

خصائص الانعكاس الناتجة عن التوزع التجزيئي وحيد البعد للمواد سالبة العازلية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية وتطبيقها في تصميم مرشح تمرير مكروي ضيق الحزمة

الدكتور السموعل صالح*

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2013. قُبل للنشر في 14 / 5 / 2013)

▽ ملخص ▽

تمتلك الأجسام الطبيعية بشكل عام ثابت عازلية كهربائية موجباً وثابت نفوذية مغناطيسية موجباً، درست هذه المواد، التي تسمى بمواد قاعدة اليد اليمنى، بشكل كاف في معظم مجالات العلوم الهندسية وخاصة مجال هندسة الاتصالات المكروية والضوئية، حيث كان لها تطبيقات واسعة جداً. وجد تجريباً أن بعض المواد في حالة البلازما تملك ثابت عازلية سالباً عند عدد محدود من الترددات العالية، وبعضها الآخر، مثل المواد المغناطيسية (الحديدية) تملك ثابت نفوذية مغناطيسية سالباً. تملك هاتان المجموعتان خواصاً جديدة تحدد آلية مختلفة لانتشار الأمواج الكهرطيسية خلالها. في العقد الأخير تم اكتشاف تقنية جديدة لتصنيع مواد تملك ثابت عازلية ونفوذية سالبين وسميت بمواد قاعدة اليد اليسرى، حيث صنعت ودرست بشكل نظري وعملي من أجل كثير من التطبيقات في المجال المكروي والضوئي. يلقي هذا العمل الضوء على هذه المواد ويوضحها ويحدد آلية عملها ومن جهة ثانية يحسب ويحلل معامل الانعكاس الناتج عن توضع عدة شرائح لمواد قاعدة اليد اليسرى بشكل تجزيئي ضمن وسط مكون من مواد قاعدة اليد اليمنى، وذلك باستخدام الطريقة التكرارية، وتطبيقها في مجال الأمواج المكروية من أجل تصميم مرشح مكروي ضيق الحزمة.

الكلمات المفتاحية: المواد موجبة وسالبة قرينة الانكسار، المواد سالبة ثابت العازلية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية، أجسام تجزيئية، مواد قاعدة اليد اليمنى وقاعدة اليد اليسرى، تصميم مرشح مكروي تجزيئي.

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

Reflection properties of meta-material fractal distribution and its applications in narrow band pass microwave filter design

Dr. Alsamawal Saleh *

(Received 14 / 1 / 2013. Accepted 14 / 5 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

Natural objects have positive permittivity and permeability, these materials known as Right Hand Material (RHM) have been sufficiently studied and analyzed in most of scientific disciplines. They have many applications in microwave and optical communication. In plasma case, the material has, in range of frequencies, negative permittivity. Another magnetic material (ferrite) has negative permeability. In the last decade, new technical methods have been proposed to create materials with negative permittivity and permeability. Those are called meta-material or Left Hand Material (LHM). They are fabricated, studied and analyzed with different applications of microwave and optical communication. This paper gives an idea about and explains the nature of meta-material (MMs). On the other hand, it analyzes the reflection from fractal distribution of MMs layers in RHM medium, using the recursive method, and applies in the design of microwave narrow band filters.

Key words: Meta-material, Material with positive and negative indices of refraction, Fractal objects, left and right hand material, fractal filter design.

*Assistant professor, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

أعطى تعدد المواد الطبيعية وتعدد حالاتها، الصلابة والسائلة والغازية حتى مرحلة البلازما تنوعاً في قيم معامل سماحتها ومعامل نفوذيتها، حيث إنها تصل إلى القيم السالبة في بعض المواد وخاصة في حالة البلازما أما في الحالة الطبيعية فلا يمكن أن توجد مواد ذات معامل سماحية ونفوذية سالبة. لكن في العام 1962 وصف وصنف العالم الروسي [1] *Veselago* بعض المواد عبر العلاقات الرياضية الخاصة بكل من معامل السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية إلى أربعة أصناف إحداها يمكن نظرياً أن يكون له معامل سماحية كهربائية سالبة ونفوذية مغناطيسية سالبة، سميت هذه المواد بالـ *Metamaterial (MMs)*، يتكون هذا الاسم من شقين الأول *Meta* وهي كلمة لاتينية الأصل وتعني ما بعد أو ما وراء، والشق الثاني هو كلمة *Material* وتعني مادة بالنتيجة يصبح معنى الكلمة هو ما وراء أو ما بعد المادة.

توصلت المناقشة المبدعة للعالم الروسي إلأن هذه المواد ذات معامل انكسار سالب القيمة (لذلك يمكن تسميتها بالمواد ذات معامل الانكسار السالب *(Negative refractive index)* بالنتيجة سيكون سلوك هذه المواد بالنسبة لكل من الحقل الكهربائي والمغناطيسي معاكس لسلوك المادة الطبيعية الموصفة عادة بقاعدة اليد اليمنى والمسماة *Right Hand Material (RHM)*، بالنتيجة يمكن توصيف سلوكها في المجال الكهرومغناطيسي بقاعدة اليد اليسرى ولذلك تسمى بمواد قاعدة اليد اليسرى *(Left Hand Material (LHM)*. بناء على هذا المقال وفي الأعوام القليلة السابقة تم التوصل لبناء هذه المواد أو تركيبها بهيكلية ما باستخدام التطور التقني في مجال الدارات المطبوعة حيث تحقق السماحية والنفوذية السالبتين. منذ ذلك الحين دخلت الـ *MMs* في معظم مجالات العلم، وكانت ذات أهمية بالغة وخاصة في مجال الاتصالات المكروية والضوئية حيث استخدمت في عدة تطبيقات، أهمها المرشحات والهوائيات والألياف الضوئية.

أهمية البحث و أهدافه:

مواد قاعدة اليد اليسرى *LHM* أو المواد سالبة السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية هي عبارة عن مواد صناعية ذات خصائص جديدة لا تمتلكها المواد ذات قاعدة اليد اليمنى في مجال الترددات العالية في الاتصالات. تكمن أهمية هذه المواد بالخصائص الجديدة الناتجة عن معامل الانكسار السالب أو عن سالبية كل من السماحية (العازلية) الكهربائية ϵ والنفوذية المغناطيسية μ والتي لم تعرف من قبل في مواد الـ *RHM*، من هذه الخصائص هي آلية انحراف الأشعة الواردة إلى هذه المواد وألية الرنين الناتج عن الحقول الكهرومغناطيسية. واكبت هذه المواد التطور السريع لعلم الاتصالات وأضافت خصائص جديدة مهمة لم تكن موجودة سابقاً في هذا المجال.

نقوم في هذا العمل بشرح مختصر عن هذه المواد وتحديد أساسياتها وتحليل خصائصها الجديدة وندرس بعض تطبيقاتها في مجال الاتصالات المكروية والضوئية، كما سنقوم باقتراح مرشح يحوي على شرائح الـ *MMs* المواد ذات معامل الانكسار السالب ونحلل خصائصه ومعاملاته ونقارن معاملاته مع المرشح نفسه الحاوي على المواد ذات معامل الانكسار الموجب *(Positive refractive Index)* أو مواد قاعدة اليد اليمنى *RHM*.

طرائق البحث و موادہ:

1. أساسيات الـ MMs:

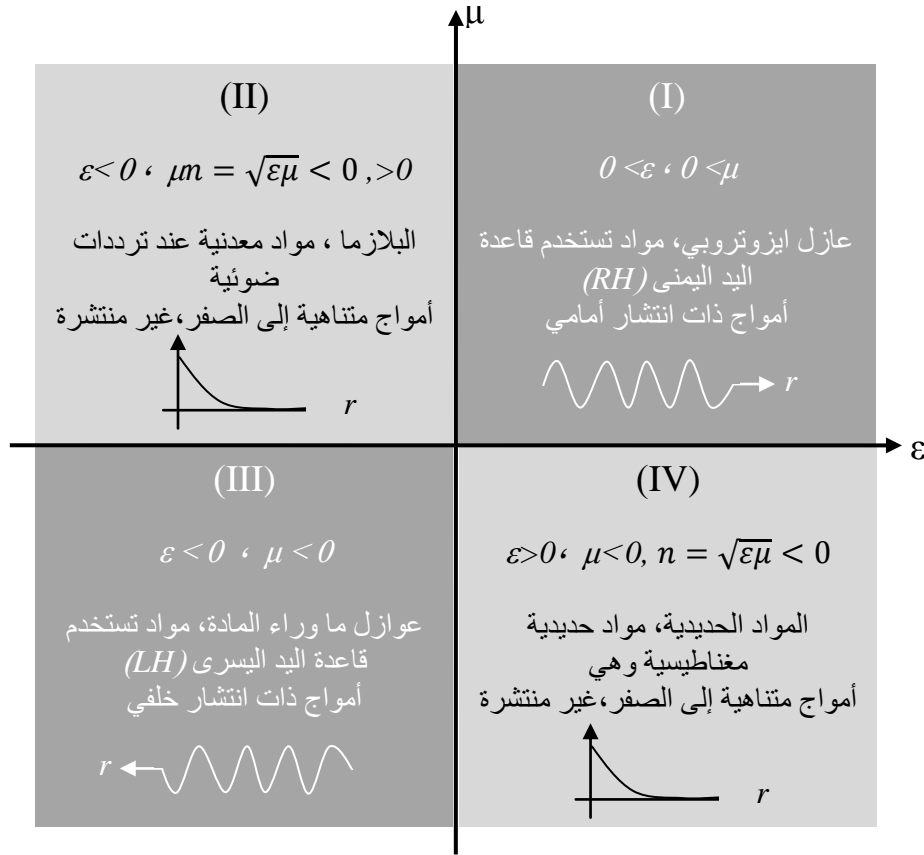
اقترح أول نموذج صناعي للمواد سالبة السماحية الكهربائية وسالبة النفوذية المغناطيسية أو *MMs* ، من قبل *Pendry*[2][3]، صنعت هذه المواد على شكل شريحة عازلة ثنائية البعد 2D طبعت عليها مجموعة من الدارات الطينية على شكل حلقات متداخلة متوضعة على شكل مصفوفة ببعدين. أبعاد هذه الشرائح أصغر من طول الموجة حيث ترى الموجة المرسله كامل الشريحة عبارة عن قطعة واحدة، بالنتيجة تسلك الشريحة المصنعة سلوكا متجانسا كأنها مادة واحدة تملك سرعات طورية v_p وجماعية v_g غير متوازية وهذا ما يفسر سالبية كل من ϵ و μ كذلك سالبية معامل الانكسار n ، تؤدي هذه الخواص إلى تحديد مسار جديد للموجات الواردة يعاكس المسار المعروف عادة في المواد العادية *RHM*.

وضعت أول بنية تجريبية للـ *LHM* قابلة للقياس والدراسة التحليلية بالموارد المتوفرة بالنسبة لمواد *RHM* على شكل شبكة ببعدين [4] وتبع ذلك العديد من المقالات التي درست وحللت الكثير من التراكيب لتصنيع هذه المواد كما درست مقالات أخرى تراكب كل من الـ *LHM* و *RHM* وتطبيقاتها في مجالات الترددات العالية [5-11].

تعطي مواد اليد اليسرى *LHM* فكرة عن الربع الثالث III من مخطط μ, ϵ الموضَّح بالشكل (1) الذي حلله العالم الروسي فاسيلاجوهر يحيوي في مربعه الأول I على المواد الطبيعية المعروفة *RHM* ذات معامل السماحية (العازلية) الكهربائية $\epsilon > 0$ ومعامل النفوذية المغناطيسية $\mu > 0$ وهي تمثل المواد الطبيعية المعروفة ويكون انتشار الأمواج فيها بشكل مباشر (أمامي)، أما الربع الثاني II والرابع V في مثلان المواد وحيدة السالبية وهي بلازما المعادن المطبقة في مجال الترددات الضوئية وهي عبارة عن موجات غير منتشرة في الأوساط. يعبر القسم الأخير حيث $\epsilon < 0$ أو $\mu < 0$ عن المواد سالبة السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية، تمثل المواد التي لا يمكن لأي قانون فيزيائي توقع وجودها حتى يتم تحقيق شرط الأنتروبية في تشتيت الوسط ويكون انتشار هذه المواد انتشارا خلفيا.

تكون المواد وحيدة السالبية مع $\mu < 0$ أو $\epsilon < 0$ ، عادة متاحة من المواد *RHM*، فقط في مجال محدد للترددات و يمكن الحصول عليها بعد وضع الكثير من القيود على معاملي ϵ و μ للمواد المعروفة مسبقا. من أجل تحقيق شروط الربع الثالث، أو من أجل الحصول على المواد *LHM* حيث يكون المعاملان المذكوران سالبي القيمة ($\epsilon < 0$ ، $\mu < 0$)، تحتاج هذه المواد أن تكون على الأقل مشتتة للترددات أي معامل انتشارها بالتالي معامل الصفحة β يجب أن يكون ذا علاقة غير خطية مع التردد، يتمثل التأخير واللاخطية أيضاً في علاقة تأخير السرعة الجماعية v_g .

إن المعامل e^{iwt} محقق وهو يتعلق بالإشارة الراحلة بمعامل $e^{-j\beta r}$ وبالإشارة أو الموجة المنعكسة $e^{+j\beta r}$ حيث $\beta = nk_0$ معامل الصفحة أو العدد الموجي في الوسط الحر و k_0 يمثل العدد الموجي في الفراغ الحر، w تمثل التردد الزاوي و c تمثل سرعة الضوء.



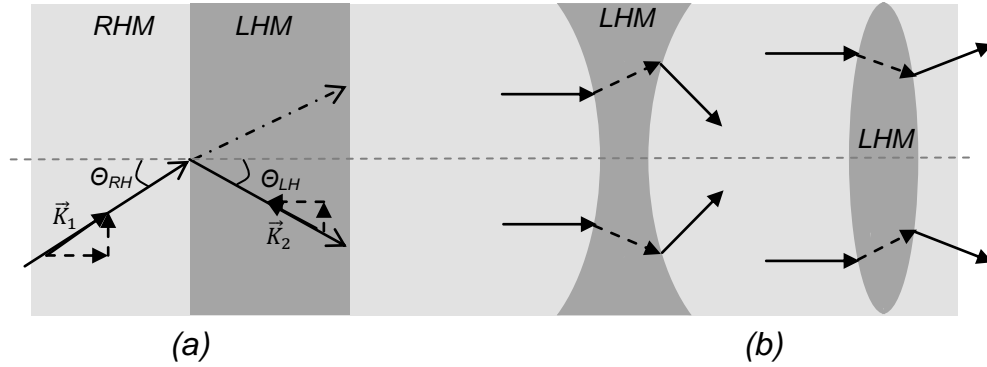
الشكل (1) مخطط عازلية ϵ و μ ومعامل الانكسار n

2- خصائص عامة وتطبيقات:

يمكن التحقق بسهولة من عدم التوازي الحاصل في المواد سالبة السماحية والعازلية LHM بين كل من السرعة الجماعية والسرعة الطورية وذلك بإدخال موجة مستوية عبر معادلات مكسويل ذات $\epsilon < 0$ و $\mu < 0$.
تتعرض مجموعة من الظواهر الفيزيائية المعروفة سابقاً في المواد RHM عند السطح الفاصل بين تسلسل توضع LHM و RHM لاحظ الشكل (2-a) الذي يوضح قانون فرنيل عند الانتقال بين وسطين مكونين LHM و RHM . أما الشكل (2-b) فيوضح أثر لنز عندما تكون العدسة هي وسط مكون من LHM ، يصبح قانون $Snell's$ معطى بالعلاقة التالية:

$$n_{LH} \sin(\theta_{LF}) = n_{RH} \sin(\theta_{RH}) \Rightarrow \theta_{LF} = -\sin^{-1} \left[\frac{n_{RH}}{n_{LH}} \sin(\theta_{RH}) \right] < 0$$

يسلك الضوء أو الأمواج المكروية في هذه المواد الاتجاه المعاكس عن الاتجاه المتعارف عليه في المواد RHM (عكس ما هو معروف) عندما يتجه من الفراغ أو من مادة RHM إلى المادة المكونة من LHM .



الشكل (2) قانونا سنيل (a) و لينز (b) في الانكسار ضمن الـ LHM

إحدى الخصائص الهامة للـ LHM هي عكس ظاهرة دوبلر حيث تجعل تراكب قطار من الأمواج الصوتية أكبر عندما يبتعد الجسم المتحرك وأصغر عندما يقترب وتدرس هذه الظاهرة للتطبيق في مجال الاتصالات الخليوية. تتمثل إحدى التطبيقات الهامة للـ LHM في تصنيع العدسات الفائقة وذلك بسبب معامل الانكسار السالب، الذي يركز الضوء الوارد على أجسام ذات أبعاد أصغر من طول موجة الورد λ في نقطة هندسية ما. في تطبيقات العدسات الطبيعية RHM وخلال مرور الأمواج الضوئية أو المكروية ضمن المادة أو أثناء الانتقال من وسط أول إلى وسط ثان، يحدث لدينا الانعراج وهو جزء من التخميد الذي يحدث عند الحصول على صورة للشكل المراد التعامل معه لذلك بعد بعد معين أو عندما تكون أبعاد الشكل أكبر من $\lambda/4$ فإنه من الصعب الحصول على خيال دقيق.

أما في المواد LHM فإننا نحصل على خيال دقيق جداً رغم الأبعاد الصغيرة وذلك ناتج عن بعض الأمواج المتخامدة أو غير المنتشرة، التي تعكس فعاليتها وتصبح منتشرة ضمن المواد سالبة العازلية والنفوذية، بالنتيجة نحصل على الخيال الأدق وهناك الكثير من الأبحاث في هذا المجال.

من التطبيقات الهامة جداً، هي استخدام مواد الـ LHM في مجال الأمواج المكروية والهوائيات وتحديدًا في المرشحات الضوئية والهوائيات لذلك سندرس الخصائص المكروية لهذه المواد.

ضمن الحدود الفعالة المتجانسة عندما $P \ll \lambda_g$ (P تمثل أبعاد الجسم وفي مجالنا $P \approx 10^{-10} m$)، يكون كل من معامل التخامد ومعامل الصفحة تابعاً للتردد $\alpha(w)$ ، $\beta(w)$ ، والممانعة المميزة $Z_c(w)$ ويعطى كل من قانوني ثابت الانتشار والممانعة المميزة في هذه المواد بالشكل التالي:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \frac{1}{p} \sqrt{zy} \quad , \quad Z_c = \sqrt{\frac{z/p}{y/p}}$$

اعتمدت التطبيقات في المجال المكروي على الترتيب المتتالي للمواد RH و LH حيث تم الحصول على مرشحات الحزمة الممنوعة وذلك بنتيجة التقارن بين الطبقات المتتالية للتصميم المقترح والتي تشكل أجوافا طنينية لكل

من LH و RH ، ومن الممكن أن يكون الشكل المقترح على شكل خط شريطي مطبوع [7][6] [5]، كذلك التوضع على شكل بعد واحد ID أو بعدين $2D$ حيث قدم [8] تصميماً وحيد البعد استخدم كعاكس لهوائي الموجة المسربة (الراشحة). ثم اقتراح هوائي قطعي عاكس تام آخر في [9] وهو يتألف من تسلسل لسطحين مكونين من المواد LH و RH وكان الشكل المقترح عبارة عن مثنى $2D$ من بعدين ومغذى بأربعة منابع تهييج.

يعدّ التطبيق الأهم والأوسع لهذه المواد في مجال تصميم تراكيب لعدة طبقات من مواد مختلفة لتشكيل حزم المنع الضوئية، في البداية كان توضع الطبقات المكونة للتراكيب تسلسلياً دورياً، ومؤلفاً من المواد LHM و RHM . وضعت هذه التراكيب للعمل في المجال الترددي الذي يمكّن الموجة من الانتشار عبر هذا التسلسل. تتشكل حزمة المنع الناتجة، كما نعلم، عن عاكس براغ الذي يملك طول موجة لا يمثل أعداداً صحيحة من دورية الشكل المدروس والحاوي على المواد ذات معامل الانعكاس السالب، وقد عدّ هذا التصميم عبارة عن تسلسل لتوضع عدسات مسطحة مطلقاً. من أجل الحصول على حزمة تمرير ضيقة جداً ضمن حزمة المنع تم إنشاء خلل (جوف) في التسلسل الدوري للبنية المكونة من تسلسل المواد LHM و RHM أي بنية عواكس براغ [14][13][12][11][10].

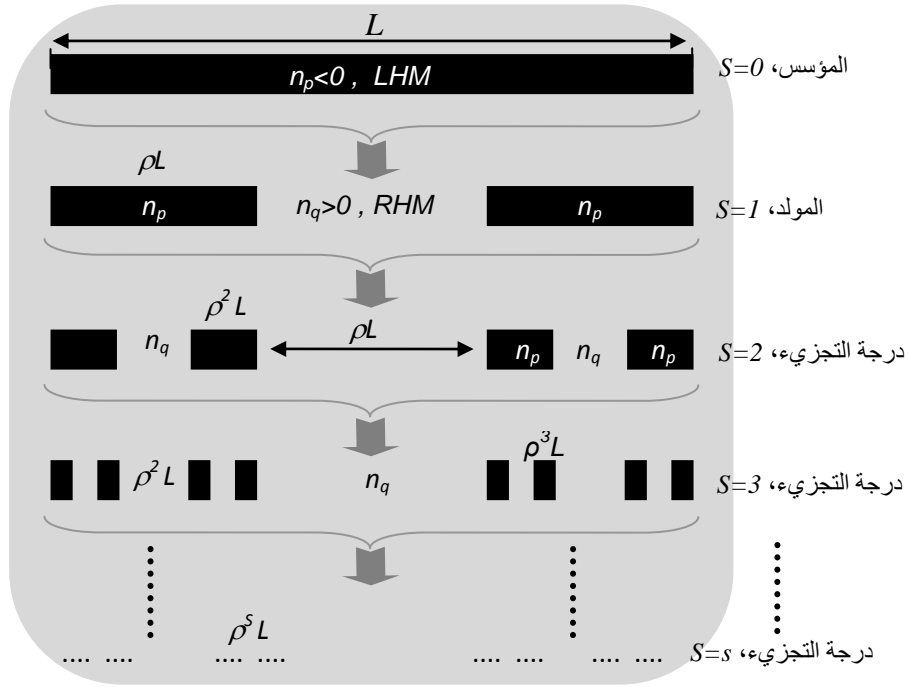
3- التوضع التجزيئي لطبقات مواد الـ LHM و RHM :

سنقوم في بحثنا هذا بوضع تسلسل تجزيئي (*Fractal*) لشرائح مواد الـ LHM أو المواد ذات معامل الانكسار السالب ضمن وسط ذي معامل انكسار موجب. الشكل التجزيئي المقترح يمكن شرحه ببساطة حيث نأخذ قطعة واحدة بطول L (هنا لا نهتم بعرض هذه القطعة على فرض أننا نعمل في مجال الأمواج الميكروية أو الضوئية ولكن بشكل عام نعتبر $L > W$)، تدعى بالمؤسس للبنية التجزيئية S المكونة من LHM بمعامل انكسار سالب $n_1 < 0$ ونضعها في وسط للمواد ذات قرينة الانكسار الموجبة $n_0 > 0$ أو مواد اليد اليمنى. في المرحلة الأولى نقسم القطعة المؤسسة بمعامل تقسيم $\rho = 1/3$ ثم ننزع بعض هذه الأجزاء وليكن الوسط فنحصل على $N=2$ قطعة متشابهة و تشبه الجسم الأصلي ولكن أقل طولاً بمقدار معامل التقسيم ρ ، هذه المرحلة ندعوها درجة التجزيء الأولى $S=1$ أو المولد للجسم التجزيئي، الشكل (3).

في مرحلة التجزيء الثانية، نقوم بالعملية السابقة نفسها فنحصل على أربع قطع متشابهة للجسم الأصلي ولكن مصغرة بمقدار $\rho^2 = 1/9$ وهكذا بالنسبة إلى المرحلة الثالثة للتجزيء نحصل على ثمان قطع مصغرة بمقدار $\rho^3 = 1/27$ ، وتستمر هذه العملية حتى نصل إلى درجة تجزيء عالية جداً عندها تنتهي مادة الـ LHM أو يصبح حجمها بالمقارنة مع مادة الـ RHM صغيراً جداً وعندها نحصل على (Cantor dust) غير المواد ذات معامل الانكسار السالب [17] [16] [15]. إذا يمكننا القول بأن هذا الجسم يتولد بالتجزيء أو التكسير ويوصف بثلاثة معاملات أساسية هي:

1. البعد التجزيئي أو التكسيري و هو يعبر عن بعد هذا الجسم و يعبر أيضاً عن شكله ويعطى بالعلاقة:

$$D = \frac{\ln(N)}{\ln(1/\rho)} = \frac{\ln(2)}{\ln(3)} \cong 0.631$$



الشكل (3) توزيع شريط كانتور ذي البعد $D = \ln 2 / \ln 3$ من أجل المراحل التجزيئية الثلاث الأولى.

2. درجة التجزيء وتعبّر عن درجة التكرار أو عن عدد المرات التي يتكرر بها الجسم المولد في الجسم التجزيئي $S=1, 2, 3, \dots$.

3. معامل تغير كثافة المادة في الجسم التجزيئي هذا المعامل يقابل معامل تغير الفجوات في الجسم التجزيئي الذي يملك في مرحلة التجزيء الأولى أكثر من قطعتين، هذا يوصف بتغير كثافة المادة في دائرة نصف قطرها r . يبقى هذا المعامل ثابتا في دراستنا هذه.

النتائج و المناقشة:

تم اختيار التوزع التجزيئي لطبقات المواد ذات معامل الانكسار السالب والموجب كأساس في دراستنا، لأن الهندسة التجزيئية تعطي عددا من المعاملات التي تصيف درجات حرية أكثر في تصميم أي عنصر مكروي بالإضافة لأن التركيب التجزيئي يحوي عددا متغير الأبعاد من الفجوات ويمكن التحكم بها من قبل معاملات الجسم التجزيئي بالنتيجة لا نحتاج لصنع خلل في الترتيب الدوري لهذه المواد. درس هذا العمل كلا من معامل الإرسال T والانعكاس R الناتجين عن الجسم التجزيئي المقترح سابقا باستخدام الطريقة المطورة سابقا والتي تعتمد آلية التشابه الداخلي في حساب كل من علاقة الانعكاس R والإرسال T أو التمرير التاليتين:

$$R(0, \rho^s L) = \frac{r_{pq} (t_{pq} t_{qp} - r_{pq} r_{qp}) r_{qp} e^{\pm j 2 K_0 n_q \rho^s L}}{1 - r_{pq} r_{qp} e^{\pm j 2 K_0 n_q \rho^s L}}, \quad T(0, \rho^s L) = \frac{t_{pq} t_{qp} e^{\pm j K_0 n_q \rho^s L}}{1 - r_{pq} r_{qp} e^{\pm j 2 K_0 n_q \rho^s L}}$$

حيث: $K_0 = \frac{w}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0} = 2\pi \frac{f_0}{c}$ يمثل العدد الموجي في الفراغ الحر و λ_0 , f_0 تمثلان كل من طول الموجة

والتردد في الفراغ الحر. الإشارة الموجبة تكون للمواد LHM والسالبة للمواد RHM أما علاقتنا معامل الإرسال والانعكاس r_{pq} , t_{pq} عند الحد الفاصل بين المادتين فتعطى بالعلاقتين التاليتين:

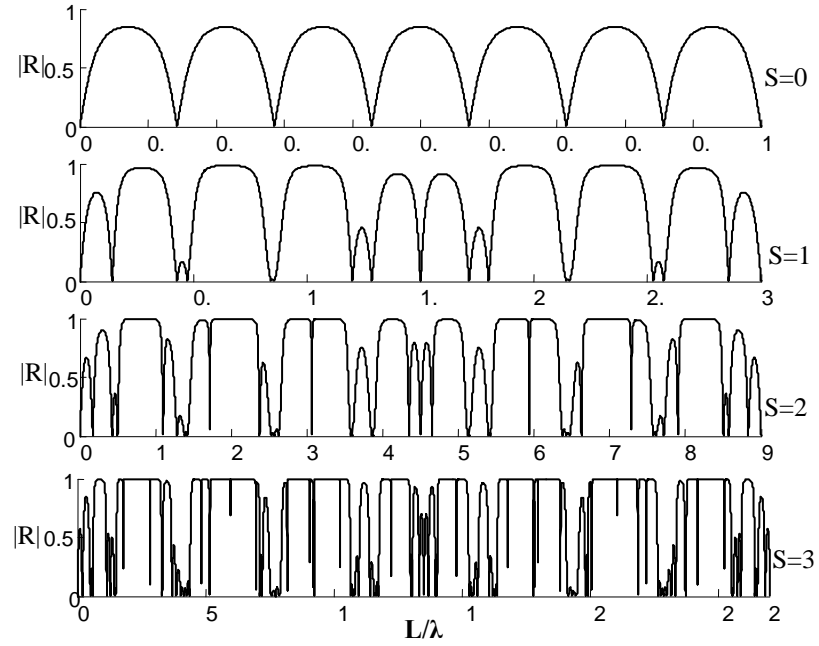
$$r_{pq} = \frac{n_p - n_q}{n_p + n_q} t_{pq} = \frac{2n_p}{n_p + n_q}$$

حيث: الدليل pq يشير إلى أن الموجة تذهب من الوسط ذي قرينة الانكسار n_p إلى الوسط ذي القرينة n_q والدليل qp تتعكس العملية. هذه الطريقة التي تعتمد تكرار الحل الرياضي بناء على التكرار في الجسم التجزيئي، تتم على خطوتين، الخطوة الأولى: يتم الحساب على درجة التجزيء S حيث تعدّ البداية عند الدرجة $S=0$ ولكن بطول مخفض بالمقدار $\rho^S L$ ، والثانية يتم الحساب فيها على عدد المقاطع المتكررة في هذه الدرجة. من أجل تفاصيل أكثر عن هذه الطريقة يمكن العودة للمراجع [21] [20] [19] [18].

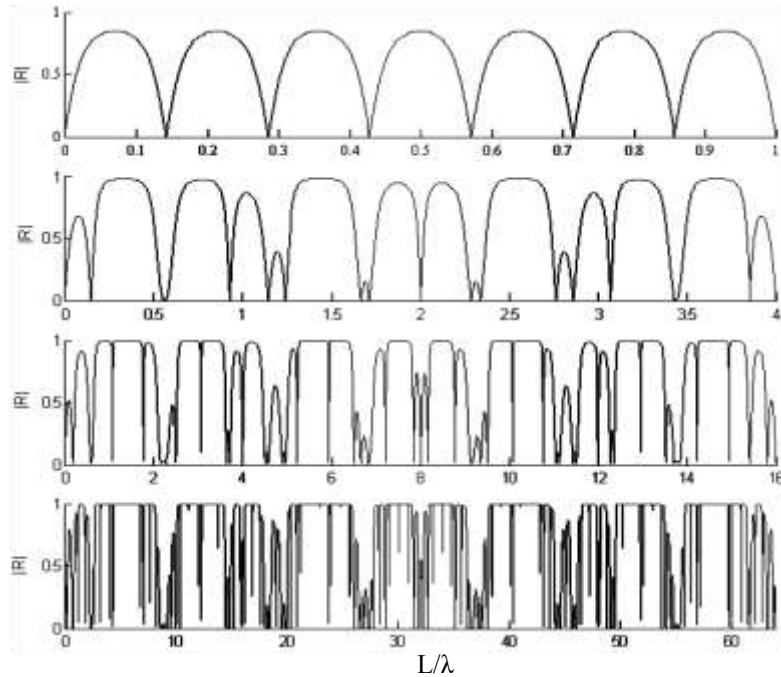
تم تطوير برنامج حاسوبي باستخدام البيئة البرمجية $Matlab$ لحساب كل من معامل الانعكاس والإرسال للجسم التجزيئي المدروس ولكن اعتمدنا في دراستنا على إظهار أحد هذين المعاملين لأن أحدهما يعبر عن الآخر فعند الانعكاس الكلي (قيمة أعظمية، مساوية للواحد) لا يوجد أي إرسال وعندما لا يوجد انعكاس (قيمة الانعكاس مساوية للصفر) يكون الإرسال أعظماً (قيمة أعظمية، مساوية للواحد). المعامل الذي اعتمد إظهاره ومناقشته وتحليله في بحثنا هو معامل الانعكاس R .

بداية، درس هذا العمل معامل الانعكاس للتوزيع التجزيئي السابق بوجود نوعين من مواد اليد اليمنى RHM ولكن بقرينتي انكسار مختلفتين، $n_p=3.5$ لمادة محددة و $n_q \approx 1$ للهواء. بينت النتيجة أن معامل الانعكاس يحوي على حزم منع متواجدة في درجات التجزيء الأربعة وتزداد عدداً عند زيادة S ، لوحظ أنه عند $S=3$ يبدأ ظهور بعض حزم التمرير الضيقة ضمن حزم المنع ولكنها متوضعة عند قيم كبيرة لـ L/λ والتي تمثل نسبة طول الجسم التجزيئي المدروس إلى طول الموجة المنتشرة وهذا يكافئ قيم عالية للترددات لأن هذه النسبة تكتب وفق التردد بالشكل $L/\lambda = Lf/C$ وهذا يعطي فكرة عن كيفية تصميم مرشحات تمرير ضيقة الحزمة بتردد معين وفق طول معين، الشكل(4).

لمعرفة أثر تغير البعد التجزيئي على معامل الانعكاس نقوم بأخذ قيمة جديدة للبعد التجزيئي أو نغير بقيمة معامل التقسيم ρ ولكن مع الحفاظ على عدد القطع نفسها $N=2$ في درجة التجزيء $S=1$ أي نحصل على التوزيع التجزيئي المدروس نفسه ولكن بأبعاد مختلفة للقطع المشكلة لهذا التوزيع ويكون البعد التجزيئي لهذا الشكل الجديد معطى بالقيمة التالية: $D = \ln(N)/\ln(1/\rho) = 0.5$ ونبقي أيضاً على القيمة نفسها لمعامل الانكسار $n_p=3.5$ ونراقب تغير كل من معامل الانعكاس والإرسال فنحصل على معامل الانعكاس المبين في الشكل(5).



الشكل (4) معامل الانعكاس لتوزيع شريط كانتور للمواد RHM ذو البعد $D=0.631$ من أجل المراحل التجزئية الأربع الأولى.

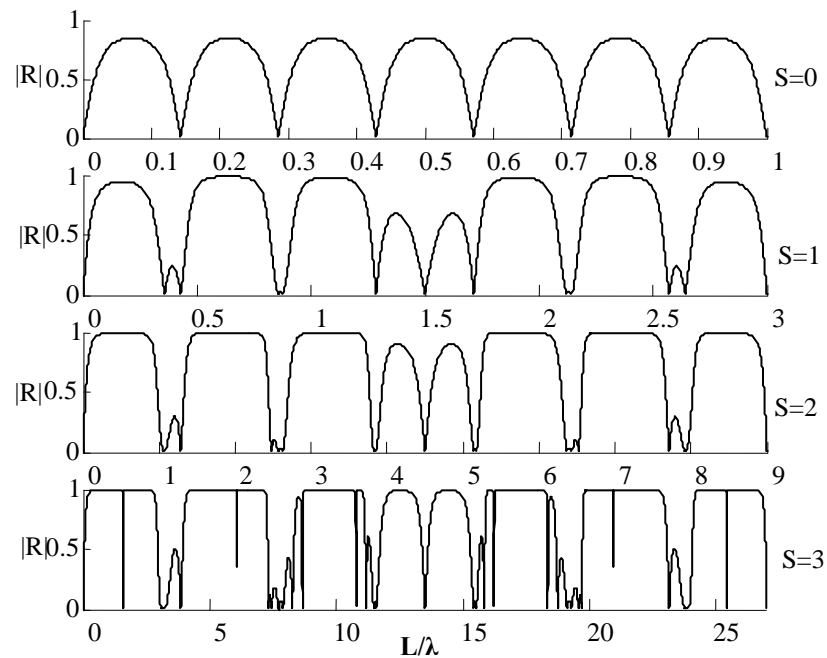


الشكل (5) معامل الانعكاس لتوزيع شريط كانتور للمواد RHM ذو البعد $D=0.5$ من أجل درجات التجزئة الأربع الأولى.

نلاحظ أن تغيير البعد التجزيئي مع الحفاظ على القطع نفسها ، يعني الحصول على التشكيل السابق وحيد البعد ID نفسه ولكن بمسافات مختلفة بين القطع المشكلة للجسم التجزيئي وخاصة للمادة ذات معامل الانكسار الأعلى

بمعنى آخر تتغير أطوال الأجواف الطنينية الموجودة في التركيب والمشكلة من تسلسل مادتين يقربتي انكسار مختلفتين في الشكل الكلي وهذا يفرض توزيعا جديدا لحزم المنع وحزم التمرير الضيقة المتواجدة ضمنها والمحتواة في معامل الانعكاس الكلي. من الملاحظ أن حزم المنع بقيت موجودة ولكن بتغير في العدد وعرض كل حزمة، كذلك في توزيع حزم التمرير الضيقة وخاصة عند $S=3$.

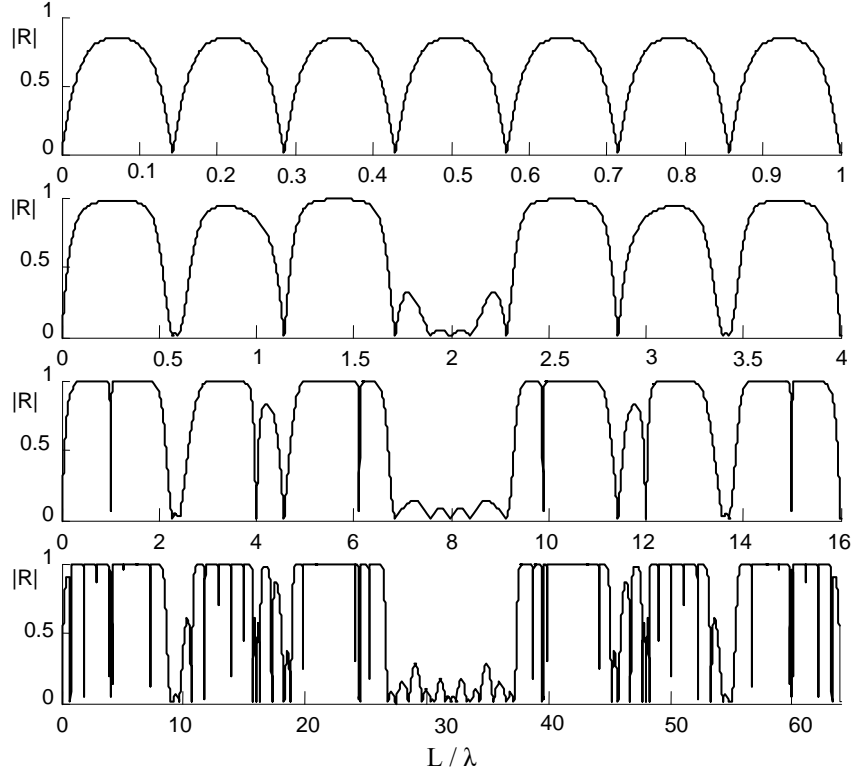
بتغير قرينة الانكسار إلى $n_q = -3.5$ أي بأخذ مادة ذات معامل انكسار سالب (LHM) ضمن التوزيع التجزيئي السابق نفسه (للمعاملات المأخوذة سابقا نفسها) نلاحظ وجود فارق حقيقي بالنسبة لتوزيع حزم المنع حيث يقل عددها مع زيادة عرضها، بالنسبة لحزم التمرير الضيقة ضمن حزمة المنع بدأت بالظهور في درجة التجزيء الثالثة، عند قيم صغيرة لنسبة طول الجسم المدروس إلى طول موجة المنتشرة (L/λ)، الشكل (6) هذا يؤدي إلى إمكانية تصميم مرشحات مكروية قصيرة الطول وتلحن على التردد نفسه للمرشحات المصممة باستخدام المواد موجبة معامل الانكسار (RHM).



الشكل (6) معامل الانعكاس لتوزيع شريط كانطور للمواد LHM ذو البعد

$D=0.631$ من أجل المراحل التجزيئية الأربع الأولى.

لنأخذ التوزيع الكانتوري ذا البعد $D=0.5$ ولكن توزع المواد سالبة السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية في الفراغ الحر بالبارامترات السابقة نفسها نجد أن معامل الانعكاس الموضح بالشكل (7) يحوي عددا أقل من حزم المنع وهي عريضة النطاق وبالوقت نفسه يحوي حزم تمرير ضيقة النطاق واضحة جدا وفي المجال المنخفض، إذا التغيرات التي طرأت على أبعاد القطع المشكلة لكل من المواد سالبة قرينة الانكسار والمواد الأخرى قد أسهمت في تغيير معامل الانعكاس بشكل يسمح لنا بتحديد مجال منخفض لوجود حزم التمرير ضيقة الحزمة والحصول بالنتيجة على تراكيب تجزيئية للمواد RHM تحقق حزم تمرير ضيقة عند أطوال أخفض. هذا يفيد في تقصير أطوال الأجهزة الإلكترونية المصممة باستخدام هذه المواد، وخاصة المرشحات وأدلة الموجة.



الشكل (7) معامل الانعكاس لتوزيع شريط كانتور للمواد LHM ذو البعد $D=0.5$ من أجل درجات التجزيء الأربعة الأولى.

الاستنتاجات و التوصيات:

تم تحقيق المواد سالبة السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية، كمواد مخبرية صناعية، بجميع خصائصها الجديدة التي قدمت حلولاً للكثير من المسائل العالقة. الهندسة التجزيئية، بتراكيبها وأشكالها الجديدة، طبقت أيضاً في الكثير من المجالات وأثبتت فاعلية جيدة. تمت دراسة الترتيب المتسلسل التجزيئي لشرائح المواد سالبة العازلية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية في مجال الترددات المكروية وتم تحليل معامل الانعكاس الناتج عن هذا التركيب، ولد التشكيل النهائي للمواد RHM مجموعة من حزم المنع عريضة النطاق وجدت ضمن بعضها القليل من حزم التمرير الضيقة التي يمكن استخدامها في تصميم المرشحات والهوائيات بعد تحديد كل من البعد التجزيئي D ودرجة التجزيء S المناسبين لتردد ما. باستخدام الـ LHM في التشكيل السابق وعند المعاملات نفسها تبين أن هذا التركيب الجديد يقدم معامل انعكاس بحزم منع أكثر وضوحاً وعرضاً يتخلل قسم منها حزم تمرير ضيقة جداً وعند أطوال منخفضة للتركيب ككل، بتغيير معامل التقسيم ρ والذي ينعكس على البعد التجزيئي D وتغير درجة التجزيء يمكن الوصول إلى نتيجة جيدة تتمثل في الحصول على حزمة تمرير ضيقة جداً، تستخدم كمرشح تمرير ضيق الحزمة، ضمن حزمة المنع.

يجب توسيع البحث حيث يتم إدراج المعامل التجزيئي الثالث وهو معامل تغيير أبعاد الفجوات في حساب كل من معاملي الإرسال و الانعكاس للتركيب الكلي بوجود الـ LHM وتحديد التغيرات التي تطرأ على هذه المعاملات من أجل تصميم مرشح بحزمة تمرير ضيقة، مما يضيف معاملاً جديداً في عملية التصميم بغية الوصول إلى تركيب نهائي يعطي معامل انعكاس يحدد مرشح تمرير بمعامل جودة عال.

المراجع:

- [1] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," Sov. Phys. Usp Vol:10, No 4, pp: 509-516, Jan-Fev 1968.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] S. Lim, C. Caloz, and T. Itoh, "Metamaterials-based electronically-controlled transmission line structure as a novel leaky-wave with tunable angle and beamwidth," IEEE Trans. Microw, Theory Tech. Vol: 93, No:10, pp: 144-152, October 2005.
- [6] C. Caloz and T. Itoh, "Novel microwave devices and structures based on the transmission line approach of meta-materials," IEEE Inter Mw Symposium Digest, Vol: 1, pp:195-198, Jun 2003.
- [7] A. Lai, C. Caloz and T. Itoh, "Transmission line based metamaterials and their microwave applications," Microw. Mag., Vol: 5, No:3,, pp:34-50, Sep 2004.
- [8] L. Liu, C. Caloz and T. Itoh, "Dominant mode (DM) leaky wave antenna with backfire-to-endfire scanning capacity," Electron. Lett., Vol: 38, No:23,, pp:1414-1416, Nov 2002.
- [9] C. Caloz, A. Lai, and T. Itoh, "Wave interactions in a LH mushroom structure," proceedings of the IEEE-AP-S USNC/URSI, CA, 2004.
- [10] D. Hrabar, J. Bartolic and Z. Sipus, "Waveguide miniaturization using uniaxial negative permeability metamaterials," IEEE Trans on Ant and propag. Vol: 53, No:1, pp: 110-119, Janu 2005.
- [11] K. Aydin, K. Guven, M. Kafesaki, L. Zhang and C. M Soukoulis, E. Ozbay, "Experimental observation of true left-handed transmission peaks in metamaterial," Opt letters, vol.29, no.22, pp: 2623, Nov 2004.
- [12] L. Wu, S. He and L. Shen, "Band structure for one-dimensional photonic crystal containing left-handed materials," Phy Rev letters, B67, pp: 235103, 2003.
- [13] J. Gerardin and A. Lakhtakia, "Negative index of refraction and distributed bragg reflectors," Mw Op. Technology letters, vol.34, no.6, pp: 409-411, Sep 2002.
- [14] R. Ruppin, "Bragg reflectors containing left-handed materials," Mw Op. Technology letters, vol.38, no.6, pp: 494-496, sept 2003.
- [15] B.B, Mandelbrot, *Les Objects Fractals forme Hasard et dimension*, Paris: Flammarion, 1975, 1984, 1989.
- [16] د.م السموعل صالح، أ. د.م تاج الدين جركس " تحليل وتصميم مصفوفة الهوائيات التجزئية ومقارنتها بالمصفوفة الخطية منتظمة المسافات والتغذية "نشر في مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سوريا، المجلد: 30 ، العدد 4، 113-128، لعام 2008.

- [17] د.م السموعل صالح، م. راما أحمد " تحليل و نمذجة الهوائي المصفوفي التجزيئي المربعي ومقارنته مع الهوائي المصفوفي المنتظم الشرائحية المطبوعة باستخدام نظرية "نشر في مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سوريا، المجلد:33، العدد 3، 161-177، لعام 2011.
- [18] A.S. Saleh and H. Aubert,," *Use of variable Lacunarity Multi-gap Cantor Slabs in Waveguides for the Design of Microwave filters,*" Microwave and optical technology letters, vol.28, N°2, pp.127-130, January 2001.
- [19] 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.
- [20] A.S. Saleh, N . Raveu, "Transmission Peak at Low Frequencies by a Fractal Distribution of Metamaterials Layers in Free Space," Microwave and Optical technology letters (MWOPL), vol.49, no.1, pp. 105-109, January 2007 .
- [21] د.م السموعل صالح، د.م تاج الدين جركس ، م. فانتن سرحيل " حزمنا تمرير ضيقنا النطاق ضمن الحزمة الممنوعة الناتجة عن شريط تجزيئي باستخدام معامل تغيير توزع المادة" نشر في مجلة بحوث جامعة تشرين لعام 2012.