة مجال مسح الإشعاع من خلال استخدام الأمواج الأمامية والخلفية، كما يمكن استخدامها في تصميم مرشحات تمرير حزمة فعالة، وفي العدسات الفائقة (Super Lens)، حيث تستخدم العدسات الفائقة لتحقيق دقة أكبر مما يسمح به حد الانحراف الملازم للعدسات، أو الأجهزة البصرية التقليدية، وفي أجهزة الإخفاء (Cloaking devices). إن Metamaterial هي الأساس في بناء أجهزة حجب عملية، حيث تقوم بحرف الأشعة الميكروية بالنتيجة تتدفق حول جسما مخفيا مع قليل من التشويه، فيظهر تقريبا كما لو أن لاشيء هناك على الإطلاق [8][9].



الشكل (2) يوضح العلاقة بين دليل الانكسار مع السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية $n = \sqrt{\epsilon\mu}$

4-محاكي (HFSS) (High Frequency Structure Simulator)

أصدر هذا المحاكي من قبل (ANASOFT)، يعتمد على طريقة العنصر المنتهي (the finite element method) (FEM) في محاكاة البنى، والأشكال المقترحة، حيث يحاكي، ويحلل، ويحسب عدداً من البارامترات للبنى ذات الترددات العالية وأحد البرامج المستخدمة لتصميم الهوائيات، وتصميم عناصر الدارات الالكترونية المعقدة متضمنة المرشحات، وخطوط النقل وقد طور من قبل البروفسور (Zoltan Cendes) وطلابه في جامعة (Carnegie Mellon University) يستخدم واجهة رسومية تتيح تحديد، ورسم البنية المطلوبة، وتحديد التردد العامل، واختيار نوعية المادة، واختيار الخرج المرغوب، ويقدم إمكانية حساب البارامترات مثل (S)، معاملات الإرسال والانعكاس، تردد الرنين (f)، مخطط الحقول، وقد تم الاعتماد عليه في حل ومحاكاة البنى، والأشكال المقترحة للبنى التجزيئية المقترحة، واختيار المواد المدروسة، والتردد العامل، ورسم كل من معاملات الإرسال والانعكاس، ورسم الحقول الكهربائية والمغناطيسية ضمن البنية المدروسة.



الشكل (3) محاكي ال (HFSS)

النتائج والمناقشة:

تم اختيار شريط كانتور كمثال عن الأجسام التجزيئية المكونة من شرائح من مواد ذات دليل انكسار موجب وسالب كأساس في دراستنا، لأن الهندسة التجزيئية تعطي عددا من المعاملات التي تضيف درجات حرية أكثر في تصميم أي عنصر ميكروي، إضافة إلى أن التركيب التجزيئي يحوي عددا متغير الأبعاد من الفجوات، ويمكن التحكم بها، من قبل معاملات الجسم التجزيئي، وبالنتيجة لا نحتاج إلى صنع خلل في الترتيب الدوري لهذه المواد. درس هذا العمل معامل الإرسال (T) ومعامل الانعكاس (R) الناتجين عن الجسم التجزيئي المقترح سابقا وذلك باستخدام محاكي (HFSS).

المرحلة الأولى: قمنا بدراسة أثر تغيير نوع المادة المكونة للتوزيع التجزيئي عن طريق دراسة معامل الانعكاس لبيئة مكونة من (الزجاج والهواء) ومقارنته مع معامل الانعكاس لبيئة مكونة من (السيلاكا والهواء)

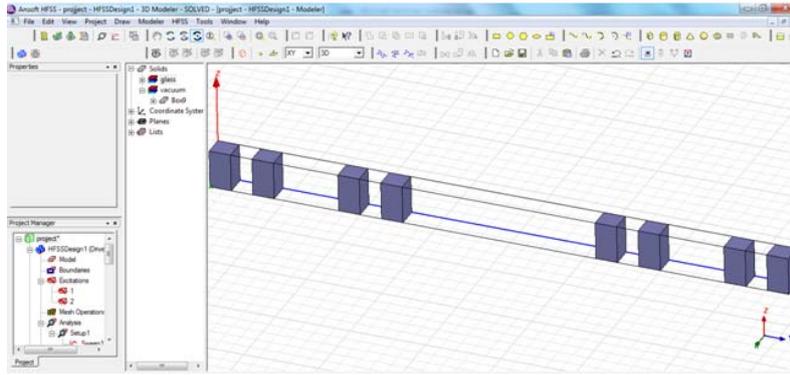
المرحلة الثانية: قمنا بدراسة أثر تغيير البعد التجزيئي لبنية مكونة من (الزجاج والهواء) عن طريق دراسة معامل الانعكاس لبينة ذات بعد تجزيئي ($D=\log 2 / \log 3$) ومقارنته مع معامل الانعكاس لبينة ذات بعد تجزيئي ($D=\log 3 / \log 5$)

المرحلة الثالثة : قمنا بدراسة تأثير المواد سالبة السماحية الكهربائية و النفاذية المغناطيسية على معامل الانعكاس عن طريق دراسة معامل الانعكاس لبينة مكونة من (الزجاج والهواء) ومقارنته مع معامل الانعكاس لبينة مكونة من (المواد سالبة السماحية الكهربائية و النفاذية المغناطيسية والهواء)

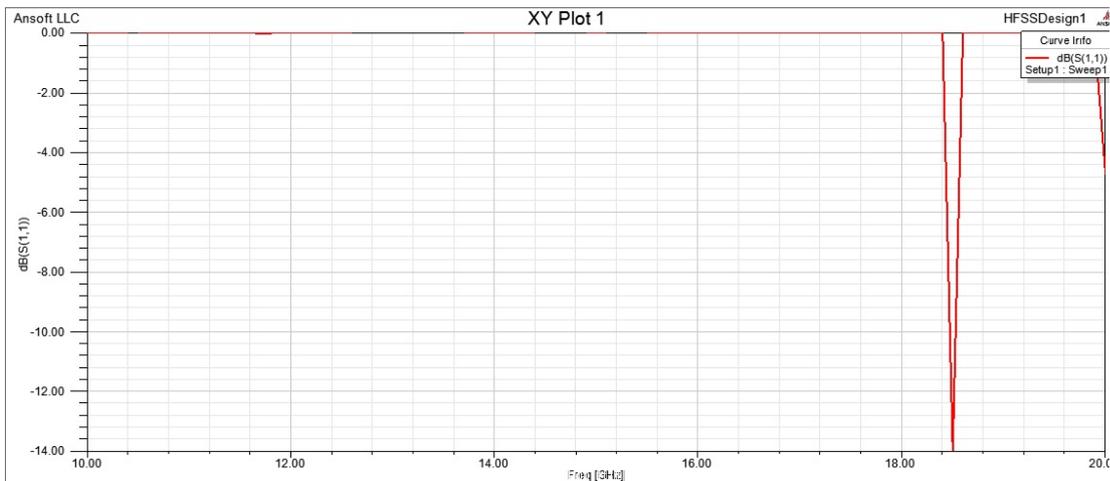
1-دراسة أثر تغيير نوع المادة المكونة للتوزع التجزيئي:

1-بنية مكونة من الزجاج والهواء

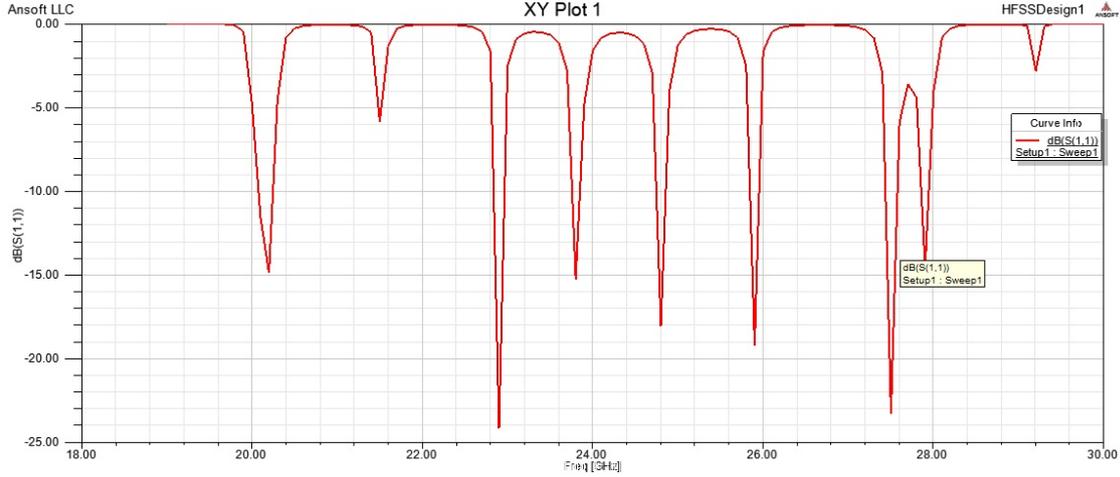
بداية درس هذا العمل معامل الانعكاس للتوزع التجزيئي لشريط كانتور ذي البعد التجزيئي $D=\log 2 / \log 3$ المكون من أعمدة من الزجاج والهواء، حيث دليل انكسار الزجاج ($n_1=5.5$)، ودليل انكسار الهواء ($n_0=1$)، ومجال التردد العامل Ghz (10-30) وطول الصفيحة ($L=77.03\text{mm}$)، وأبعاد الشرائح (5-10 mm) نلاحظ من خلال الشكل (4,a,b,c-d) ظهور حزمتي تمرير ضمن حزمة المنع الترددية.



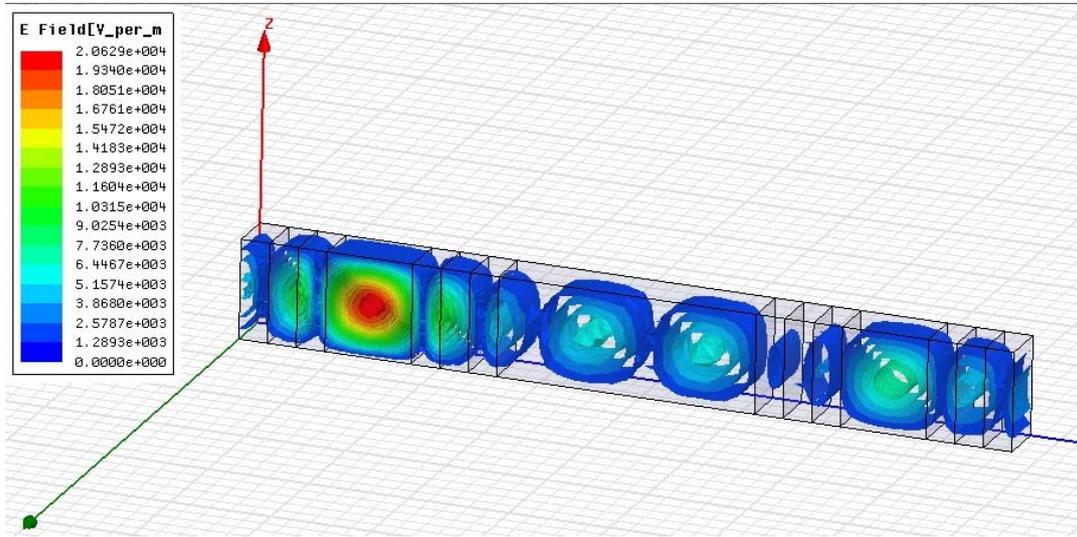
الشكل (a, 4) البنية التجزيئية أحادية البعد ذو البعد التجزيئي $D=\log 2 / \log 3$



الشكل (b, 4) معامل الانعكاس عن شريط كانتور ذو البعد $D=\log 2 / \log 3$ عند التردد 20Ghz ودرجة التجزيء $S=3$



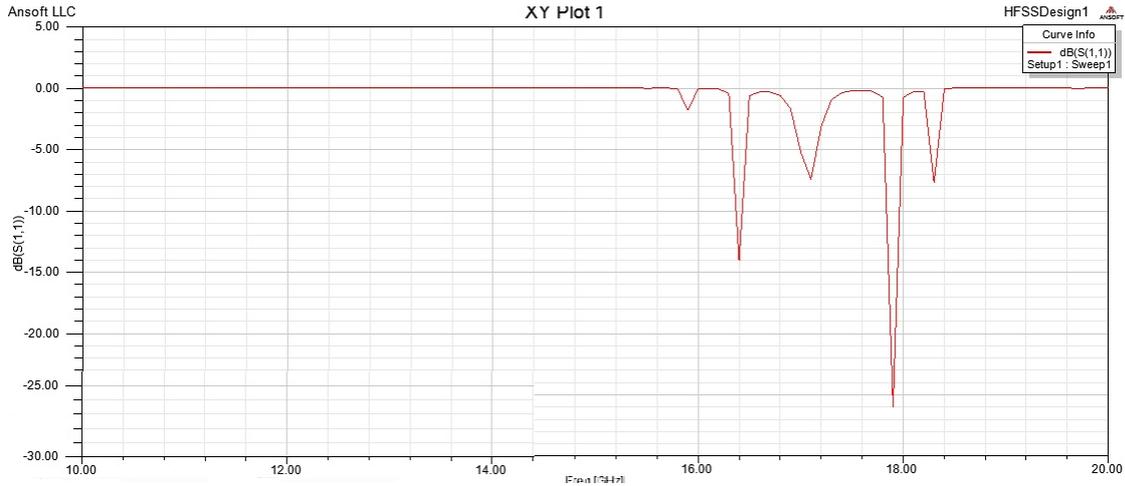
الشكل (4,c) معامل الانعكاس عن شريط كابتور ذو البعد $D = \log_2 / \log_3$ عند التردد 30Ghz ودرجة التجزيء $S=3$



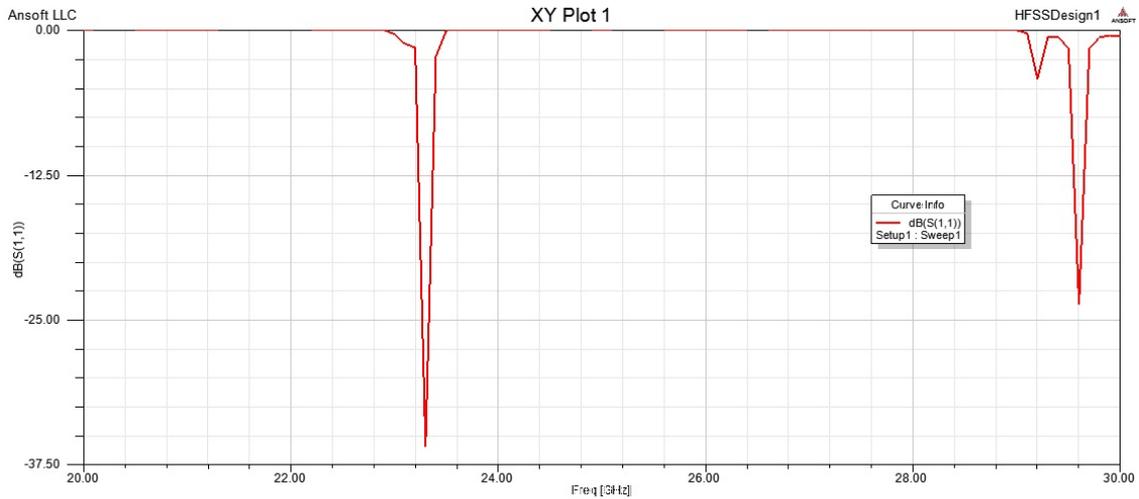
الشكل (4,d) توزع الحقل الكهربائي ضمن البنية

2-بنية مكونة من السيلكا والهواء

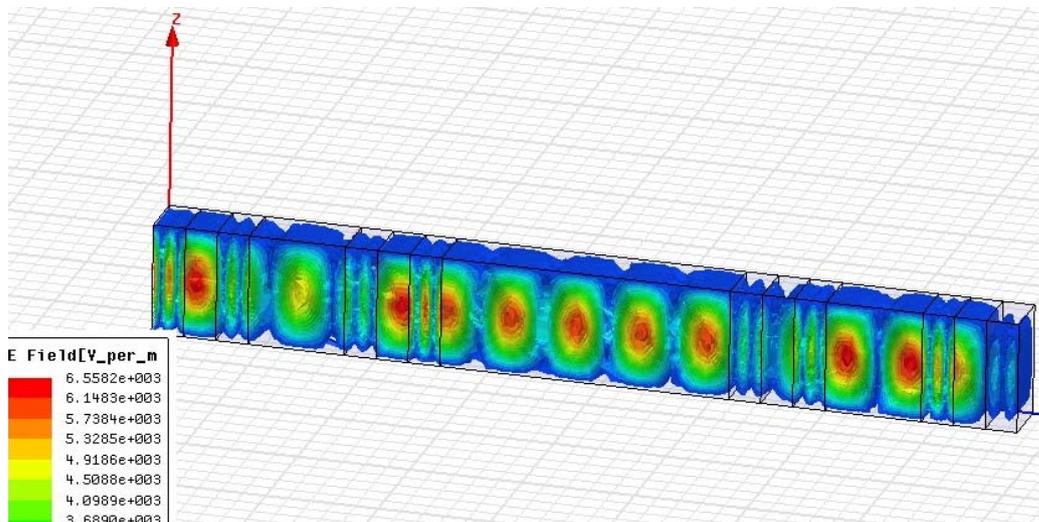
عند تغيير المادة المدروسة من الزجاج الى السيلكا، حيث دليل انكسار السيلكا ($n_1=11.9$) ودليل انكسار الهواء ($n_0 = 1$) والمجال الترددي العامل من (10-30) Ghz وطول الصفيحة ($L=77.03\text{mm}$) وأبعاد الشرائح (5-10 mm) الشكل (5 a,b,c)



الشكل (5,a) معامل الانعكاس عن شريط كانتور ذو البعد $D = \log 2 / \log 3$ عند التردد 20 Ghz ودرجة التجزيء $S = 3$ مكون من السيلكا



الشكل (5,b) معامل الانعكاس عن شريط كانتور ذو البعد $D = \log 2 / \log 3$ عند التردد 30 Ghz ودرجة التجزيء $S = 3$ مكون من السيلكا

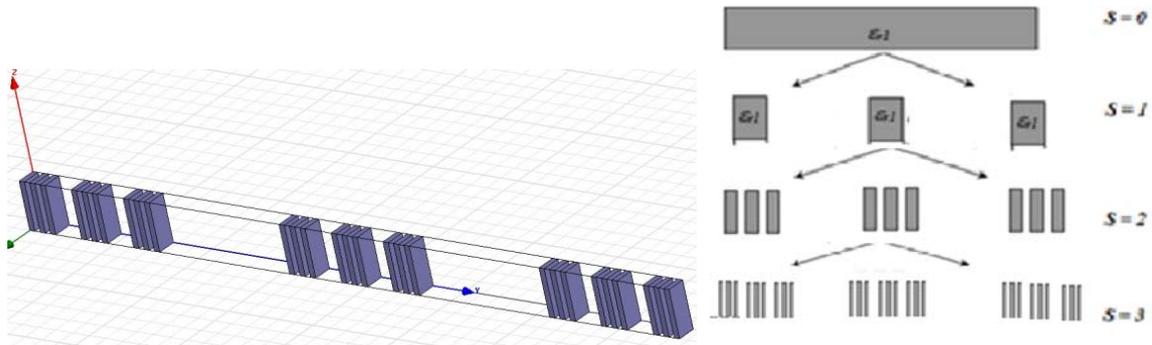


الشكل (5,c) توزيع الحقل الكهربائي ضمن البنية المدروسة

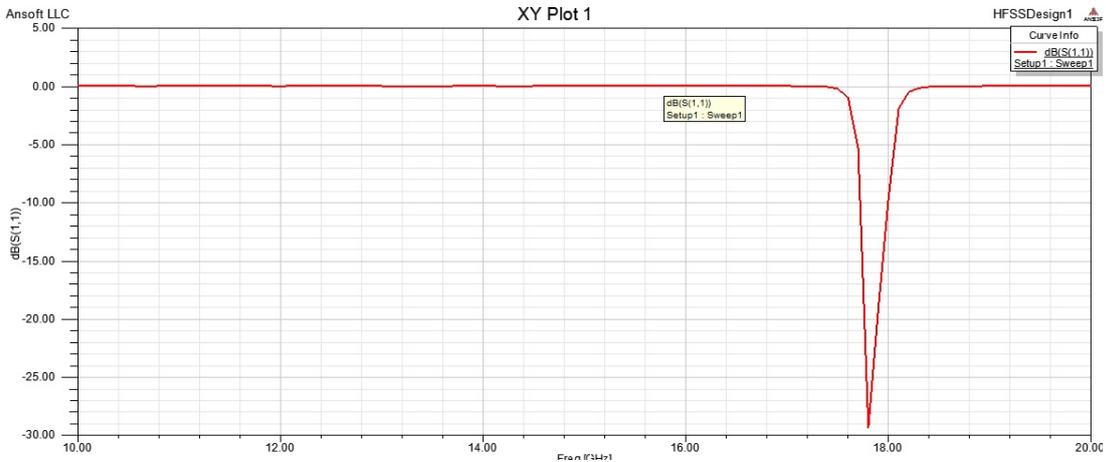
نلاحظ أن تغيير نوع المادة المكونة للتركيب التجزيئي يؤدي إلى اختلاف مواقع توضع حزم التميرير ضمن حزم المنع، واختلاف في توزيع الحقل الكهربائي ضمن البنى المقترحة، وهذا سببه أن أنماط الحقول الكهربائية ذات الترددات المنخفضة تتمركز طاقتها في مناطق ذات ثابت العازلية العالية، أما أنماط الحقول الكهربائية ذات الترددات المرتفعة تتمركز طاقتها في مناطق ذات العازلية المنخفضة، وكلما كان الفرق بين ثابت 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 العامل.

2-دراسة تغيير البعد التجزيئي

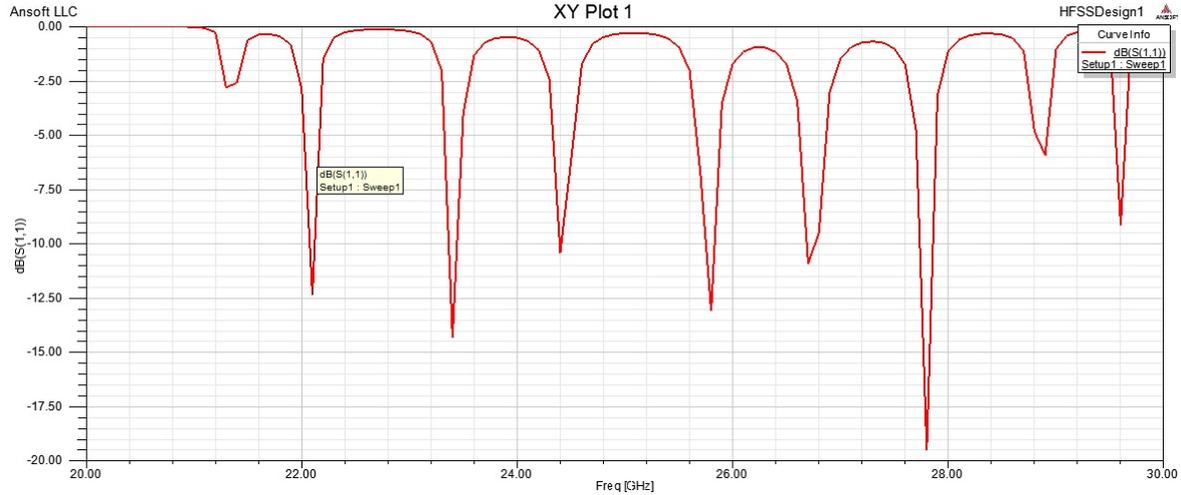
لمعرفة أثر تغيير البعد التجزيئي على معامل الانعكاس، نستعير عن النموذج المدروس بشريط كانتور ذي بعد تجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكون من الزجاج والهواء، له نفس أبعاد الشرائح المكونة للبنية (5-10 mm)، ونفس طول الصفيحة ($L=77.03$ mm) يتشكل هذا النموذج انطلاقاً من تقسيم الصفيحة الأولية ذو الطول ($L=77.03$ mm) وذي دليل الانكسار ($n_1=5.5$) إلى خمس قطع ذات طول متساو، (هنا معامل التجزيء $\rho=1/5$) وإزالة قطعتين في المنتصف عند درجة التجزيء الأولى $S=0$ ، ونكرر العملية ذاتها من أجل درجة التجزيء الثانية، وهكذا بالنسبة إلى المرحلة الثالثة للتجزيء نحصل على سبع وعشرين قطعة مصغرة كما هو مبين في الشكل (6,a).



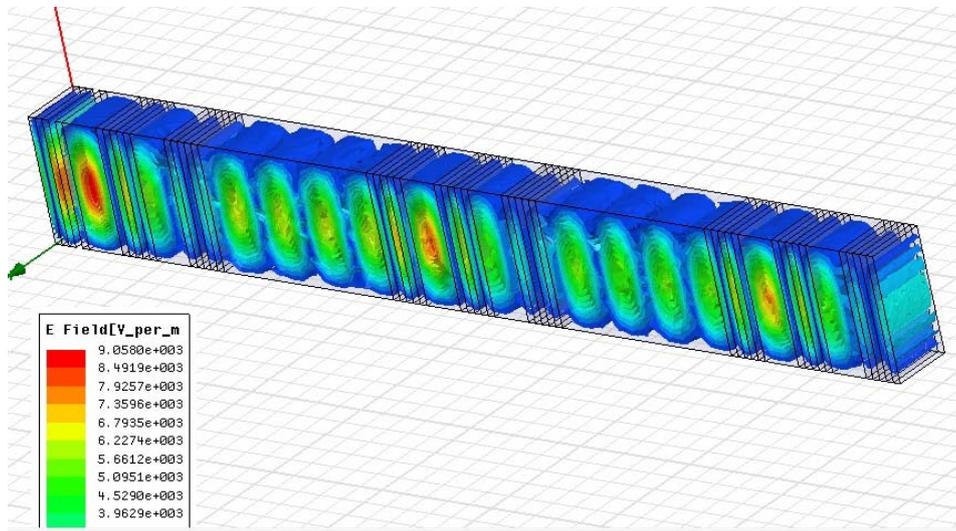
الشكل (6,a) شريط كانتور ذو البعد التجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكونة من الزجاج وهواء



الشكل (6,b) معامل الانعكاس عن شريط كانتور ذو البعد التجزيئي $D=\log 3/\log 5$ مكونة من الزجاج/هواء عند التردد 20Ghz ودرجة التجزيء $S=3$



الشكل (6,c) معامل الانعكاس عن شريط كانتور ذو البعد التجزيئي $D = \log 3 / \log 5$ مكونة من الزجاج /هواء عند التردد 30Ghz ودرجة التجزيء $S=3$

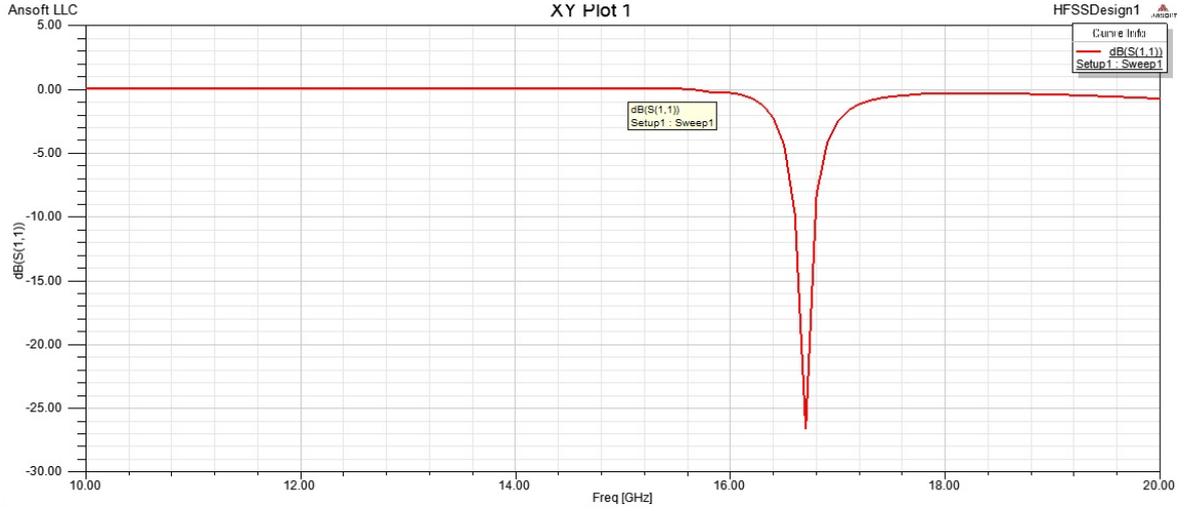


الشكل (6,d) توزيع الحقل الكهربائي ضمن البنية المدروسة

نلاحظ من الشكلين (6,b,c) أن تغيير البعد التجزيئي لنفس طول القطعة (L)، يؤدي إلى تغيير أطوال الأوجاف الطنينية في التركيب، وهذا يؤدي إلى تغيير توزيع حزم التمرير الموجودة ضمن حزم المنع الترددية.

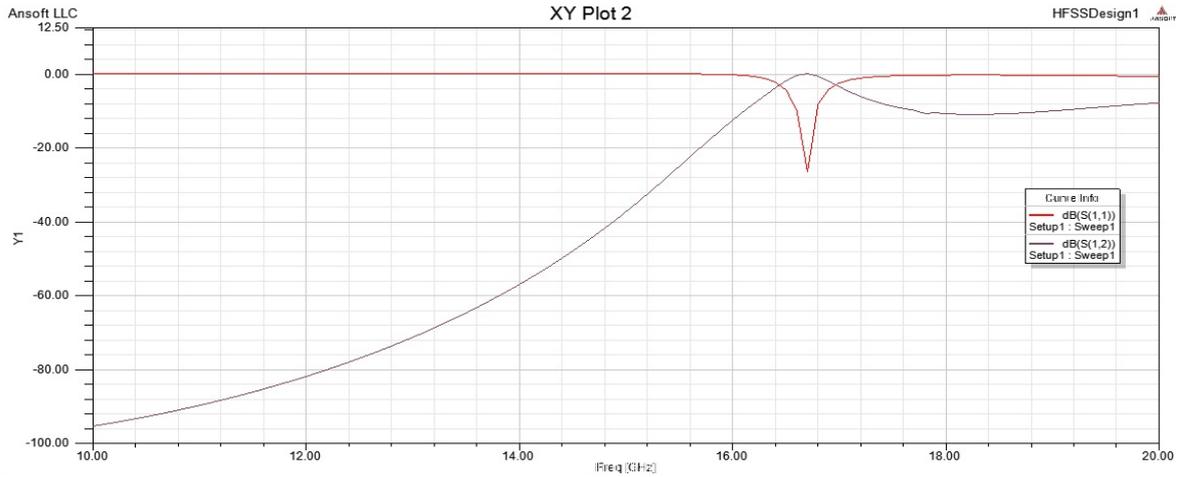
3-دراسة تأثير المواد سالبة السماحية الكهربائية وسالبة النفاذية المغناطيسية

لدراسة تأثير المواد سالبة دليل الانكسار (Metamaterial)، نقوم بحساب معامل الانعكاس للتوزيع التجزيئي ذي البعد التجزيئي $D = \log 2 / \log 3$ المكون من شرائح من (المواد سالبة دليل الانكسار (MMS) والهواء) حيث دليل انكسار السالب ($n_1 = -5.5$)، ودليل انكسار الهواء ($n_0 = 1$)، والمجال الترددي العامل (10-20) GHz، وطول الصفحة ($L = 77.03 \text{mm}$) وأبعاد الشرائح (5-10 mm)، حيث يتيح لنا (HFSS) إنشاء بنية تجزيئية تحتوي على هذا التوزيع التجزيئي، ودراسة معامل الانعكاس لها كما هو مبين في الشكل (7,a,b,c).



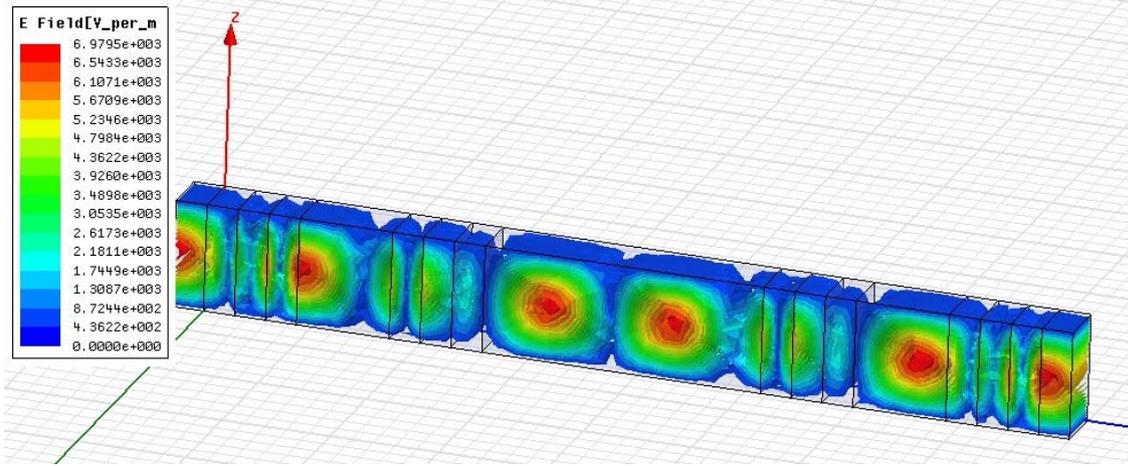
الشكل (7, a) معامل الانعكاس لبنية كانتور ذو البعد التجزيئي $D = \log 2 / \log 3$ مكونة

من مواد سالبة دليل الانكسار / هواء) عند التردد 20GHz ودرجة التجزيء $S = 3$



الشكل (7, b) معامل الارسال و الانعكاس لبنية كانتور ذو البعد التجزيئي $D = \log 2 / \log 3$

(مواد سالبة دليل الانكسار / هواء) عند التردد 20GHz ودرجة التجزيء $S = 3$



الشكل (7, c) توزيع الحقل الكهربائي ضمن البنية المدروسة

نلاحظ من تحليل معامل الانعكاس لهذه البنية، وجود اختلاف واضح في توزيع حزم التمرير ضمن حزمة المنع الترددية، حيث إن حزمة التمرير، والتي تمثل المرشح عالي الانتقائية قد انزلحت إلى القيم الأقل تردد، وهذا يعني أنه باستخدام ال (MMS) يمكن الحصول على مرشحات ذات عرض حزمة صغيرة، ولترددات أقل عند نفس الطول للبنية التجزئية المدروسة.

الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت هذه الدراسة إمكانية تصميم وتطبيق المرشحات عالية الانتقائية، عن طريق تصميم بنية مكونة من تعاقب شرائح من مواد موجبة وسالبة السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية بشكل تجزئي، حيث أدى دمج الهندسة التجزئية مع المواد سالبة دليل الانكسار إلى الحصول على مرشحات تجزئية ذات كفاءة عالية، إضافة إلى كون المواد سالبة دليل الانكسار ساهمت بتصميم مرشحات تعطي حزم تمرير عند ترددات أقل لنفس البنية التجزئية الموجبة دليل الانكسار، الأمر الذي مكنتنا من الحصول على نماذج تصميمية أكبر. التوزيع التجزئي ثنائي البعد لشرائح المواد سالبة معامل الانكسار (MMS)، ذات تطبيقات واسعة في تصميم المرشحات، والألياف الضوئية، وهي مجال بحث جديد لذلك فإن دراسة وتحليل هذه البنى موضع اهتمام كبير للأبحاث المستقبلية.

المراجع:

- [1] Aysun KAYA " An investigation with fractal geometry analysis of time series" İZMİR July, 2005.
- [2] Kenneth Falconer, " FRACTAL GEOMETRY Mathematical Foundations and Applications Second Edition University of St Andrews, UK Wiley 2003
- [3] BERTOLOTTI ,M ;MASCILLI ,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
- [4] MONSORIU,J.A;ZAPATA-RODRIGUEZ,C.J;SILVESTRE,E; FURLAN,W.D. Cantor-like fractal photonic crystal waveguides. Optics Communication No.252 , 2005, 46-51.
- [5] J.B. Pendry, A. J. Holden, D. J Robbin, and I. Youngs, "Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructure,". phy. Rev. Letters Vol: 76, No:25, pp: 4773-4776, June 2000.
- [6] J.B. Pendry, A. J. Holden, D. J Robbin, and W. J Stewart, "Magnetism from conductors and enhanced linear media,". IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol: 47, no:11, pp:2075-2084, Nov 1996.
- [7] D.R Smith, W. J. Padilla, D. C vier, S. C Nemat-Nasser and S. Schultz, "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity," phy. Rev. Letters Vol: 84, No:18, pp: 4184-4187, may 2000.
- [8] Grzegorz Lubkowski, M.Sc. "Simulation of Electromagnetic Fields in Double Negative Metamaterials" Darmstadt 2009.
- [9] Prof. Christos G. Chistodoulou, Prof. Mark A. Gilmore, Prof. Ihab F. El Kady "ANALYSIS, DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A RECONFIGURABLE FRACTAL VOLUMETRIC LEFT-HANDED METAMATERIAL" December, 2008.